

# Jahresbericht 2007



**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	52
4 Bericht aus der Forschung	54
5 Internationale Kooperationen in der Forschung	62
6 Mitarbeit in Arbeitskreisen und Ausschüssen	63
7 Gastvorträge	64
8 Gastwissenschaftler	65
9 Promotionen	66
10 Förderkreis Materialprüfungsanstalt	67
11 Deusch-Ägyptisches Jahr der Wissenschaften und Technologie	69
12 Veröffentlichungen	70



## 1 Vorwort

Der vorliegende Jahresbericht der Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA) gibt einen Überblick über die im Jahr 2007 durchgeführten Forschungsprojekte und Arbeiten der Abteilungen.

Im vergangenen Jahr gab es erneut einen Wechsel im Direktorium. Nach dem Ausscheiden von Prof. Dr.-Ing. habil. Ulf Nürnberger wurde PD Dr.-Ing. Christian Große zum 01.07.2007 vom Rektor zum stellvertretenden Direktor der MPA ernannt.

Die gute Kooperation mit der Industrie und öffentlichen Institutionen wurde auch im Jahre 2007 erfolgreich weitergeführt und ausgeweitet. 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 weiter ausgebaut.

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



## 2 Aus den Abteilungen

### Fachbereich Baustoffe und Brandschutz

<b>Abteilung Mineralische Baustoffe:</b> Dr.-Ing. K. Hariri / Dipl.-Ing. C. Laskowski Tel.: 685/ -62258 bzw. -62252 E-Mail: karim.hariri@mpa.uni-stuttgart.de christina.laskowski@mpa.uni-stuttgart.de
Referat Bindemittel, Zusätze: Dipl.-Ing. C. Laskowski
Referat Betontechnologie: Dr.-Ing. C. Öttl
Referat Mauerwerk, Keramik, Naturstein: Dipl.-Ing. F. Knödler
Referat Dämmstoffe: Dr. rer. nat. T. Popp

Die Abteilung beschäftigt sich mit der Materialprüfung von bzw. der Materialforschung an nahezu allen mineralischen Baustoffe. Insbesondere Bindemittel, Zusatzmittel, Zusatzstoffe, Beton, Mauersteine, Mauermörtel, Naturstein, Keramik, Putze, Estriche, Glasfasern und Dämmstoffe sind Baustoffe, mit denen sich die Abteilung intensiv beschäftigt. Der Kundenkreis reicht von den Herstellern der Baustoffe, über die Vertrieber bis zu den Anwendern, wobei vor allem Kunden in Deutschland und Europa betreut werden.

Der Schwerpunkt der Abteilung liegt in der Prüfung, Überwachung und Zertifizierung (PÜZ) von Baustoffen. Des Weiteren werden Forschungsvorhaben im Themenkomplex Baustoffe akquiriert und bearbeitet. Die Sachbearbeiter der Abteilung sind vielfach Sachverständige für Gerichte und wirken bei Gerichtsgutachten (z. B. Beweissicherungsverfahren) mit.

Darüber hinaus sind die Mitarbeiter der Abteilung Partner der Bauaufsicht, wie dem Deutschen Institut für Bautechnik, Berlin, der deutschen Normenorganisation DIN und des europäischen CEN, der Bundesanstalt für Straßenwesen, der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen sowie von Güteschutzvereinigungen. Aufgrund ihrer hohen Fachkompetenz sind die Mitarbeiter in Sachverständigenausschüssen des DIBt tätig. Sie fungieren als Fachgutachter für das DIBt und für europäische Institutionen. Die Abteilung Mineralische Baustoffe ist vom DIBt für 205 Bauprodukte für Deutschland und für 20 Bauproduktgruppen in Europa als Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle anerkannt.

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



Im Allgemeinen umfasst die Tätigkeit der Abteilung:

- Prüfung und Bewertung von Baustoffen und Konstruktionen im Hinblick auf ihre elastomechanischen und rheologischen Eigenschaften sowie deren Dauerhaftigkeit und deren Wärmeschutzfunktion
- Ermittlung der Dauerstandfestigkeit von Baustoffen (Beton, Mauerwerk) und daraus gefertigter Konstruktionen im Ingenieurbau; Zug- und Druckfestigkeit, E-Modul, Ermüdungsfestigkeit, Schwind-, Kriech-, Feuchtigkeits- und Temperaturänderungsverhalten
- Untersuchung und Begutachtung von bautechnischen Zusammenhängen, Baupsystemen
- Untersuchung und Bewertung neuer Bauarten und Bauverfahren, wie z. B. Fassaden-, Decken- und Fußbodenkonstruktionen (Glasfaserplatten, Hohlraumböden, Heizestriche), Mörtel zum kostengünstigen Bauen
- Untersuchung und Begutachtung des Baustoffverhaltens beim praktischen Einsatz: chemische Widerstandsfähigkeit (Sulfatbeständigkeit, Alkali-Kieselsäure-Reaktion), Witterungsbeständigkeit (Frost-Tauwechsel-, Temperaturwechselbeständigkeit)
- Bewertung von Verfahren und Untersuchungen zur Verwendung von Nebenprodukten der Kraftwerks- und Metallgewinnungsindustrie, Flugasche, Reagips, Silicastäube. Recycling von Frisch- und Altbetonen.
- Zulassungsprüfungen nicht geregelter Bauprodukte, wie z. B. Baustoffe mit besonderer Wirkung auf die Eigenschaften von Betonen, Wandbaustoffe mit hoher wärmedämmender und/oder schalldämmender Wirkung, Dämmstoffe für besondere Anwendungen
- Beratung von Unternehmen, öffentlichen Verwaltungen und privaten Kunden, wie Baustoffkonzerne, Verbände, Bauaufsicht, DIBt, Deutsche Bahn AG und Flughafen AG beim Einsatz von Baustoffen
- Beratung bei der Verwendung von Sonder-Baustoffen, wie z. B. Leichtbeton, Hochleistungsbeton, Spritzbeton, hochwärmedämmende Mauersteine und Mauermörtel, Schallschutzsteine, Spezialdämmstoffe, Spezialputze, rezyklierte Gesteinskörnungen

### **Referat Bindemittel/Zusätze**

Das Hauptaugenmerk der Tätigkeit im Referat Bindemittel, Zusätze zielt auf die Prüfung, Überwachung und Zertifizierung von Bauprodukten insbesondere für Zemente und Bindemittel, Flugaschen, Silikastäube, Betonzusatzmittel, Nachbehandlungsmittel und Pigmente im Rahmen der Landesbauordnung und des Bauproduktengesetzes. Durch die dringlicher werdende Forderung nach Nachhaltigkeit hat auch die Bewertung von Verfahren und Untersuchungen zur Verwendung von Nebenprodukten der Kraftwerks- und Metallgewinnungsindustrie immer größere Bedeutung. Hierzu verfügt das Referat über ein sehr gut ausgestattetes Bindemittellabor (Bild 1), diverse Labore für chemisch-mineralische Analysen sowie Prüfeinrichtungen zur Beurteilung des Korrosionsverhal-



tens von Betonzusatzmitteln und anderer Betonausgangsstoffe. Eine Akkreditierung des Bindemittellabors wird angestrebt.



Bild 1: Klimatisiertes Prüflabor für mechanisch- physikalische Bindemittel- und Mörtelprüfungen

Die aus diesen Aufgaben gewonnene Fachkompetenz geht ein in die Erstellung von Prüfplänen zur Durchführung von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen und Europäischen Technischen Zulassungen (ETA) für neue Bauprodukte in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) und in die Beratung deutscher und europäischer Fachgremien bei der Erstellung von Normen und anerkannten Regelwerken.

### **Besondere Einrichtungen**

- Elektrochemisches Prüflabor
- Kraft-, Weg- und Verformungsgesteuerte Druck- und Zugfestigkeitsprüfmaschinen für Baustoffe
- Rauigkeitsmessgeräte für Straßenbeton
- Kriechstände für mineralische Baustoffe
- Lasergranulometrie zur Bestimmung der Feinheit von Bindemitteln
- Nebelkammer (40° C) und Prüfgeräte zur Untersuchung der Alkali-Kieselsäure-Reaktion
- Tieftemperatur-Stickstoff-Adsorptionsanalyse (BET) zur Ermittlung der Porenstruktur sowie spezifischer Oberflächen
- Röntgenbeugungs- und Röntgenfluoreszenzanalyseeinrichtungen
- Prüflabore für mechanisch-physikalische Bindemittel- und Mörtelprüfungen
- Röntgenbeugungs- und Röntgenfluoreszenzanalyse für Bindemitteluntersuchungen

### **Referat Betontechnologie**

Ein zentraler Schwerpunkt des Referats ist die Prüfung, Überwachung und Zertifizierung von Beton und seinen Gesteinskörnungen. Durch die Vielfalt der in der Betonbautechnik verwendeten Betone, seiner Ausgangsstoffe und Herstellverfahren ist im Referat Betontechnologie – als Partner der Bauaufsicht – eine leistungsstarke personelle

und gerätemäßige Ausstattung vorzuhalten, s. u. a. Bilder 2 bis 4. Aufgrund der hohen Prüfkompetenz werden ergänzende Aufgaben bearbeitet, wie die Bearbeitung von Forschungsvorhaben, die Erstellung von Gutachten sowie die Beratung bei betontechnologischen Fragestellungen.

Das Referat Betontechnologie versteht sich im gesamten Aufgabengebiet als Berater und Dienstleister. Das Spektrum erstreckt sich von einfachen Güteprüfungen hin bis zur Zertifizierung bauaufsichtlich relevanter Bauprodukte. Die Dienstleistung orientiert sich im bauaufsichtlichen Rahmen an den Ansprüchen der Kunden.



Bild 2: Prüfeinrichtung zur Bestimmung des statischen Druck-Elastizitätsmoduls von Beton



Bild 3: Messtand zur Luftporenzählung von Beton



Bild 4: CDF-Truhe zur Prüfung des Frostwiderstands von Baustoffen

#### **Aktuelle Forschung:**

- Dauerhaftigkeitsprüfung zum Widerstand von Beton im kohlenensäurehaltigem Wasser
- Modellierung der rheologischen Eigenschaften von Selbstverdichtendem Beton
- Absicherung des vergleichenden CDF-Betonversuchs für XF2-Beton nach ZTV-ING
- Vergleichsprüfungen des Frostwiderstandes und Vergleich mit der Praxis
- Optimierung der Betonherstellung für preiswerte Maschinengewichte mit hohen Qualitätsansprüchen
- Einfluss von Schmiermitteln und hohen Pumpendrücken auf die Eigenschaften von Frisch- und Festbeton

#### **Besondere Einrichtungen:**

- Autoklav zur Ermittlung treibender Bestandteile im Beton
- Einrichtungen zur Herstellung und Prüfung von Beton
- Freibewitterungsstand zur Ermittlung der Frostwiderstandsfähigkeit von Beton
- Frequenzanalysator zur Ermittlung von Gefügestörungen in Beton
- Gas- und Wasserdurchlässigkeitsprüfgeräte für poröse Baustoffe
- Kraft-, Weg- und Verformungsgesteuerte Druck- und Zugfestigkeitsprüfmaschinen für Baustoffe und Bauteile
- Kriechstände für mineralische Baustoffe
- Luftporenzähleinrichtung zur Bestimmung der Luftporenkennwerte am Festbeton
- Quecksilberdruckporosimeter zur Bestimmung der Porenverteilung in porösen Baustoffen
- Schalllaufzeitmessgeräte zur Ermittlung von Gefügestörungen
- Verschleißprüfmaschinen zur Ermittlung des Verschleißwiderstandes von Beton

### Referat Mauerwerk, Keramik, Naturstein

Im Rahmen der Tätigkeit als anerkannte PÜZ-Stelle für eine Reihe von Bauprodukten sowie im Zusammenhang mit Zulassungsprüfungen führt das Referat Mauerwerk, Keramik, Naturstein Prüfungen an einer Vielfalt von Baustoffen/Bauteilen wie Mörtel (Mauerwerkmörtel, Putzmörtel, Wärmedämmputz, Sanierputz), Mauersteine (Ziegel, Kalksandstein, Porenbeton), Wandbekleidungsstoffe (Glasfaserbeton-Platten, Wärmedämmverbundsysteme), Dachbekleidungsstoffe (Faserzement-Wellplatten), Fußbodensysteme (Estriche, Doppelböden, Hohlraumböden), Mauerwerk (Pfeiler-/Wandprüfungen, zentrisch, exzentrisch, Schubprüfungen, s. Bild 5 und 6), Naturstein, AR-Glasfasern, Dämmstoffe (Holzfaser) und Wärmedämmverbundsysteme durch.



Bild 5: Ermittlung des Kriechverhaltens von Mauerwerk



Bild 6: Aufbau eines Schubversuchs

Kürzlich wurde ein Bewitterungsprüfstand zur Beurteilung der Witterungsbeständigkeit von Baustoffen und Bauteilen mit einem lichten Innenmaß der Prüfkammer von 430 x 100 x 210 cm<sup>3</sup> (L x B x H) angeschafft, s. Bild 7. Dieser Prüfstand erlaubt die gleichzeitige Prüfung von bis zu 2 unterschiedlichen Bauteilen (bei WDVS-Systemen bis zu 8 verschiedene Varianten). Er ist auch während laufender Prüfung zur Beurteilung des Zustandes des Prüfgutes bzw. zur Durchführung von Messungen am Prüfgut während der Bewitterungszyklen begehbar. Der mögliche Temperaturbereich (abhängig vom



Prüfmaterial) beträgt -55 °C bis +150 °C (Anlagenbereich). Es sind folgende Klimaprüfungen (abhängig vom Prüfmaterial) möglich: +10 °C bis + 80 °C und 10 % rel. Feuchte bis 80 % rel. Feuchte. Eine Beregnungseinrichtung ist vorhanden.



Bild 7: Ansicht des Bewitterungsprüfstands (links: Klimagerät, rechts: Prüfkammer)

### **Aktuelle Forschung**

- Einfluss von Ettringit- und Thaumasitbildung auf das Tragverhalten von Mauerwerk aus Porenbetonplansteinen
- Überprüfung der Festlegungen der DIN 1053 zur Verarbeitung von zweischaligem Mauerwerk unter Berücksichtigung der in DIN 1055, Ausgabe 2002, neu geregelten Lastannahmen

### **Besondere Einrichtungen**

- Alkalisilikatprüflabor für Glasfasern
- Gerät für Druckwassersättigung zur Natursteinbeurteilung
- Klimasimulationsgeräte und -räume für Frost-Tauwechsel-, Feucht-Trocken-Wechsel-, Beregnungs-Besonnungs-Beanspruchung
- Kraft-, Weg- und Verformungsgesteuerte Druck- und Zugfestigkeitsprüfmaschinen für Baustoffe und Bauteile
- Kriechstände für mineralische Baustoffe
- Prüfstände für Hohlraumböden, Trockenestrichböden und Doppelböden
- Schubfestigkeitsprüfstand für Mauerwerk
- Verschleißgerät zur Simulation von Gabelstaplerbelastungen
- Verschleißprüfmaschinen zur Ermittlung des Verschleißwiderstandes von Naturstein

### **Referat Dämmstoffe**

Das für zehn Prüfungen akkreditierte Referat (externes Audit November 2007, das Audit für die Keymark-Zertifizierung erfolgt im Juni 2008) prüft, überwacht und zertifiziert nach der Bauproduktenrichtlinie und nach DIBt-Zulassungen diverse Dämmstoffe (MW, XPS, EPS, WW, PUR, ICB, WF) und Dämm-Schüttungen (z. Zt. ca. 25 Herstellwerke). Konkret bedeutet dies für das Referat die Koordination von Prüfungen im Rahmen der Zerti-

fizierung von Dämmstoff-Produkten bzw. im Rahmen der Regelungen von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen und in diesem Zusammenhang die Ausarbeitung von Prüfplänen auf der Grundlage der Regelungen von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen bzw. der Regelungen der CE-Zertifizierung nach der betreffenden europäischen Produktnorm. Hinzu kommt die Beratung von Kunden im Rahmen der CE-Zertifizierung oder im Rahmen von Anträgen zur Erlangung von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen z. B. bei der Erstellung von Versuchsplänen. Des Weiteren erfolgt die Koordination der im Rahmen der Akkreditierung durchzuführenden Kalibrierungen, Durchführung von Einweisungen der im Referat angewendeten Prüfverfahren sowie Durchführung der Aktualisierungen des QM-Handbuchs. Schließlich bewerten die Mitarbeiter des Referats Dämmstoff-Produkte im Rahmen von Gutachten oder Stellungnahmen in der Regel auf der Grundlage von im Haus durchgeführten Prüfungen an am Bauwerk entnommenem Probenmaterial.

### **Aktuelle Forschung**

- Baustoffverbesserungen für den Wärmeschutz, wie z. B. umweltverträglichere Treibmittel für XPS-Dämmstoffe, gesundheitsunschädliche Faserdämmstoffe
- Entwicklung und Anwendung von Berechnungs- und Bemessungsmethoden mittels numerischer Simulationsmodelle
- Ringversuch zum Prüfverfahren des Langzeitverformungsverhaltens
- Ringversuch zum Prüfverfahren der Wasseraufnahme und zum Prüfverfahren des Frost-Tau-Wechselversuchs
- Entwicklung eines neuen Prüfverfahrens für die Perimeteranwendung von XPS-Produkten
- Entwicklung eines Dämmstoffs aus Holzwolle mit verbessertem Wärmedämmvermögen und reduzierter Brennbarkeit

### **Besondere Einrichtungen**

- Kriechstände für mineralische Baustoffe
- Messgerät zur Ermittlung der dynamischen Steifigkeit von Trittschalldämmstoffen
- Strömungswiderstandsmesser für Wärmedämmstoffe
- Wärmeleitprüfstände für Platten (Bild 8) und Wände
- Software zur numerischen Simulation von stationären Wärmedurchgängen und von Wärmebrücken
- Software zur numerischen Simulation von instationären Feuchtetransportvorgängen in Bauteilen



Bild 8: Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes von Dämmstoffen (Zweiplattengerät)

**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](mailto:simon.aicher@mpa.uni-stuttgart.de)

[gerhard.dill-langer@mpa.uni-stuttgart.de](mailto:gerhard.dill-langer@mpa.uni-stuttgart.de)

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

Referat Holzbau: Dr. rer. nat. S. Aicher

Die Tätigkeiten in der Abteilung Holzbau umfassen schwerpunktmäßig Klebstoffe, zerstörende und zerstörungsfreie Klebstoffprüfverfahren, Verklebungstechnologien sowie die Entwicklung, Analyse, Sanierung- und Ertüchtigung geklebter Holz- und Holzverbundbauteile sowie geklebte Anschlüsse.

Weitere wesentliche Arbeitsbereiche umfassen die Sortierung und Qualitätssicherungsmaßnahmen von (Schnitt-)Holz, die Qualitätssicherung von vorgefertigten Holzbau-elementen, von Baustellenmontagen und von mechanischen Verbindungsmitteln. Die Forschungsarbeiten der Abteilung Holzbau waren im Jahr 2007 noch mehr als im Vorjahr auf den Kompetenzschwerpunkt Klebstoffe, Klebtechnik und geklebte Holzbauteile fokussiert. Die wichtigsten Forschungsarbeiten des Jahres 2007 waren:

- Herleitung und Validierung verbesserter Bemessungsregeln für unbewehrte und bewehrte Durchbrüche in DIN 1052. Die im Entwurf zum Änderungs-dokument A1 zu DIN 1052 zwischenzeitlich implementierten Regelungen wurden in einem vom deutschen Institut für Bautechnik finanzierten Forschungsvorhaben in der Abteilung Holzbau erarbeitet.
- In dem DIBt- und industriefinanzierten Forschungsvorhaben „Langzeitbeständigkeit und Sicherheit harnstoffharzverklebter tragender Holzbauteile“ wurden umfangreiche Hallenbegutachtungen, Materialprüfungen und Literaturlauswertungen vorgenom-



men. Die Untersuchungen, die letztlich belastbare Schlussfolgerungen zu eventuell vorhandenen Tragsicherheitsrisiken des gesamten Bestandes von Brettschichtholzkonstruktionen unter Verwendung harnstoffharzverklebter BSH-Bauteile erbringen sollen, ergaben bislang keine eindeutigen Hinweise auf gravierende Probleme bei der langzeitigen Beständigkeit der Klebfugen.

- Im Rahmen eines ersten von zwei durch den Holzabsatzfonds finanzierten Forschungsvorhaben zur Dauerschwingfestigkeit geklebter, keilgezinkter Stoßverbindungen wurden in enger Zusammenarbeit mit dem MPA-Referat „Schwingprüfung“ Dauerschwing-Biegeschwellversuche an unbehandelten und mit Holzschutzmitteln imprägnierten Kiefernholzbalken durchgeführt. Vor dem Hintergrund des weltweit geringen Wissenstandes zur Schwingfestigkeit geklebter Holzkonstruktionen und der u. a. hieraus resultierenden sehr restriktiven Behandlung geklebter Anschlüsse und Flächenelemente bei dynamischer Beanspruchung und der deutschen und europäischen Erdbebenbemessungsnorm DIN 4149 und Eurocode 8 kommt dem Projekt speziell auch für die zunehmende Verwendung von Brettschichtholz und keilgezinktem Vollholz in den erdbebengefährdeten Ländern Südosteuropas und in Asien grundlegende Bedeutung für den sicheren Einsatz geklebter Holzbauanschlüsse und die Erstellung der erdbebentechnischen Bemessungsnachweise zu.
- In einem im Jahr 2006 begonnen gemeinsamen Industrie - MPA Stuttgart Forschungsvorhaben im Rahmen der Förderschiene AIF-INNO-2 wurden Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung von geklebten Stoßverbindungen untersucht. Hierbei wurden erstmalig unterschiedliche Ultraschall-basierte Methoden in Kombination mit lokalen Verformungsmessungen in Verbindung mit proof-loading Konzepten untersucht. Die Verfahren sollen in den betrieblichen Herstellungsprozess integriert werden.
- Im Rahmen eines im Jahr 2007 begonnenen, mehrjährigen gemeinschaftlichen Forschungsvorhabens mit dem Industriepartner Bayer MaterialSciences (BMS) wurden umfangreiche experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Langzeitbeständigkeit von Holzverklebungen mittels feuchtehärtender Einkomponenten-Polyurethanklebstoffe begonnen. Arbeitsschwerpunkte lagen in der Entwicklung verbesserter Langzeitverfahren unter Berücksichtigung bruchmechanischer Aspekte für schnellere und verbesserte Langzeitbeständigkeits-Bewertungen. Neue Prüf- und Auswerteverfahren sollen neben den übergeordneten Sicherheitsaspekten im Rahmen der „responsible care“ BMS-Firmenleitlinie auch schnellere Entwicklungen neuer Klebstoffgenerationen ermöglichen.

**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

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

Hauptaufgabengebiet der Abteilung „Brandschutz“ bleibt 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.

Die Brandprüfstelle leistete auch im Jahr 2007 wieder die Überwachung von insgesamt rd. 400 Firmen im In- und Ausland mit Zertifizierung von ca. 1000 geprüften Produkten. Die Kunden verteilten sich etwa zur Hälfte auf das In- und Ausland. Einen wesentlichen Kundenkreis bildet die mittelständische baden-württembergische Bauwirtschaft.

Weiterer Schwerpunkt war 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 Beweisicherungsverfahren oder Streitfällen.

Im Rahmen der Aus- u. Weiterbildung von Studenten und Feuerwehrleuten führte die Brandprüfstelle der MPA auch im Jahr 2007 wieder mehrfach Demonstrationsversuche durch und hielt diverse Schulungstermine ab.

Die Bestimmung von Brandverhalten und Feuerwiderstand als „wesentliche Anforderungen“ („essential requirements“) in der Bauproduktenrichtlinie erfuhr im gemeinsamen europäischen Markt nach wie vor eine hohe Nachfrage.

Die Brandprüfstelle ist hierbei bei der Kommission der Europäischen Gemeinschaft nach Artikel 18 der Bauproduktenrichtlinie und §11 BauPG als europäisch anerkannte Brandprüfstelle („notified body“) gelistet.

Die Abteilung verfügt hierzu mittlerweile über sämtliche Brandprüfeinrichtungen sowohl für das nationale als auch das neue europäische Prüf- und Klassifizierungssystem für das Brandverhalten von Bauprodukten und den Feuerwiderstand von Bauarten und Bauteilen, darunter u. a.: Verschmelungs- und Beflammungs-Rauchdichteapparaturen, Dachprüfstand, Fußbodenprüfstand, Nichtbrennbarkeitsöfen, Laboratorien für Kleinbrennerversuche, Brandschacht, SBI-Prüfstand, Polsterverbundprüfstand, Kleinprüfstand, Wandofen, Deckenofen, Kombiofen, Stützenofen, Rauchdichtheitsprüfstand, Dauerfunktionsprüfstände für Türen.

### Neue Versuchseinrichtungen

In der Brandprüfstelle der MPA Stuttgart konnte im Jahr 2007 die im Jahr zuvor neu in Betrieb genommene Prüfeinrichtung zur Durchführung von Brandversuchen an Fahrschachttüren nach EN 81-58 auf die Möglichkeit zur simultanen Mehrfachprüfung erweitert werden.



Brandversuch nach EN 81-58 an einer Fahrschachttür

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 seit dem Jahr 2007 nunmehr außerdem auch über ein Bomben-Kalorimeter zur Bestimmung der Verbrennungswärme von Bauprodukten nach DIN EN ISO 1716 und damit über alle wesentlichen europäischen Brandprüfeinrichtungen für Bauprodukte, Bauarten und Bauteile.

Neu in Betrieb genommen wurde in 2007 außerdem auch eine Prüfeinrichtung zur Brandprüfung an Industrie-Schutzhelmen nach DIN EN 397 und zur Prüfung der Flammbeständigkeit nach DIN EN 13087-7.



Prüfung der Flammbeständigkeit von Schutzhelmen

### Internationale und nationale Kooperation in der Forschung

In einem Forschungsauftrag des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) führt die Abteilung Brandschutz der MPA an verschiedenen Baustoffen vergleichende Versuche im SBI nach DIN EN 13823 und im Brandschacht nach DIN 4102 sowohl an in einem Frei-

bewitterungsgelände über lange Jahre freibewitterten als auch an vergleichbar aktuell hergestellten Baustoffen zum Nachweis des Einflusses der natürlichen Alterung auf das Brandverhalten durch.



Freibewitterungsstände nach DIN 4102

Die Abteilung Brandschutz plant darüber hinaus die Teilnahme an Forschungsprojekten zum Glimmverhalten von Dämmstoffen.

Die Brandprüfstelle ist Mitglied u.a. bei der „Arbeitsgemeinschaft der Brandschutzlaboratorien Deutscher Materialprüfanstalten (ABM)“, der „Fire-Sectorgroup SH02 (FSG)“ der Europäischen Kommission und der „European Group of Laboratories for Fire Testing (EGOLF)“ sowie in deutschen und europäischen Norm- und Sachverständigenausschüssen und Fachgremien im Bereich des Brandschutzes u.a. des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt), bei DIN, CEN, der DGfH etc.

## Fachbereich Baukonstruktionen und Werkstofftechnik

<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</p>
<p>Referat: Massivbau, Verbundbau, Befestigungstechnik, Sonderkonstruktionen:          N.N.</p>
<p>Referat Leichtbau, Glasbau, Fassaden: Dr.-Ing. R. Lehmann</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.

Neben den „klassischen“ Aufgaben wie die Bestimmung der statischen Tragfähigkeit und der Verformungen von Baukonstruktionen sind Untersuchungen zu Umwelt- und Klimaeinflüssen auf das Tragverhalten und die Dauerhaftigkeit von Bauteilen, Fragen zum Verhalten unter wiederholter Belastung (Dauerfestigkeit, Betriebsfestigkeit) und zum Werkstoffverhalten unter hohen Belastungsgeschwindigkeiten mittlerweile feste Bestandteile des Leistungsportfolios der Abteilung. Für diese Aufgaben stehen rechnergesteuerte, servohydraulische Prüfanlagen zur Verfügung. Die Leistungen beinhalten die computergestützte Erfassung von Messdaten, deren Speicherung, Auswertung und geeignete Aufbereitung für die weitere Analyse.

Arbeitsschwerpunkte der Abteilung in 2007 waren neben zahlreichen Aufgaben im Rahmen der Überwachung bauaufsichtlich zugelassener Produkte aus den Bereichen Befestigungstechnik, Stahlbeton und Bewehrungen sowie Fassaden und Wärmedämmverbundsysteme die Qualifikation von Schweißverfahren und -betrieben sowie gemeinsame Forschungs- und Industrieprojekte mit den Instituten der Fakultät Bauingenieurwesen. Beispiele hierfür sind aufwändige Zugversuche an faserbewehrtem Ultra-High-Performance-Concrete (UHPC) sowie Push-Out-Versuche und Querbiegeversuche mit sog. Trapezstegträgern in Zusammenarbeit mit dem Institut für Leichtbau, Entwerfen und Konstruieren (ILEK) und dem Institut für Konstruktion und Entwurf (KE). Weitere Projekte mit KE betrafen z. B. das Schweißen von Stahl in kritischen, kaltverformten Bereichen, Schweißen von höherfesten Baustählen sowie Schwerlastverbindungen im Holzbau.

Herauszuhebende Industrieprojekte 2007 waren z. B. Verformungsmessungen im Rahmen von Belastungsversuchen an einem historischen Gebäude in Ludwigsburg, die auch in der Presse viel Beachtung fanden, Untersuchungen zur Restlebensdauer von Bewehrungen in einem Sendeturm, Untersuchungen zur Lebensdauer von Fahrbahnübergangskonstruktionen unter zweiachsender Schwell- und Wechselbeanspruchung, Versuche an einbetonierten Ankerschienen zur Befestigung von Geländern in den schmalen Stirnseiten von Stahlbetonplatten sowie Untersuchungen an Bimsbetonhohlplatten aus altem Baubestand (s. Abb.) sowie zahlreiche Bauwerks- und Bauteiluntersuchungen und -beurteilungen.





Abb.: 4-Punkt Biegeversuch an einer Bimsbetonhohldiele aus altem Baubestand

Um den Kundenanforderungen auch zukünftig qualifiziert gerecht werden zu können, wurden im Jahr 2007 insbesondere im Bereich Metallbau und Schweißtechnik nennenswerte Investitionen getätigt. Im Einzelnen wurde das computergesteuerte Messsystem „WeldAnalyst“ beschafft, das Thermografiesystem „VARIOTherm“ aufgerüstet und ein mobiles Transientenmesssystem gekauft. Die folgende Auflistung zeigt die Leistungsmerkmale und Einsatzmöglichkeiten dieser Systeme.

WeldAnalyst Version 5.1.0:

Für die effiziente Bearbeitung von Verfahrensprüfungen (WPQR) nach DIN EN ISO 15614 und Schweißanweisungen (WPS) wurde ein Computergestütztes Messsystem zur Bewertung und Dokumentation von Schweißprozessen für den mobilen Einsatz beschafft. Mit der Einführung dieses Systems können erstmals die Parameter bei gepulsten und konventionellen Schweißprozessen erfasst und ausgewertet werden.

Modernisierung Thermografiesystem (Wärmebildkamera):

Die vorhandene Wärmebildkamera im Schweißlabor vom Typ „VARIOTherm“ wurde auf den Stand der im Rahmen der Akkreditierung zwingend vorgesehenen modernen und technisch neuesten Ausstattung/Zustand aufgerüstet. Das neue System vom Typ „Vari-oCAM hr“ bietet darüber hinaus auch die Möglichkeit online Temperaturdaten auszulesen und diese als Analog- oder Digitalsignale für Regelkreise zur Verfügung zu stellen.

Messsystem für den mobilen Laboreinsatz:

Das mobile multifunktionale Transientenmesssystem wird eingesetzt zur Prozessanalyse beim Schweißen. Das beschaffte System ermöglicht die Messung und Speicherung von Daten bei einer max. Abtastrate von 750 kSample (16 Kanäle) und simultaner Signalerfassung (Quellen: Analogsignale, Digitalsignale, Videosignale, Bussysteme, etc.).

Elektronischer Drehmomentenschlüssel 20 bis 800 Nm

Für Versuche mit Befestigungsmitteln, bei denen die Umsetzung des Montagedrehmomentes in Zugkraft und Spaltkraft zu untersuchen ist, sowie für die Qualifikation spezieller Schraubenverbindungen mittels Verfahrensprüfungen wurde ein elektronischer Drehmomentenschlüssel beschafft.

Klimatisierung von Mess- und Kleberäumen

Zur sicheren ganzjährigen Gewährleistung normgemäßer Bedingungen bei der Messung von Geometrien, Härten, Schichtdicken etc. sowie bei Klebevorgängen wurde ein Messlabor und ein Klebetechnik-Labor mit der hierfür notwendigen Kühl- bzw. Klimatechnik ausgerüstet.

### **Forschung – abgeschlossene Vorhaben**

„Untersuchungen zur Übertragbarkeit der Prozessparameter auf Anlagen unterschiedlicher Bauart beim Herstellen von Tailored Blanks auf geschlossener Bahn mittels Rührreibschweißen“. (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. AiF-Nr.: 14.572 BG; Laufzeit: 1.9.2005 – 31.8.2007;)

Das Forschungsziel ist die Untersuchung der verfahrens- und werkstofftechnischen Einflüsse bei der Durchführung von Rührreibschweißarbeiten an Tailored Blanks auf geschlossener Bahn. Es werden unterschiedliche Mischverbindungen aus Aluminiumblech und -guss gefügt. Als Ergebnis werden für den Anwender maschinenbezogene Übertragungsrichtlinien für die prozesssichere und reproduzierbare Durchführung von Rührreibschweißarbeiten erstellt.

Die Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse bringt den kleinen und mittleren Unternehmen eine Reihe von Vorteilen:

- neue Möglichkeiten der Herstellung von Tailored Blanks aus unterschiedlichen Aluminiumblech- und Aluminiumgusswerkstoffen.
- Verbesserung der Güte von Aluminiummischverbindungen
- Flexible Planung der Fertigung
- Reproduzierbarkeit der Schweißergebnisse unabhängig von der Anlagentechnik
- Erweiterung der konstruktiven Möglichkeiten für neue Produkte



**Abteilung Werkstoffverhalten:**

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 2007 wurden hierzu eine Vielzahl von Aufträgen aus der Industrie abgewickelt, die neben Standardprüfungen zur Ermittlung der Schwingfestigkeit vor allem Bauteilversuche mit speziellen Prüfaufbauten beinhalten. Darüber hinaus erfolgte Beratung in Fragen der Werkstoffauswahl und -beurteilung für unterschiedlichste Anwendungsbereiche. Berechnungen für warmgehende Bauteile in Dampfkesseln bildeten einen weiteren Schwerpunkt.

Auch im Jahr 2007 lag im Bereich Forschung und Entwicklung 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 Wirkungsgrade 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 langjährige Projekte ein, in denen die MPA Stuttgart die Werkstoffkompetenz in Zusammen-

arbeit mit allen namhaften Firmen des Turbinen-, Kessel- und Rohrleitungsbaus, Werkstoff- und Schweißzusatzherstellern und den in Deutschland operierenden Betreibern von Kraftwerksanlagen zusammenarbeitet.

Im Projekt MARCKO 700, das im Jahr 2005 begonnen wurde, wird die gesamte für Kessel- und Rohrleitungskomponenten notwendige Werkstoffpalette vom 21/2%- Chromstahl T24 über martensitische Stähle bis zur Nickelbasis-Legierung unter einsatzrelevanten Bedingungen qualifiziert. In einem speziell errichteten Prüfstand, in dem Membranwandabschnitte unter Wasserdampfbedingungen bei Temperaturen bis zu 700°C geprüft werden können, wurden zwei Versuche erfolgreich abgeschlossen.

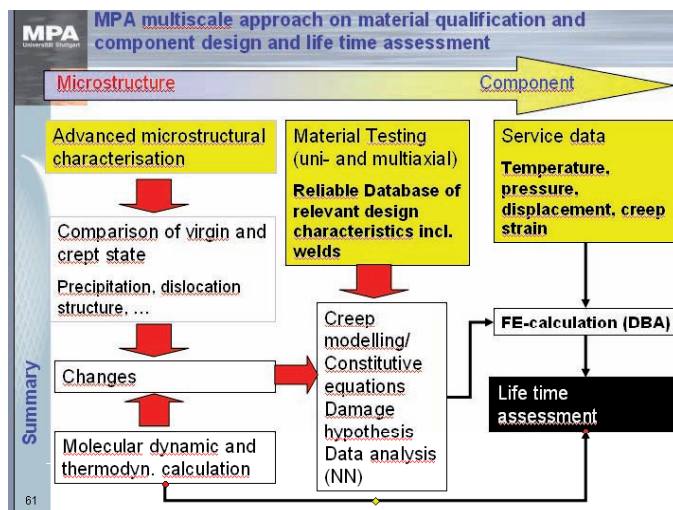
Innerhalb der Coorettec-Initiative ist die MPA Universität Stuttgart an verschiedenen Projekten, z. B. zur Qualifizierung von Schmiedeteilen aus Nickelbasislegierungen und martensitischen Werkstoffen, zur Untersuchung von Korrosion und Verschlackung in Kesselbauteilen, zur Qualifizierung von zerstörungsfreien Prüfverfahren für Nickelbasislegierungen und deren Schweißverbindungen sowie an zwei Vorhaben zur Auslegung und Berechnung von Turbinenbauteilen für das Hocheffizienzkraftwerk beteiligt. Zur Untersuchung der dampfseitigen Oxidation wurde im letzten Jahr ein Prüfstand modifiziert und in Betrieb genommen, in dem Kesselrohre aus 12 martensitischen und austenitischen Werkstoffen, drei Nickelbasislegierungen sowie zwei ungleichartige Schweißverbindungen unter Druck- und Dampfbedingungen in Bauteilabmessungen bei Temperaturen von 580°C bis 750°C geprüft werden.



Prüfstand zur Prüfung von Kesselrohren und Druck- und Dampfbedingungen und Prüflinge vor dem Verschweißen und Einbau in den Prüfstand

Mit der Anwendung komplexer Werkstoffe und der notwendigen wesentlich höheren Ausnutzung der Werkstoffeigenschaften in neuen Kraftwerksanlagen wächst der Bedarf nach verlässlichen Methoden der numerischen Simulation. Hierzu wurden neben einem komplexen Stoffgesetz auf der Basis des Chaboche-Modells auch inkrementelle Kriechgesetze durch Einbeziehung eines Schädigungsparameters weiterentwickelt. Dieses Gesetz ist für eine Vielzahl von Kraftwerksbauteilen anwendbar, bei denen die Zeitstandbeanspruchung und -schädigung dominant ist, aber durch Belastungswechsel wie An- und Abfahrten beeinflusst wird.

Die Verwendung hybrider Verfahren, bei der sich experimentelle Untersuchungen und numerische Berechnungen ergänzen und gegenseitig unterstützen, ist Bestandteil aller derzeit durchgeführten Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Daraus ergibt sich eine enge Zusammenarbeit mit der Abteilung Werkstoffeigenschaften, in der elektronenmikroskopische Befunde aus Raster- bzw. Transmissionselektronenmikroskop in Beschreibungen zur Schädigungsentwicklung umgesetzt werden. Diese Kopplung bildet einen Baustein in einem modernen an der MPA Stuttgart entwickelten Konzept zur mehrskaligen Modellierung von Verformungs- und Schädigungsvorgängen, das derzeit abteilungsübergreifend verfolgt wird.



Mehrskaliges Konzept der MPA Stuttgart für Werkstoffqualifizierung, Komponentenberechnung und Lebensdauerbewertung

### Abteilung Werkstoffeigenschaften

Prof. Dr.-Ing. K. Maile

Tel.: 685/ -63059

E-Mail: karl.maile@mpa.uni-stuttgart.de

Referat Elektronenmikroskopie und Metallographie: Dr.-Ing. H. Ruoff

Referat Multifunktionale Werkstoffe / Nanomaterialien: Dr.-Ing. Karl Berreth

Referat Werkstoffeigenschaften unter extremen Bedingungen: NN

Referat Tribologie: Dr.-Ing. Manfred Rohr

Referat Schadensanalyse im Maschinenbau: Dr.-Ing. Harald Diem

Der Tätigkeitsbereich der Abteilung lässt sich mit der Darstellung und Entwicklung der Zusammenhänge zwischen Werkstoffstruktur und wichtigen technischen Eigenschaften, die die Funktionen eines Bauteiles beeinflussen, umschreiben. Im Jahr 2007 wurden

Forschungs- und Entwicklungsaufgaben durchgeführt, die mit den Schlagworten skalenübergreifende mikrostrukturelle Charakterisierung von neuen Werkstoffen für zukünftige hocheffiziente Dampfkraftwerke, Optimierung von kohärenten Oxidationsschutzschichten und Verhalten von Werkstoffen in Wasserstoff beschreibbar sind. Darüber hinaus wurden in bilateralen Projekten zielorientierte F&E-Arbeiten abgewickelt, die innerhalb eines kurzen Zeithorizontes Problemstellungen wie Werkstoffoptimierungen, Ermittlung von Schadensursachen sowie Möglichkeiten der Schadensprävention beinhalteten.

### **F&E Arbeiten**

Die Umsetzung neuer Technologien in schadstoffarmen Hochleistungskraftwerken (als Stufe auf dem Weg zum Null-Emissions-Kraftwerk) beruht in erster Linie in der deutlichen Anhebung der Dampfparameter Druck und Temperatur. Für den höchsten Beanspruchungsbereich sind die bisher verwendeten Stähle/Werkstoffe nicht geeignet, es muss in zunehmendem Maße auf neu entwickelte Werkstoffe bzw. Nickelbasis-Legierungen übergegangen werden. Zu den hierzu notwendigen F&E-Arbeiten zur Entwicklung und Qualifizierung dieser Werkstoffe gehört auch die Beschreibung von Schädigungsmechanismen. Die zeitliche Abfolge der Schädigung selbst kann nicht mehr – wie in der Vergangenheit – auf einer empirischen, phänomenologischen Basis erfolgen, sondern bedarf grundsätzlich einer wissenschaftlichen Durchdringung. Sie schließt alle durch den späteren Betrieb möglichen Mechanismen ein. Zur Lösung dieser Fragestellungen leistete die Abteilung auch im vergangenen Jahr im Rahmen der COST 536 sowie verschiedener COORETEC Projekte einen wichtigen Beitrag. Neben der Beurteilung der Phasenstabilität in martensitischen Werkstoffen unter langzeitiger Kriechbelastung im Zusammenhang mit dem Bor- bzw. Stickstoffgehalt, war die Beschreibung der Veränderungen der Mikrostruktur in für die Kraftwerkstechnik wichtigen Nickellegierungen durch thermische Alterung bzw. mechanische Belastung ein wesentliches Arbeitsgebiet. Im Vordergrund steht die Fragestellung nach dem Zusammenhang mit der langzeitigen Kriechfestigkeit mit maßgebenden Mikrostrukturparametern sowie die Beschreibung und Beurteilung von aufgetretenen Schadensfällen.

Dem Phänomen einer möglichen Alterung durch dynamische Belastung bei mäßig erhöhten Temperaturen beim WB 36 wird in einem Gemeinschaftsprojekt mit dem Institut für zerstörungsfreie Werkstoffprüfung (IzfP) Saarbrücken nachgegangen. Hierzu wurden vom IzfP zerstörungsfreie elektromagnetische Untersuchungen und seitens der MPA werkstoffkundliche Untersuchungen durchgeführt. Mittels Transmissionselektronenmikroskopie (TEM) und Neutronen-Kleinwinkelstreuung (bei GKS Geesthacht) werden die Kupfer-Ausscheidungszustände nach unterschiedlichen LCF-Beanspruchungen untersucht. Ergänzend werden Messungen der inneren Reibung zur Bewertung der Anfälligkeit der Werkstoffe bezüglich dynamischer Reckalterung durchgeführt sowie bruchmechanische Kennwerte ermittelt.

Der Einfluss von Wasserstoff auf das mechanische Verhalten von Werkstoffen im Druckbereich zwischen 1 und 10 MPa bei Raumtemperatur und  $-50\text{ °C}$  war Gegenstand von bilateralen Projekten bzw. Verbundprojekten mit der Industrie und zeigt die



Aktualität dieser Thematik. Es wurden austenitische, ferritische und martensitische Stähle sowie Aluminiumlegierungen und Hartlotverbindungen, hauptsächlich eingesetzt in Komponenten des Automobilbaus sowie in Tanks, Druckbehältern, Kompressoren und Flugzeugkomponenten, untersucht. Neben Zugversuchen zur Erfassung des Einflusses von Wasserstoff auf die mechanisch-technologischen Kennwerte wurden Zug-schwellversuche zur Charakterisierung des Ermüdungsverhaltens durchgeführt.

Im Rahmen einer Ausschreibung der ESA (European Space Agency) beteiligte sich die MPA erfolgreich als Unterauftragnehmer an der Bewerbung der MT AEROSPACE AG und ist mit der Durchführung von Zugversuchen in Flüssigwasserstoff und Flüssighelium an diesem Vorhaben beteiligt.

### **Neue Geräte**

Die gerätetechnische Kompetenz im Referat Elektronenmikroskopie und Metallographie konnte durch ein Electron-Backscatter-Diffraction- (EBSD-) System als Zusatzsystem zum Rasterelektronenmikroskop und Transmissionselektronenmikroskop verstärkt werden. Damit ist am REM eine schnelle Auswertung von Beugungsbildern möglich, so dass unterschiedliche Phasen und Kristallorientierungen innerhalb eines Bildes farbig dargestellt werden können. Auch am TEM kann über eine neue Digitalkamera, die Auswertung sog. Kikuchi-Bilder erfolgen. Die Digitalkamera kann darüber hinaus auch zur Dokumentation der üblichen Hellfeld-, Dunkelfeld- und Beugungsbilder eingesetzt werden. Das System erfordert eine hohe Qualität der zu untersuchenden Oberflächen. Mit entsprechenden Präparationsversuchen wurde begonnen. Das neue EBSD-System stellt eine wesentliche Verbesserung der elektronenmikroskopischen Untersuchungsmöglichkeiten dar.

Über die Ausstattung des Röntgendiffraktometers Siemens D5000 mit der neuesten Software der Fa. Bruker AXS ergeben sich im Referat Multifunktionale Werkstoffe/Nanomaterialien besondere Messmöglichkeiten für die Analyse von Eigenspannungszuständen sowie die Ermittlung von Restaustenitgehalten. Für beide Bereiche ist die MPA nach DIN EN 17025 akkreditiert. Darüber hinaus sind auch halbquantitative bzw. quantitative Phasenanalysen möglich. Neben den chemischen Elementen können auch Verbindungen identifiziert werden. Untersucht werden können feste Proben sowie Bauteile, bei denen die Messstelle für den Röntgenstrahl in ausreichendem Winkel zugänglich ist. Die bevorzugte Probengröße ist 50 mm breit, 10 mm dick und bis 100 mm lang. Die Probendicke ist auf max. ca. 35 mm beschränkt, die Breite und Länge auf ca. 100 mm. Ferner können auch Messungen an Pulverproben oder eingebetteten Proben durchgeführt werden.

## Fachbereich Berechnung, Auslegung und Betriebsverhalten

<p><b>Abteilung Berechnung:</b> 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</p>
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

### Schwerpunkte der Aktivitäten im Jahre 2007

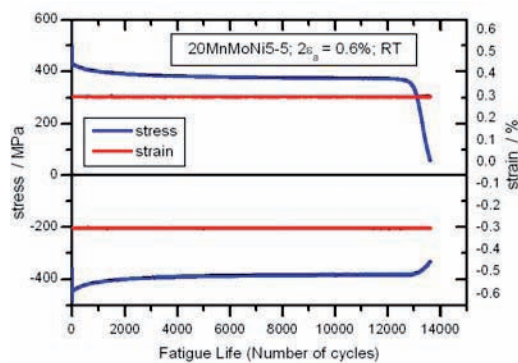
Nachweis der Ermüdungsfestigkeit bei kerntechnischen Komponenten aus ferritischen und austenitischen Werkstoffen

Bei der Auslegung, Konstruktion und Berechnung von kerntechnischen Komponenten (Bauteilen) ist nachzuweisen, dass die druckbelasteten Wandungen allen spezifizierten Druck- und sonstigen mechanischen Belastungen im Rahmen der spezifizierten Eintrittshäufigkeiten und der Lebensdauer in zulässiger Weise standhalten. Diese Nachweise erfolgen im Rahmen einer Spannungsanalyse (Festigkeitsnachweis bei statischer Beanspruchung) und im Rahmen einer Ermüdungsanalyse (Festigkeitsnachweis bei schwingender Beanspruchung). Durch die Spannungsanalyse mit Spannungskategorisierung und Spannungsbegrenzung ist in Verbindung mit den geforderten Werkstoffeigenschaften nachzuweisen, dass keine unzulässigen Verzerrungen, insbesondere nur begrenzte plastische Verformungen, auftreten. Im Rahmen der Ermüdungsanalyse (Nachweis der Ermüdungsfestigkeit) werden zur Vermeidung des Versagens infolge Ermüdung die Vergleichsspannungsschwingbreiten ( $\sigma_V$ , Tresca oder  $\sigma_V$ , v.Mises) ermittelt. Bewertungsgrundlage bei der Ermüdungsanalyse sind die Ermüdungskurven (S-N Kurven, Auslegungskurven) zur Ermittlung des Erschöpfungsgrades. Bei überelastischer Beanspruchung ist die Vergleichsspannungsschwingbreite mit dem Plastifizierungsfaktor  $K_e$  zu multiplizieren.

Ziel des Projekts ist die Erweiterung der Datenbasis zu einer realistischeren Ermittlung des Sicherheitsabstandes gegen ein mögliches Versagen infolge einer Werkstoffschädigung durch Ermüdung, Bild 1 und Bild 2. Anhand der Ergebnisse der im Vorhaben durchgeführten experimentellen und theoretischen Untersuchungen wird die im kerntechnischen Regelwerk enthaltene Vorgehensweise beim Nachweis der Ermüdungsfestigkeit unter Berücksichtigung der im Vorhaben betrachteten Parameter überprüft und falls erforderlich verifiziert.

Einzelzielsetzungen sind:

- Untersuchungen zum Einfluss einer mittleren Spannung oder Dehnung. Durch Dehnungswechselversuche im teilplastischen Bereich sollen weitere Daten zum Einfluss einer mittleren Spannung oder Dehnung geschaffen und die Vorgehensweise beim rechnerischen Nachweis der Ermüdungsfestigkeit kerntechnischer Komponenten verifiziert werden, Bild 3.
- Untersuchungen zur Auswirkung mehrachsiger Spannungszustände und geeigneter Festigkeitshypothese. Durch geeignete Wahl der Beanspruchungsparameter (Beanspruchungsamplituden, Phasenverschiebung) im Dehnungswechselversuch mit Hohlproben wird die Auswirkung einer mehrachsigen Beanspruchung auf das Ermüdungsverhalten untersucht, Bild 4 und Bild 5, und es werden die derzeit verfügbaren Festigkeitshypothesen bewertet und gegebenenfalls modifiziert. Durch die Versuche mit Hohlproben im Zeitfestigkeitsbereich werden weitere Daten geschaffen, um den Plastifizierungsfaktors  $K_e$  zu überprüfen und zu verifizieren.
- Verifizierung der Anrisskennlinien und der daraus abgeleiteten Auslegungskurve im Zeitfestigkeitsbereich, Bild 6.



Spannungs-Dehnungs-  
(Hysterese-)Schleife jeder  
Schwingung

Maxima und Minima jedes Zykluses

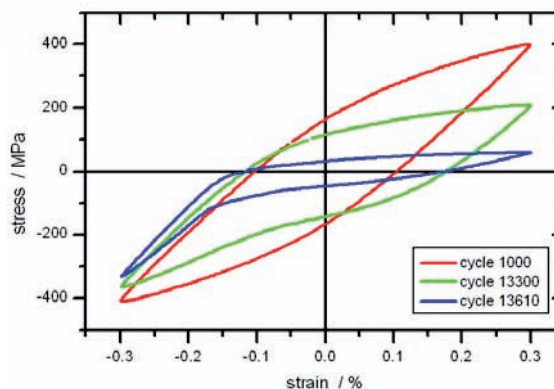
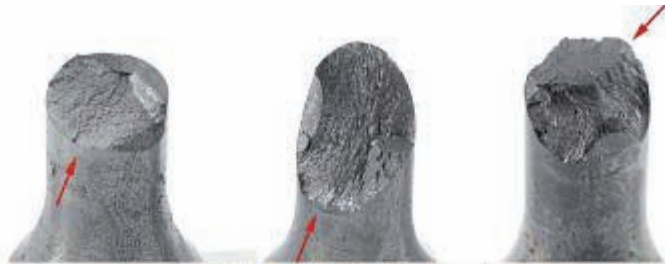


Bild 1: Ergebnis eines dehnungsgesteuerten Schwingversuchs mit Rundprobe





Bruchaussehen des 20MnMoNi5-5 bei rein wechselnder Belastung mit RT, 288 °C und 350 °C (Dehnungsschwingbreite 0,9 %), REM-Aufnahmen von Probe bei RT

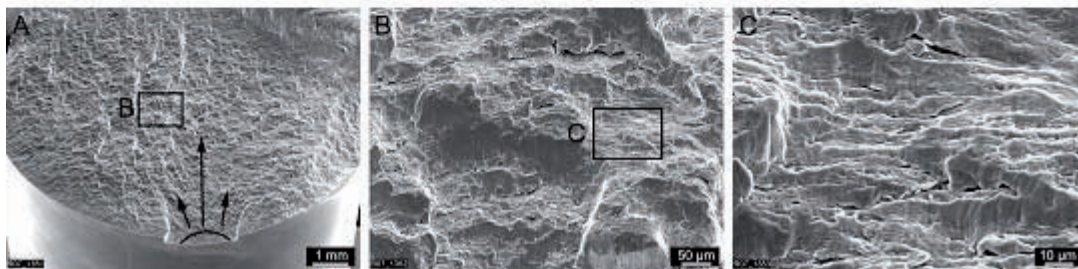
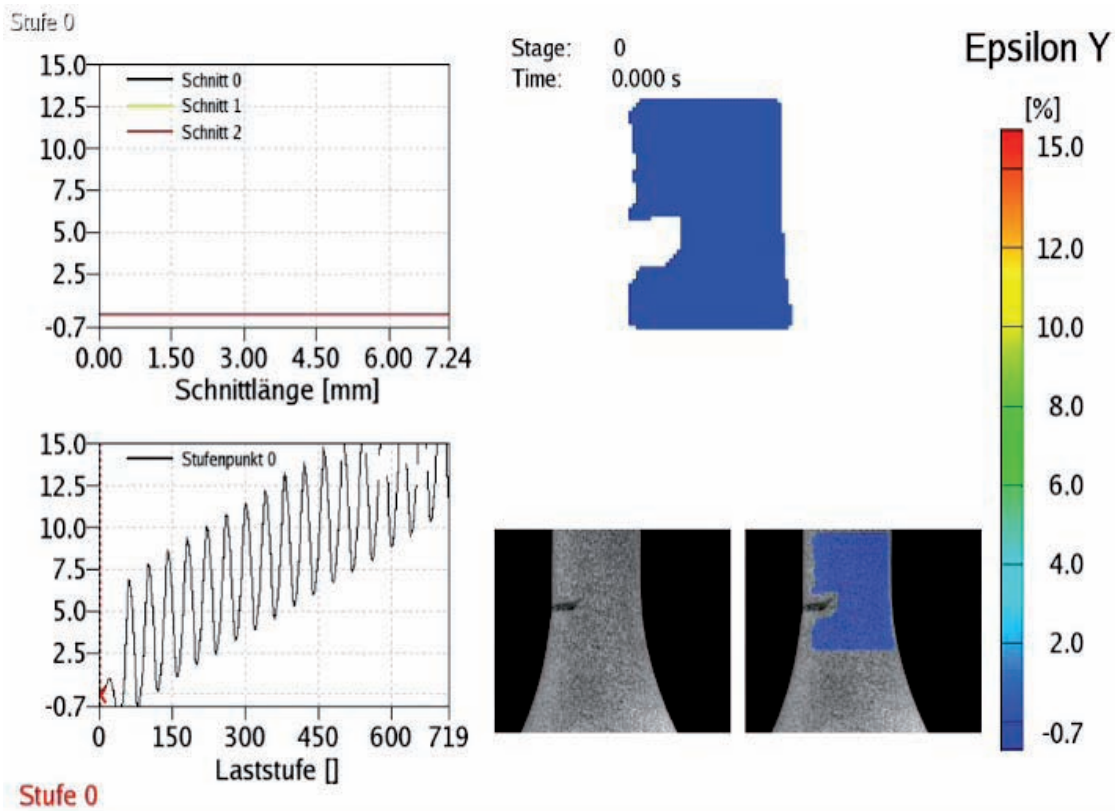


Bild 2: Bruchfläche einer Rundprobe nach einem Schwingversuch

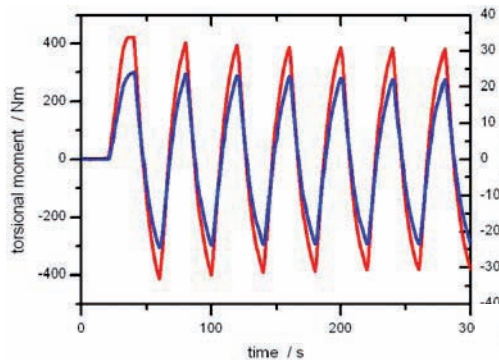


Stufe 0

**ARAMIS**

**gom**  
www.gom.com

Bild 3: Dehnungsentwicklung an der Risspitze Rundprobe aus Werkstoff 1.4541 bei Schwingbeanspruchung mit Mittelspannung



Kontinuierliche Aufzeichnung von:

- Axialkraft
- Torsionsmoment
- clip gauge Axialverschiebung
- clip gauge Umfangverschiebung

Aufbereitung der Daten:

- Axialkraft
  - Torsionsmoment
  - clip gauge Messgrößen
- als Funktion der Schwingspielzahl

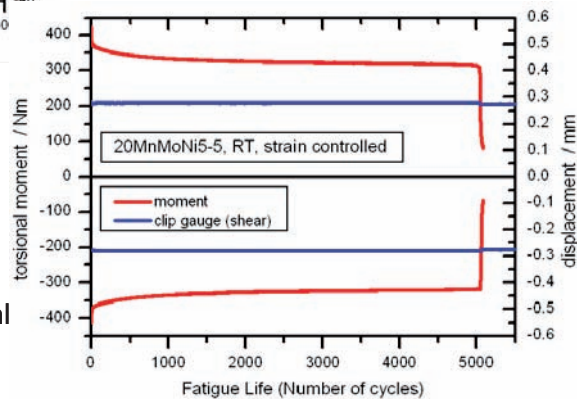


Bild 4: Ergebnis eines dehnungsgesteuerten Schwingversuchs mit zylindrischer Hohlprobe unter Axial- und Torsionsbelastung



Testparameter für dehnungskontrollierte Versuche :

Frequenz: 0,0125 Hz ... 0,05 Hz  
 Schwingspielzahl: bis  $5 \cdot 10^4$   
 Dehnungsamplituden:  $\pm 0,08\%$  ...  $\pm 0,16\%$   
 Schiebungsamplituden:  $\pm 0,4\%$  ...  $\pm 1,4\%$   
 Axialkräfte: bis zu  $\pm 30$  kN  
 Momente: bis zu  $\pm 400$  Nm  
 Dehnung und Schiebung werden von einem clip gauge gemessen

Überlagerung von Torsion und Axialzug mit und ohne Phasenverschiebung



Bild 5: Zylindrischer Hohlprobe für Schwingversuch bei 288 oC

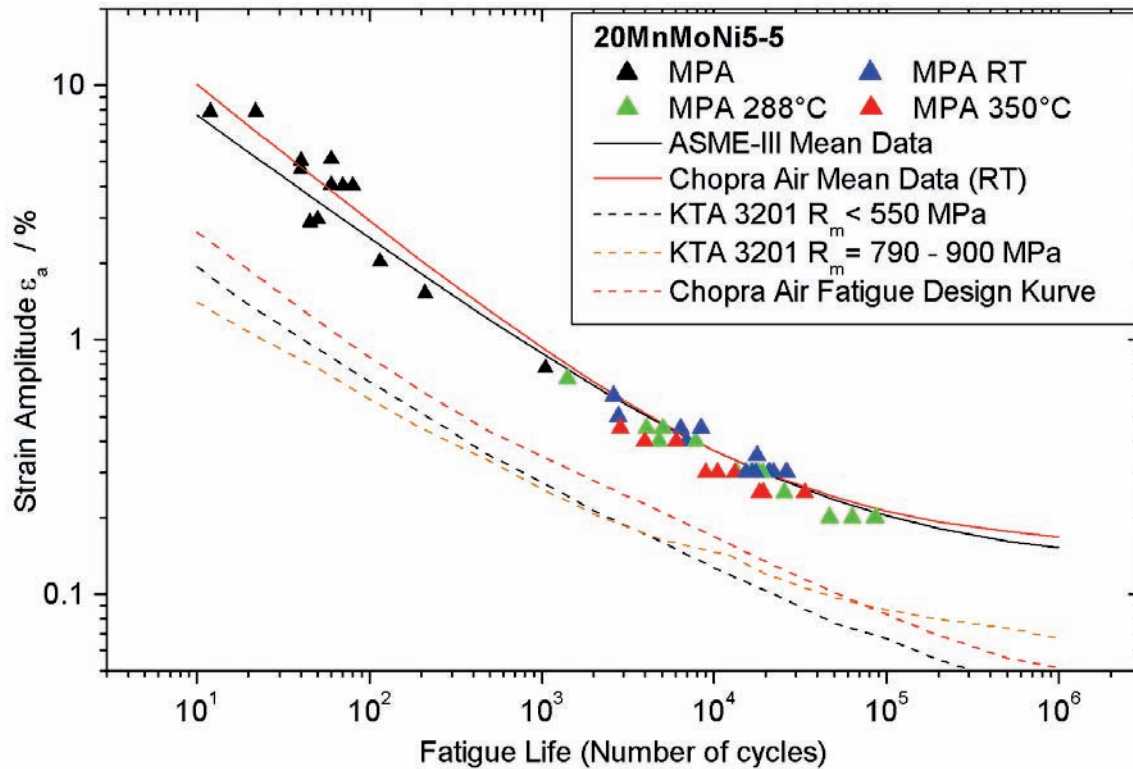


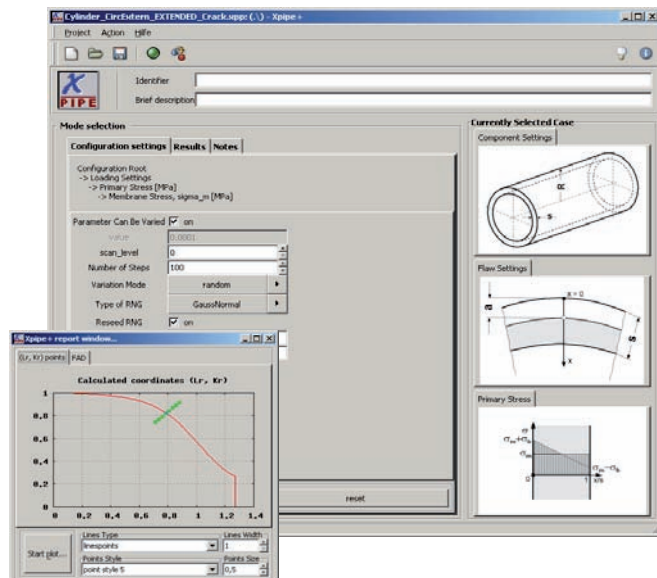
Bild 6: Ergebnisse der Schwingversuche mit zylindrischen Rundproben im Vergleich mit Regelwerkskurven

*Projekt XPIPE R6/P „Entwicklung einer Berechnungssoftware zur probabilistischen bruchmechanischen Analyse von Druckbehältern und Rohrleitungen mit der R6-Methode“*

Das Ziel des in der Abteilung Berechnung durchgeführten Projektes XPIPE R6/P war die Entwicklung eines Berechnungsprogramms zur probabilistischen Analyse (Zuverlässigkeitsanalyse) von Bauteilen mit Rissen unter Verwendung der R6-Methode.

Ein wesentliches Merkmal des Programms ist die Möglichkeit, Parameterstudien sowohl mit skalaren, als auch mit statistisch verteilten Eingabegrößen in beliebiger Anzahl und Kombination durchzuführen. Damit können probabilistische Berechnungen nach der R6-Methode bei gleichzeitiger Variation beliebiger Eingabeparameter durchgeführt werden.

Die Software beinhaltet integrierte Grafikmodule zur Darstellung von





Eingabe- und Ergebnisdaten in Form von Diagrammen.

Die Software ist modular aufgebaut, so dass der Funktionsumfang an spezifische Anforderungen angepasst und problemlos um zusätzliche Funktionalitäten erweitert werden kann.

#### *Einfluss der Mehrachsigkeit des Spannungszustandes auf die duktile Rissinitiierung und Risserweiterung*

In einem angerissenen Bauteil hängt das Maß der stabilen Rissausbreitung in der Hochlage der Kerbschlagarbeit bzw. Bruchzähigkeit des Werkstoffs vom Spannungszustand im Bauteil und damit von der Bauteilgeometrie ab. Für die bruchmechanische Bewertung der Bauteilsicherheit ist es daher wichtig zu wissen, ob ein vorhandener Riss ein Potenzial für stabile Risserweiterung aufweist oder nicht. Mit Hilfe numerischer Untersuchungen soll anhand von Mehrachsigkeitsparametern (Constraint) gezeigt werden, welche Bauteile ein solches Potenzial aufweisen, oder nicht.

#### *EU Forschungsvorhaben „Safepipes“*

Ziel des Vorhabens ist, neue Möglichkeiten und Vorgehensweisen der Zustandsüberwachung (Monitoring), der zustandsorientierten Instandhaltung und der Bestimmung der Lebensdauer von Ingenieurtragwerken zu demonstrieren. Dies wird am Beispiel sicherheitsrelevanter Rohrleitungssysteme im chemischen und kraftwerkstechnischen Anlagenbau aufgezeigt. Im Einzelnen umfassen die Arbeiten Zustandsüberwachung, Sicherheitsabschätzung und Lebensdauermanagement, Ersatz visueller Inspektion durch automatisierte Dauerüberwachung und zustandsorientierte Instandsetzung, Überwachung nicht zugänglicher Punkte mittels neuartiger Technologien, nachhaltige und dauerhafte Instrumentierung für die digitale Inspektion, Sensor-Entwicklung, Automatisierte Modalanalyse, Verifikationsversuche, Optimierung der Dichtungstechnologie im Anlagenbau, Integriertes Decision Support System (DSS), Technologietransfer zu und von den neuen EU-Mitgliedsstaaten (NMS), Multidisziplinäre Erprobung und Anwendung sowie Übermittlung und Verbreitung der Ergebnisse.

#### *Weitere Aktivitäten in Kürze*

##### *Risskorrosion*

Numerische Untersuchungen zum Beanspruchungszustand an der Rissspitze unter Berücksichtigung des Niedertemperaturkriechens. Erweiterung vorhandener empirischer Werkstoffgesetze.

##### *Ratchetting*

Im Rahmen des abgeschlossenen Vorhabens wurde ein Programm zur fortschrittlichen Simulation des Werkstoffverhaltens bei zyklischer Belastung entwickelt und für die Anwendung in Finite Elemente Programmen an Hand von Experimenten mit ferritischen und austenitischen Probekörpern verifiziert. Ergänzend zur vorhandenen experimentel-

len Datenbasis wurden Versuche mit unterschiedlicher Beanspruchungsgeschwindigkeit durchgeführt.

*Werkstoffausnutzung (Lebensdauerberechnung schwingend beanspruchter Bauteile mit schädigungsmechanischen Modellen)*

Das Ziel des Vorhabens liegt in der Beschreibung und quantitativen Bewertung des Lebensdauerzustands von Komponenten im Motorenbau infolge von thermischem und mechanischem Ermüden. Durch ein Schädigungsmodell zur Ermittlung des Wachstums von Mikrorisspopulationen wird der Schädigungsverlauf bei Ermüden bis zum makroskopischen Anriss genauer beschrieben. Unsicherheiten bei der Lebensdauerermittlung von Lastkollektiven durch die lineare Schadensakkumulation lassen sich ausräumen. Das Modell gestattet somit eine Aussage über die tatsächliche Länge der Mikrorisse unter beliebigen, zeitlich veränderlichen Belastungen und über den aktuellen Lebensdauerverbrauch bzw. die vorhandene Restlebensdauer bis zum makroskopischen Anriss.

*Titan-Keramik-Verbindung*

Numerische Berechnungen zum Beanspruchungszustand in einer gelöteten Metall-Keramik-Verbindung wurden durchgeführt mit dem Ziel die optimale Lötconfiguration aufzufinden. Im weiteren sollen experimentelle Untersuchungen die numerische Vorhersage absichern.

*Werkstoffforschung für Kernkraftwerke der Generation IV (GIV)*

Auf dem Gebiet der Werkstoffforschung für Kernkraftwerke der GIV beteiligte sich die MPA Stuttgart an dem EU-Collaborative Project "Generation IV and Transmutation Materials (GETMAT)", das von der EU genehmigt wurde und im Feb. 2008 gestartet ist.

Auf dem von OECD/NEA/NSC in Zusammenarbeit mit der IAEA veranstalteten "Workshop on Structural Materials for Innovative Nuclear Systems (SMINS)" wurde eine Vortrag zum Thema "Structural Materials Concept for Nuclear power Plants" gehalten.

Basierend auf der Teilnahme der MPA Stuttgart am AK-V/HTR im Kompetenzverbund Kerntechnik wurden zwei Projektskizzen erarbeitet und bei der GRS vorgelegt:

- Bearbeitung von Grundlagen zur Bewertung der Sicherheit von Komponenten im Hochtemperaturbereich
- Qualifizierung von Wolframlegierungen für hoch belastete Strukturen in zukünftigen Fusionsanlagen und Kernreaktoren

*Gutachterliche Bewertung von Lager- und Transportbehältern für spaltbare radioaktive Stoffe.*

*Industrieprojekte*

Im Jahr 2007 wurden zahlreiche Projekte aus den Bereichen Automotive und Energieumwandlung im Direktauftrag der Industrie durchgeführt

**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

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 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.

In Vorbereitung auf die kommende Änderung der UN ECE Regelung 44 zur Zulassung von Kinderrückhaltesystemen wurde ein neuer Q-Dummy (Q3) mit entsprechender Messtechnik und Datenerfassung beschafft.

*Industrieforschung*

Das Referat Hochgeschwindigkeitsbeanspruchung bearbeitete in 2007 industrielle Forschungsaufträge zur Untersuchung des Werkstoffverhaltens bei hoher Beanspru-



chungsgeschwindigkeit mit Auftraggebern aus den Branchen Automotive (Zulieferer und OEM), Luftfahrt, Kraftwerke und Nuklearbehälter.

Außerdem wurden für Forschungsvorhaben des Bundes und der AiF, Aufgaben der Prüfung bei hoher Beanspruchungsgeschwindigkeit, die Auswahl und Betreuung der entsprechenden Messtechnik sowie Auswertung und numerische Simulation übernommen.

### *Forschung*

Im Jahre 2007 wurden zwei aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) geförderte Forschungsvorhaben erfolgreich abgeschlossen. Die Abschlussberichte können von der Home Page der Materialprüfungsanstalt (MPA) Universität herunter geladen werden: [http://www.mpa.uni-stuttgart.de/forschung/forschungsprojekte/fb\\_3/fb\\_3.html](http://www.mpa.uni-stuttgart.de/forschung/forschungsprojekte/fb_3/fb_3.html)

#### AiF-Forschungsvorhaben Nr. 14264 N

„Ausblassichere Dichtungen für Flanschverbindungen mit emaillierten und glasfaserverstärkten Kunststoffflanschen in der chemischen Industrie“

Laufzeit 01.07.05 - 31.03.2007

Die in Technischen Regeln bei der Handhabung von Gefahrstoffen geforderte „Ausblassicherheit“ von Flanschverbindungen zielt auf die Verhinderung einer plötzlichen großen Leckage z. B. durch das Aufreißen einer Dichtung ab. Vor diesem Hintergrund wurde der Frage nach der Ausblassicherheit von Dichtungen in Flanschverbindungen und deren Nachweis nachgegangen. Neben der Definition des Begriffs „Ausblassicherheit“ wurde eine Prüftechnik entwickelt und im Vergleich mit Bauteilversuchen validiert. Weiterhin wurde eine Reihe von Untersuchungen vornehmlich an PTFE-basierten Flanschdichtungen durchgeführt, bei denen sich die Frage der Ausblassicherheit im Hinblick auf den geringen Reibkoeffizienten dieser Dichtungen und die häufig gegebene geringe Pressung in Kunststoff- und emaillierten Flanschen in besonderem Maße stellt. Schließlich wurde der Weg aufgezeigt, wie der Aspekt „Ausblassicherheit“ bereits in die Auslegung von Flanschverbindungen implementiert werden kann.

#### AiF-Forschungsvorhaben Nr. 14235 BG

„Auslegung von Flanschverbindungen aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) für die chemische Industrie“

Laufzeit 01.02.2005 - 31.07.2007

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurde die Basis für eine beanspruchungs- und werkstoffgerechte Auslegung von Flanschverbindungen mit Losflanschen und Bundens aus glasfaserverstärktem Kunststoff insbesondere unter Berücksichtigung realistischen Werkstoffverhaltens geschaffen. Hierzu wurden einerseits grundlegende, anwendungsorientierte Werkstoffuntersuchungen zur Charakterisierung verschiedener GFK-Varianten durchgeführt. Auf dieser Basis wurden Werkstoffmodelle erstellt als Input für Finite-Elemente-Berechnungen. Andererseits wurden Bauteilversuche unter simulierten betrieblichen Belastungen durchgeführt. Dabei wurden die relevanten Beanspruchun-

gen und Verformungen erfasst, analysiert und den Berechnungsergebnissen zu deren Verifikation vergleichend gegenübergestellt.

#### *Neue Messtechnik für berührungslose optische Verformungs- und Dehnungsmessungen*

Die Materialprüfungsanstalt (MPA) Universität Stuttgart hat für Ihr Labor „Hochgeschwindigkeitsbeanspruchung“ das System ARAMIS zur optischen 3D-Verformungsanalyse nach dem Prinzip „Photogrammetrie“ beschafft. ARAMIS eignet sich zur berührungslosen Erfassung dreidimensionaler Verformungen und Dehnungen an realen Bauteilen und Werkstoffproben mit hoher Zeit- und Ortsauflösung sowie hoher Genauigkeit bei statischer und höchst-dynamischer Belastung.

Anwendungsgebiete sind u. a.

- Werkstoffprüfung (insbesondere dynamisch schlagartig; Anwendung u. a. zur messtechnischen Untersuchungen höchstdynamischer Beanspruchungszustände im Rahmen des Forschungsvorhabens „Analyse von Radiolysegasdetonationen“)
- bruchmechanische Prüfung
- Bauteil- und Strukturprüfung
- Umformtechnik
- Automobiltechnik (z.B. Crash-Tests)
- Luft- und Raumfahrt
- Windkanaluntersuchungen
- Berst- und Explosionstests
- Prüfung hochelastischer Werkstoffe (Elastomere, Gummi u.a.)

#### *Zertifizierung*

Die Materialprüfungsanstalt (MPA) Universität Stuttgart hat die Kompetenz für die nachfolgend aufgeführten Zertifizierungen auf dem Gebiet „Dichtungstechnik“:

- Zertifizierung von Dichtungen für Flanschverbindungen und Stopfbuchspackungen für Spindelabdichtungen in Armaturen nach TA Luft und den VDI-Richtlinien 2200 und 2440
- Zertifizierung von Armaturen nach TA Luft und VDI-Richtlinie 2440
- Zertifizierung von Dichtungen für Flanschverbindungen im Hinblick auf Ausblastsicherheit

#### *Akkreditierung*

- Akkreditierung der Taiwanesischen Behörde



- Wiederakkreditierung „Benannte Stelle“ und „Unabhängiges Prüflabor“

## Fachbereich Erhaltung von Bauten und Anlagen

<p><b>Abteilung Dauerhaftigkeit und Schutz von Bauten und Anlagen</b>                  Dr. rer. nat. G. Volland / Dr.-Ing. Christian Öttl                  Tel.: 685/ -66740 bzw. -62257                  E-Mail: gerhard.volland@mpa.uni-stuttgart.de                  christian.oettl@mpa.uni-stuttgart.de</p>
<p>Referat Denkmalschutz: Dr. rer. nat. F. Grüner</p>
<p>Referat Organische Beschichtungen und Polymere: Dr. rer. nat. G. Volland (komm.)</p>
<p>Referat Betonkorrosion und Betoninstandsetzung: Dr.-Ing. C. Öttl</p>
<p>Referat Korrosion, Korrosionsschutz: Dipl.-Ing. W. Beul</p>

Die Abteilung 41 Dauerhaftigkeit und Schutz von Bauten und Anlagen wurde im Frühjahr 2007 neu strukturiert. In dieser neuen Abteilung wurden die Tätigkeitsbereiche der MPA zusammengefasst, die sich mit der Untersuchung von Zerstörungs- bzw. Zersetzungsprozessen an Baumaterialien (Baustoffe und Bauprodukte) mit naturwissenschaftlichen Methoden befassen. Resultierend aus den Erkenntnissen der Materialzerstörung unter den am Bauwerk gegebenen Bedingungen werden Sanierungskonzepte erarbeitet und empfohlen.

Die gegebene Struktur verdeutlicht, dass der Schwerpunkt der Aufgaben der Abteilung in der Untersuchung und Erforschung von Prozessen der Materialzerstörung und Materialalterung resultierend aus der Wechselwirkung mit den jeweils gegebenen Umwelt-

bedingungen im Bauwesen liegt. Das Arbeitsgebiet umfasst den Bereich der Korrosion metallischer Werkstoffen wie Stählen und NE-Metalle, der Zersetzung mineralischer Werkstoffe wie Beton und Naturstein (Betonkorrosion, Natursteinzersetzung) sowie Werkstoffen auf Basis von Polymeren (Kunststoffe im Bauwesen) sowie von Beschichtungen und Anstrichstoffe im Korrosionsschutz und Betonbau. Neben der Untersuchung von Schadensprozessen werden Verfahren zur Prävention, zur Instandhaltung und Instandsetzung von Bauwerken und Bauteilen entwickelt und empfohlen.

Für die Bearbeitung dieser Aufgaben verfügt die Abteilung über ein umfangreiches Instrumentarium. Chemisch-analytische Verfahren wie Röntgenfluoreszenz-, Röntgenbeugungsspektrometrie und Rasterelektronenmikroskopie mit energiedispersiver Röntgenfluoreszenz (EDX) sowie Kernresonanzspektrometrie, Gaschromatographie/ Massenspektrometrie, Differential-Thermoanalyse, Infrarotspektroskopie mit ATR ermöglichen die Bestimmung der Materialzusammensetzung sowie von Korrosions- und Abbauprodukten. Zur Untersuchung und Simulation des Werkstoffverhaltens unter verschiedenen klimatischen Bedingungen stehen neben Prüfständen für die Untersuchung der Beanspruchung durch Frost-Tau-Wechsel, Feucht-Trocken-Wechsel und Regenungs-Besonnungs- Wechsel auch Freiluftprüfständen auf Helgoland und in Stuttgart zur Verfügung. Das Untersuchungsspektrum wird ergänzt durch klassische Bewitterungsverfahren wie Salzsprüh- und Kesternichtest, sowie Xenon-Kohleboden- und UV-Lampen-Verfahren. Spezielle elektrochemische Verfahren wie potentiostatische und galvanostatische Verfahren erlauben die Untersuchung von Korrosionsprozessen an metallischen Werkstoffen im Bauwesen.

Aufgrund ihrer Fachkompetenz sind die Mitarbeiter der Abteilung Partner der Bauaufsicht und arbeiten in einer Reihe von Sachverständigenausschüssen und Projektgruppen des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin (DIBt) vertreten. Sie arbeiten mit in Normenausschüssen der deutschen Normenorganisationen (DIN und VDI) sowie in Fachausschüssen und Arbeitskreisen (GfKORR, DafStB, COST).

#### *Neuanschaffungen der Abteilung 2007*

Thermo-Gravimetrie (TG) / Differential-Scanning Calorimetrie (DSC) – Analysator (STA 409 Netzsch GeräteBau GmbH) zur Untersuchung von Polymeren und mineralischen Baustoffen und deren Abbauprodukte nach Alterung bzw. Zersetzung

FT-IR-Spektrometer mit ATR-Einheit ( TENSOR 27 mit MIRacle –ATR Bruker Optik GmbH) mit Ankopplung an vorhandenes Infrarot Mikroskop IRScope 1 zur direkten Bestimmung der Basispolymere in Kunststoffen und Bindemitteln

#### **Referat Denkmalschutz**

Im Jahr 2007 setzte das Referat seine erfolgreiche Arbeit zur Begutachtung von Schadensfällen im Bereich Baudenkmäler mit dem Schwerpunkt auf Bauwerken aus Naturstein bzw. mineralischen und historischen Baustoffen fort. Es wurden Vor- und Begleituntersuchungen zu großen Instandsetzungs- und Sanierungsmaßnahmen erstellt. Die

Untersuchungen erfolgten überwiegend an denkmalgeschützten Bauwerken im In- und Ausland.

Die Arbeit des Referates umfasst auch Untersuchungen zur chemisch-mineralogischen Zusammensetzung von modernen Bauteilen und Baustoffen (Zemente, Beton, etc.) im Bereich der Korrosion (Zerstörung) und Bautenschutzes dieser Baustoffe. Die Schadensuntersuchungen basieren auf technischen, chemisch-mineralogischen und physikalischen Verfahren und Messungen. Es wurden basierend auf den Untersuchungsergebnissen objektbezogene Sanierungsempfehlungen entwickelt. Die Arbeitsgruppe stand somit einem breiten Kundenspektrum zur Verfügung, die über Denkmalpflegeorgane, Bauherren und Eigentümer Baustoffhersteller, Baufirmen bis zu Kirchen- und Schlossverwaltungen reichte. Durch die Neuanschaffung einer simultan messenden TG/DSC - Anlage in der Abteilung 54100 ist eine Erweiterung der Untersuchungsmöglichkeiten durch thermoanalytische Methoden im Bereich der Baustoffüberwachung und für Schadensfälle ermöglicht worden. Außerdem plante das Referat die Teilnahme und Beteiligung an mehreren Forschungsvorhaben im Bereich Denkmalschutz und unterstützte andere Bereiche der MPA mit chemisch-mineralogischen Untersuchungen und Messungen. Das Referat ist auch an der Antragstellung im 7. Rahmenprogramm der EU-Kommission im Thema 6, Umwelt mit dem Forschungstitel „Smart Monitoring of Historic Structures“ mitbeteiligt.

Traditionsgemäß wurde die gut besuchte Tagung „Natursteinsanierung Stuttgart 2007“ abgehalten.

### **Referat Organische Beschichtungen, Polymere**

Das Referat befasste sich im Zusammenhang mit Schadensfällen mit der chemisch-analytischen Untersuchung an organischen Materialien (Polymere, Beschichtungen, Lacke) sowie organischen Betriebshilfsstoffen (wie Öle, Additive, Weichmacher). Parallel zu den Untersuchungen der Zusammensetzung der Beschichtungen und Polymere wurden deren mechanisch-technologischen Kenndaten ermittelt (z. B. Haftzugfestigkeit, Gitterschnittprüfung, Abrieb, Härte). Mit klassischen Klimasimulationsprüfständen wie Xenon-Kohlebogen- und UV-Lampen-Verfahren wurden Polymere sowie Beschichtungen auf das Alterungsverhalten unter Licht-, Temperatur- und Feuchtigkeitseinfluss untersucht. Basierend auf den Kenntnissen der Wechselwirkung von Beschichtungen im Bauwesen mit den jeweils am Bauwerk möglichen Umweltbedingungen wurde die Wahl von Beschichtungssystemen und Beschichtungsstoffen im Rahmen gutachterlicher Stellungnahmen bewertet.

Das Referat bearbeitete zudem Untersuchungen zur Emission wasserlöslicher organischer Inhaltsstoffe unter dem Aspekt der Grundwassergefährdung, sowie zum Nachweis organischer Zusatzstoffe im Beton. Im Rahmen dieser Tätigkeiten wurde im Herbst 2007 die Bearbeitung eines Forschungsvorhabens zum Eindringverhalten von Biodiesel in Beton begonnen.



## **Referat Betonkorrosion und Betoninstandsetzung**

Im Jahr 2007 wurde das große Aufgabengebiet der Betontechnologie neu strukturiert, so dass neben dem Referat „Betontechnologie“ ein neues Referat „Betonkorrosion und Betoninstandsetzung“ geschaffen wurde. Neben den klassischen Aufgaben der Prüfung, Überwachung und Zertifizierung von Beton, Gesteinskörnungen und Herstellwerken der Transportbeton- und Fertigteileindustrie war die Ergänzung um den Bereich Schutz- und Instandsetzung von Betonbauteilen besonders wichtig.

Im Rahmen von Prüfungen zur Ertüchtigung erhaltenswerter Betondecken wurden unterschiedliche Sanierungsverfahren überprüft. Die Prüfergebnisse dienen zur Erlangung einer Zustimmung im Einzelfall. An den Erfolg des zugestimmten Sanierungsverfahrens soll im Jahr 2008 angeknüpft und eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung angestrebt werden.

Bei Dauerhaftigkeitsanalysen zum Widerstand von Beton im kohlenensäurehaltigen Wasser wurden umfangreiche Prüfungen durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in einem Forschungsantrag beim Deutschen Ausschuss für Stahlbeton (DafStb) ein, da im Rahmen anstehender Bauprojekte weiterer Forschungsbedarf besteht.

Das seit April 2006 laufende DFG Forschungsprojekt zur Modellierung der rheologischen Eigenschaften von Selbstverdichtendem Beton wurde im Dezember 2007 abgeschlossen. Veröffentlichungen dazu sind in Vorbereitung.

In Zusammenarbeit mit dem Güteschutz Naturstein Baden-Württemberg e.V. wurde ein Vorschlag für die Verwendung von gebrochenen Gesteinskörnungen aus Kalkstein, die trotz positiver Erfahrungen in der aktuellen Fassung der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING) nicht für die Verwendung in Beton mit mäßiger Frost-Tausalz-Beanspruchung (Expositionsklasse XF2) verwendet werden dürfen, ausgearbeitet. Der Vorschlag soll für Baden-Württemberg in einer Ergänzung der ZTV-ING umgesetzt werden. Im Rahmen eines laufenden Prüfprogramms werden verschiedene Kalksteinsplittes gemäß dem Vorschlag untersucht.

## **Ref. Korrosion, Korrosionsschutz**

Die Tätigkeit des Referates umfasst die Arbeitsgebiete Korrosion und Korrosionsschutz im konstruktiven Ingenieurbau, im Grundbau, in der Haus- und Prozesstechnik, Korrosionsprüfungen, Feldversuche sowie Bauwerksdiagnostik und Bauwerkssanierung. Auf diesen Gebieten wurden im Jahr 2007 Forschungs- und Industrieaufträge bearbeitet sowie Gutachten für öffentliche Auftraggeber, Gerichte und Versicherungen erstellt.

Im Bereich der Forschung war das Referat an folgenden Projekten beteiligt:

- Hochfeste nichtrostende Stähle im Spannbetonbau
- Bauteilversuche und Bauwerksuntersuchungen zur Validierung und Kalibrierung der Schadensfortschrittsmodellierung
- Literaturstudie zum Kenntnisstand über Zusammenhänge zwischen korrosionschemischen Prozessen und Korrosionsrissbildung in Komponenten druckführender Umschließungen (Druckbehälter und Rohrleitungen) von Kernkraftwerken

- Mikrobearbeitung verschleißfester, industrietauglicher Stahlwerkstoffe durch elektrochemisches Fräsen mit ultrakurzen Spannungspulsen – Charakterisierung des Systems Werkstoff/Elektrolyt

Die im Referat entwickelte Methode zur Prüfung der Empfindlichkeit von Betonschrauben gegenüber wasserstoffinduzierter Spannungsrisskorrosion wurde in die entsprechende Richtlinie des DIBt als erforderliche Zulassungsprüfung aufgenommen.

Im Bereich Industrie, öffentliche Auftraggeber, Versicherungen und Gerichte waren Korrosionsuntersuchungen von metallischen Bauteilen in Schwimmbädern Bestandteil der Arbeiten. Im Vordergrund standen dabei Untersuchungen zur Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit älterer, aus verzinkten Stählen gefertigter Systeme von Deckenabhängern. In Industriegebäuden und Sportstätten wurden zusammen mit dem Referat „Spezialtiefbau, Baugrunderdynamik“ die Spannbewehrung vorgespannter HP-Deckenschalen mittels magnetischer Streufeldmessungen überprüft und korrosionstechnisch beurteilt. Im Zuge von Sanierungsmaßnahmen wurden in mehreren Tiefgaragen großflächige Potentialfeldmessungen zur zerstörungsfreien Ortung korrodierender Bewehrung durchgeführt. Im Bereich Grundbau waren Untersuchungen zum Korrosionsverhalten von Gabionen Teil der Arbeiten des Referates. Weiterer Schwerpunkt waren Untersuchungen und Gutachten zum Korrosionszustand und zum Korrosionsschutz von vollverschlossenen Spiralseilen von Brückenbauwerken.

Im Bereich Haustechnik wurden eine Reihe von Korrosionsschäden an Versorgungsleitungen und Armaturen untersucht.

Im Labor wurden Prüfungen, Analysen und elektrochemische Versuche zum Korrosionsverhalten / Bimetallkorrosionsverhalten verschiedener Metalle durchgeführt, die in erster Linie der Werkstoffauswahl im Rahmen der Planung und Durchführung von Industrieobjekten dienten, aber auch zur Untersuchung der Ursache von Schadensfällen, z. B. Spannstahlbrüchen erforderlich waren. Kurzzeitversuche wie beispielsweise Salzsprühnebelprüfungen oder Korrosionsversuche bei wechselnden Klimaten waren ebenso Bestandteil der Aufträge wie Feldversuche in Industrielatmosphäre und in Meeresatmosphäre auf dem Versuchsstand in Helgoland.

Schließlich war das Referat in zahlreichen Anfragen kleiner und mittlerer Unternehmen beratend tätig, wobei die Anfragen zu einem großen Teil den Einsatz nichtrostender Stähle betrafen.

**Abteilung ZfP und Überwachungstechnik:**

Dr.-Ing. habil. C. Große

Tel.: 685/ -66786

E-Mail: christian.grosse@mpa.uni-stuttgart.de

Referat ZfP im Anlagen- und Maschinenbau: NN

Referat Bauwerksinspektion und Qualitätssicherung: Dr.-Ing. Dipl. Wirt. M. Krüger (komm.)

Referat Dauerüberwachung im Bauwesen: Dr.-Ing. Dipl. Wirt. M. Krüger

Zu Beginn des Jahres 2007 wurde der Bereich der Zerstörungsfreien Prüfung innerhalb der MPA neu strukturiert und in der eigenständigen Abteilung 43 „Zerstörungsfreie Prüfung und Überwachungstechnik“ gebündelt. Neben dem Referat „ZfP im Anlagen- und Maschinenbau“ wurden im Bereich des Bauwesens zwei neue Referate geschaffen, welche thematisch die Bauwerksinspektion, die Qualitätssicherung im Bauwesen sowie die Dauerüberwachung im Bauwesen abdecken. Während der Bereich der ZfP im Anlagen- und Maschinenbau bereits ein etablierter Arbeitsbereich innerhalb des Maschinenbaus der MPA war, so wird mit den neuen Referaten die ZfP und Überwachungstechnik nun auch im Bauwesen durch zentrale Referate repräsentiert. Dadurch wird insbesondere dem Umstand Rechnung getragen, dass im Bauwesen zunehmend zerstörungsfreie Prüfverfahren eingesetzt werden bzw. dass Überwachungsaufgaben entstehen, die mittels rein visueller Begutachtungen nicht mehr vollständig abgedeckt werden können.

**Referat Bauwerksinspektion und Qualitätssicherung und  
Referat Dauerüberwachung im Bauwesen**

Schwerpunkte im Bereich Bauingenieurwesen sind die Qualitätssicherung von Bauprodukten in der Herstellungsphase (z. B. Frischbeton), die zerstörungsfreie Untersuchung und Eigenschaftscharakterisierung von Baustoffen und Bauteilen und die Inspektion von Bauteilen und Bauwerken mit zerstörungsfreien Prüfverfahren. Insbesondere die Schadensdetektion (Fehlstellen, Risse, Delaminationen etc.), die Bestimmung von Bauteilabmessungen, die Bewehrungssuche und Überdeckungsmessung, die Bestimmung von Bauteilfeuchten oder die Dauerüberwachung von Bauwerken (z. B. Brücken, Hallen oder historischen Bauwerken) u. a. mit drahtlosen Sensornetzen sind inhaltlich verstärkt vertreten.

Im Jahr 2007 wurden innerhalb der Referate für öffentliche, private bzw. industrielle Auftraggeber verschiedenste Untersuchungen durchgeführt und entsprechende Gutachten angefertigt. Insbesondere Georadar, Impakt-Echo-Verfahren sowie Impuls-Echo-Verfahren und die Thermografie wurden mit Erfolg im Hinblick auf eine Fehlstellendetektion, der Ortung von Bewehrung oder der Ermittlung von Bauteildicken angewendet. Zahlreiche Messgeräte, die den neusten Stand der Technik repräsentieren, sind hierfür

vorhanden. Ein herausragendes Projekt stellte im Jahr 2007 die zerstörungsfreie Untersuchung im Rahmen des Neubaus eines Wasserkraftwerks in Nepal (Middle Marsyangdi Hydroelectric Project) dar, welches zur Zeit maßgeblich unter deutscher Beteiligung erstellt wird. Die MPA Stuttgart wurde hier im Rahmen der Qualitätssicherung mit der Untersuchung des etwa 5 km langen Druckwassertunnels sowie weitere Bauwerksteile mittels zerstörungsfreier Prüfmethoden beauftragt.

Neben der Anwendung von zerstörungsfreien Prüfmethoden lag ein wesentlicher Schwerpunkt im Jahr 2007 im Bereich der Forschung und Weiterentwicklung von geeigneten Verfahren und Geräten. Beispielsweise werden innerhalb des vom VDI/VDE geförderten Innonet-Projektes „RIWEA“ Ultraschallbasierte Verfahren zur Prüfung und Schädigungsdetektion von Rotorblättern von Windenergieanlagen weiterentwickelt. Der Fokus liegt hier insbesondere auf der einfachen und größtenteils automatisierten Messdurchführung und -auswertung, wobei unter anderem der Einsatz von Kletterrobotern berücksichtigt wird. Ein weiteres Projekt mit dem Titel „Sustainable Bridges“ (Integriertes Projekt im 6. Rahmenprogramm der EU) wurde Ende 2007 nach insgesamt vierjähriger Laufzeit mit Erfolg abgeschlossen. Neben neuen Ansätzen hinsichtlich Gerätetechnik und Datenanalyse beim Impakt-Echo-Verfahren wurden drahtlose Sensornetze für den Einsatz zum Bauwerksmonitoring entwickelt. Hohe Anforderungen bei der kontinuierlichen Bauwerksüberwachung stellen insbesondere dynamische Messungen dar, die sich von Dehnungsmessungen bis hin zur Schallemissionsanalyse zur zeitnahen Erfassung und Charakterisierung von Schädigungsvorgängen in Bauwerksstrukturen erstrecken. In der Folge fallen bei solchen Anwendungen innerhalb kürzester Zeit enorme Datenmengen an, die verarbeitet, übertragen und analysiert werden wollen. Zahlreiche verschiedene Ansätze zur ereignisbasierten Messwerterfassung und Datenreduktion wurden seitens der MPA insbesondere in Verbindung mit der Schallemissionsanalyse entwickelt und untersucht. Analyseansätze nutzen zudem die Kombination verschiedener Sensoren und die Verwendung redundanter Informationen, so dass ein höchstmögliches Maß an wesentlichen Informationen gewonnen werden kann.

Zukünftig werden drahtlose Sensornetze für die Bauwerksüberwachung, robuste Sensortechnologien wie auch Verfahren und Geräte der zerstörungsfreien Werkstoff- und Bauteiluntersuchung verstärkt von der MPA Stuttgart im Rahmen der Forschung weiterentwickelt und in der Praxis eingesetzt werden.

### **Referat ZfP im Anlagen- und Maschinenbau**

Im Referat wurden im Jahr 2007 wieder zahlreiche Aufträge zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung im Rahmen von Forschungs- und Dienstleistungsaufträgen bearbeitet.

Unter Beteiligung des Referats wurden im Rahmen von Forschungsprojekten Arbeiten durchgeführt, die neben zerstörungsfreien Prüfungen auch die Planung und Erstellung geeigneter Testkörper beinhalteten.

Als Teil des im Jahr 2007 abgeschlossenen, vom BMU geförderten Forschungsvorhabens SR 2501 wurden austenitische Grundwerkstoff-Testkörper mit interkristallinen

Spannungskorrosions-Rissen (IkSpRK) sowie zum Vergleich entsprechende Testkörper mit erodierten Nuten unterschiedlicher Tiefe gefertigt. Ziel des Vorhabens war es, die Bewertung von Ultraschallprüfungen hinsichtlich IkSpRK an Komponenten aus austenitischen Werkstoffen oder Nickelbasislegierungen zu verbessern.

Für das Forschungsvorhaben zur Untersuchung der Prüfbarkeit dickwandiger Komponenten und Schweißverbindungen aus Nickellegierungen für die neuen fossil befeuerten Hochtemperatur-Kraftwerke im Rahmen der COORETEC-Initiative, Teilprojekt TD1, wurden Arbeiten zur Planung geeigneter Testkörper zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit von zerstörungsfreien Prüftechniken sowie Vorversuche zur Fehlererzeugung beim Schweißen durchgeführt. An bisher vorhandenen Testkörpern wurden Prüfungen mit Standardtechniken vorgenommen, deren Ergebnisse darauf schließen lassen, dass noch Entwicklungsbedarf besteht, um eine gute Fehlerauffindrate zu erreichen.

Neu angelaufen ist ein vom BfS gefördertes Forschungsprojekt zur Untersuchung menschlicher Einflussfaktoren auf das Prüfergebnis bei der Ultraschallprüfung an kerntechnischen Komponenten. Nach den vorbereitenden Arbeiten wurde im Dezember ein erster Prüfzyklus in Form einer Referenzprüfung für die manuelle Ultraschallprüfung an Bereichen des MPA-Großbehälters und an Kleinproben durchgeführt.

Die Laboreinrichtung des Referats wurde erweitert um ein mobiles Ultraschall-Prüfgerät mit Gruppenstrahlertechnik (Phased Array). Außerdem wurde nach einer Testphase ein neues digitales Speicherfoliensystem für die Durchstrahlungsprüfung in Betrieb genommen. Damit können Durchstrahlungsaufnahmen in guter Qualität in digitaler Form zur Verfügung gestellt werden, was zu einer deutlich erhöhten Nachfrage von Seiten der Kunden, die eine eigene Auswertung von Durchstrahlungsaufnahmen vornehmen, führte.

Die Dienstleistungsaufgaben des Referats umfassten sowohl externe Direktaufträge als auch MPA-interne Unteraufträge zur Durchführung und Bewertung zerstörungsfreier Prüfungen mit verschiedenen Prüfverfahren im Labor sowie vor Ort. Beispielsweise wurden Arbeiten im Rahmen von Revisionsprüfungen an Komponenten in konventionellen Kraftwerken durchgeführt. Darüber hinaus waren die Mitarbeiter des Referats als Sachverständige oder Gutachter tätig, vor allem bei Gashochdruckleitungen und im kerntechnischen Bereich.



## Fachbereich Geotechnik

### Abteilung Geotechnik:

Prof. Dr.-Ing. H. Schad /Dipl.-Ing. H.-P. Knauf

Tel.: 685/ -62736 / -63379

E-Mail: hermann.schad@mpa.uni-stuttgart.de

hans-peter.knauf@mpa.uni-stuttgart.de

Referat Geomechanik: Dipl.-Ing. T. Bräutigam

Referat Spezialtiefbau, Baugruddynamik: Dr.-Ing. G. Sawade

Referat Bitumen, Asphalttechnologie: Dipl.-Ing. E. Willand

Referat Sportböden, Sportstättenbau: Dipl.-Ing. H.-P. Knauf

Die wesentlichen Arbeitsgebiete sind:

- geomechanische Untersuchung und Beratung,
- Spezialtiefbau, Baugruddynamik 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 Sporthalleinrichtungen (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 magnetische Streufelduntersuchungen für Spannbetonkonstruktion und Verkehrsflächen aus Beton.

Da die Mitarbeiter die MPA in zahlreichen Ausschüssen und Fachgremien ihres Arbeitsgebietes (z. B. DIN, FGSV, IAKS, ISSS, CEN, DGGT, DGZfP) vertreten, können die Leistungen entsprechend dem neuesten Stand von Wissenschaft und Forschung erbracht werden.

Die Abteilung ist vom DIBt als Prüf-, Überwachungs- und Zertifizierungsstelle in den Bereichen Abdichtungstechnik und Einbau von Verpressankern anerkannt und vom DIBt für die Eignungsprüfung von Dauerankern legitimiert.

Der Abteilungsleiter ist anerkannter Sachverständiger für Erd- und Grundbau nach Bauordnungsrecht.

Das Prüflabor der Abteilung Geotechnik ist nach DIN EN ISO 17025 für physikalische und mechanisch-technologische Prüfungen von Dichtungsbahnen, Rohren und Halbzeugen aus Kunststoff, deren Verbindung untereinander sowie von Geotextilien und für sportfunktionelle, schutzfunktionelle und technologische Prüfungen von Sporthallenböden, Kunststoffbelägen, Kunststoffrasenbelägen sowie Einbauteilen in Sporthallen beim DAP akkreditiert (DAR-Registriernummer: DAR-PL-2907.07).

Zusätzlich besteht eine Akkreditierung beim DAP als Inspektionsstelle vom Typ A nach DIN EN ISO 17020 auf der Grundlage der Richtlinie der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) als fremdprüfende Stelle beim Einbau von Kunststoffkomponenten im Deponiebau für Inspektionen in den Bereichen Dichtungssysteme unter Verwendung von Kunststoffprodukten sowie Halbzeuge und Konstruktionsbauteile aus Kunststoff hinsichtlich ihrer Übereinstimmung mit festgelegten und – aufgrund einer sachverständigen Beurteilung – mit allgemeinen Anforderungen (DAR-Registriernummer: DAR-IS-4085.00)

#### Besondere Projekte 2007

- Überprüfung der Tragfähigkeit historischer Pfähle für ein Bauvorhaben des Berliner Senats
- IAAF-Abnahme der Laufbahn beim Nationalstadion in Nicosia (Zypern)

## Stabsabteilungen

### **Kalibrierung / Bauprodukte /Bauüberwachung:**

Dipl.-Ing. Siegfried Gerber

Tel.: 685/ -62557

E-Mail: [siegfried.gerber@mpa.uni-stuttgart.de](mailto:siegfried.gerber@mpa.uni-stuttgart.de)

Referat Kalibrierung: Dipl.-Ing. Siegfried Gerber

Referat Lager und Übergänge im Bauwesen: Dr.-Ing. J. Wiedemeyer

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 Bundesanstalt (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 den Deutschen Ka-

librierdienstes (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.

Die Kalibrierung von Werkstoffprüfmaschinen zählt für das Referat Kalibrierung als wichtigstes Standbein. Im Jahr 2007 wurden hier etwa 1300 Prüfmaschinen im Außendienst kalibriert (siehe Bild).



Kalibrierung einer Werkstoffprüfmaschine

Das Referat Lager und Übergänge im Bauwesen befasst sich als amtlich anerkannte und auf europäischer Ebene notifizierte 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.

Wegen Auslaufens der Koexistenzperiode mit den entsprechenden nationalen Regelwerken im Jahr 2007 erlangten 5 der insgesamt 6 Produktnormen der europäischen Normenreihe EN 1337 ausschließliche Gültigkeit für die darin geregelten Typen von

Lagern im Bauwesen. In diesem Zusammenhang wurden die zahlreichen erforderlichen Erstprüfungen in den Herstellwerken der Lagerhersteller fortgeführt und durch die Zertifizierung für das jeweilige Bauprodukt abgeschlossen. Die Tätigkeiten erstreckten sich auch auf die ergänzenden nationalen Regelwerke in Deutschland und Österreich, die sich zur Gewährleistung des national geforderten Qualitätsniveaus der in den Teilen der EN 1337 geregelten Bauprodukte als notwendig erwiesen hatten. Wegen der Verlagerung von Fertigungsstätten in das nahe und ferne Ausland hat sich der internationale Charakter der Aktivitäten weiter verstärkt.

In den Gremien standen die Anpassung noch gültiger nationaler Regelwerke an die neuen Bemessungskonzepte, die Revision der gültigen Teile der Normenreihe EN 1337 sowie die Erarbeitung von Europäischen Technischen Leitlinien (ETAG) in Zusammenhang mit der vorgesehenen Europäisch Technischen Zulassung (ETA) der unterschiedlichen Produktfamilien von Fahrbahnübergangskonstruktionen im Vordergrund.

**Produktfolgen:**

Dr.-Ing. M. Rohr

Tel.: 685/ -63993

E-Mail: [manfred.rohr@mpa.uni-stuttgart.de](mailto: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) erfolgte eine Ganzheitliche Betrachtung der Horizontalbohrtechnik (HDD) im Hinblick auf Nachhaltigkeitsaspekte und Marktpotenziale. Die für die thermische Nutzung des bauwerksnahen Untergrundes angepasste HDD-Technologie wird dabei als eine Variante der geschlossenen (grabenlosen) Verlegung mit herkömmlichen offenen Rohrleitungsverlegetechniken hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile sowie wichtiger Folgeaspekte durch einen ganzheitlichen Ansatz verglichen, der ökologische, ökonomische und soziale Gesichtspunkte in die Untersuchung mit einbezieht. Darüber hinaus erfolgte eine Analyse und Beurteilung der Marktpotenziale der Horizontalbohrtechnik für die thermische Nutzung des bauwerksnahen Untergrundes sowie hierfür geeigneter Wärmepumpen-Heizungsanlagen.

Zum Vergleich und zur Bewertung des Ressourcenverbrauchs und der Umweltverträglichkeit wurde eine erdgekoppelte Elektro-Erdreich/Wasser-Wärmepumpen-Heizungsanlage mit konventionellen Heizungssystemen (z.B. Öl- bzw. Gas-Brennwertkessel)

verglichen, wobei das Computerprogramm GEMIS (Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme) zur vergleichenden Untersuchung von Umwelteffekten der Energiebereitstellung und -nutzung zur Anwendung kam. Anhand von Variantenrechnungen konnte gezeigt werden, dass Wärmepumpen-Heizungsanlagen gegenüber konventionellen Heizungsanlagen die energieeffizientere und wesentlich umweltfreundlichere Heizungsalternative darstellen.

Bei der ökonomischen Betrachtung von Kosten- und Wirtschaftlichkeitsaspekten der HDD-Technologie wurden nicht nur die direkten Gestehungskosten der Baumaßnahme sondern auch die indirekten Begleit- und langfristigen Folge- bzw. Zusatzkosten (externe Umweltkosten) berücksichtigt. Dadurch konnte nachgewiesen werden, dass dieses geschlossene Verfahren erhebliche Einsparpotenziale und deutliche Vorteile gegenüber offenen Verlegeverfahren aufweist, die beim direkten Vergleich der Bauweisen bisher kaum Beachtung finden.

Die zur Analyse und Beurteilung der Marktpotenziale der angewendeten Horizontalbohrtechnik unter ausgewählten Herstellern von Wärmepumpensystemen, Fachverbänden und Organisationen durchgeführte Umfrage erbrachte keine einheitliche Aussage zum derzeitigen Anteil der Wärmepumpennutzung durch Erdwärmekollektoren in Deutschland. In Übereinstimmung mit Angaben des Bundesverbandes Wärmepumpe (BWP) dürfte der Nutzungsanteil im Neubau für das Jahr 2006 hochgerechnet ca. 22 % betragen, wogegen der Anteil im Altbau bei ca. 3 % liegen dürfte.

**Stabsstelle Qualitätsmanagement:**

Dipl.-Ing. A. Müssig

Tel.: 685/ -67675

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

Der Schwerpunkt der Aktivitäten 2007 lag in der Vorbereitung und Absolvierung von insgesamt neun Begutachtungen im Rahmen der bestehenden Akkreditierungen durch externe Akkreditierungsstellen, davon fünf wiederkehrende Überwachungen, drei Reakkreditierungen und eine Erstbegutachtung im Prüfgebiet "Prüfung von Dämmstoffen im Bauwesen". Es gab keine bedeutenden Abweichungen. Die Akkreditierung wurde in allen Bereichen aufrechterhalten.

Nr.	Bereich	Termin	Akkreditierer	Ergebnis
1	Kalibrierung / Bauprodukte / Bauüberwachung (58100)	20./21.02.	DKD	i.O.
2	Metallbau, Schweißtechnik / Metallographie / Werkstoffeigenschaften (52110, 52310, 52330)	27./28.03.	DAP	i.O.



Nr.	Bereich	Termin	Akkreditierer	Ergebnis
3	ZfP (54310)	22.05.	DAP	i.O.
4	Lebensdauermanagement (53300)	10.07.	TÜV	i.O.
5	Hochgeschwindigkeitsbeanspruchung (53250)	20.11.	ZLS	i.O.
6	Zertifizierungsstelle Druckgeräte (58200)	22.11.	ZLS	i.O.
7	Prüflabor Druckgeräte (58300)	23.11.	ZLS	i.O.
8	Dämmstoffe (51140)	23.11.	DAP	i.O.
9	Inspekt.-stelle für Kunststoffkomponenten (55140)	04.12.	DAP	i.O.

Absolvierte Begutachtungen durch externe Akkreditierungsstellen im Jahr 2007

Die Beschreibung der Prozesse und Verantwortlichkeiten wurde 2007 durch die Neuherausgabe des QM-Handbuchs und der Verwaltungsrichtlinie wieder auf den aktuellen Stand gebracht. Durch die erstmalige Realisierung einer webfähigen Online-Version im Intranet ist die gesamte QM-Dokumentation an allen Arbeitsplätzen elektronisch verfügbar.

Erstmalig wurden 2007 Kundenbefragungen durchgeführt, mit guten Ergebnissen. Dazu wurde im Rahmen der Auftragsabwicklung der neu entwickelte MPA-Fragebogen zusammen mit den Ergebnisberichten verschickt. Sehr positive Kundenrückmeldungen waren im Bereich Schadensanalyse zu verzeichnen.

Qualitätskontrollen bei Prüfungsberichten wurden vor der Archivierung der Berichte stichprobenartig durch die Stabsstelle und die Direktion durchgeführt. Zur Sicherung der Qualität der Prüfergebnisse nahm die MPA 2007 an insgesamt 7 Eignungsprüfungen teil. Die Ergebnisse lagen im Mittelwert der teilnehmenden Prüfinstitute.

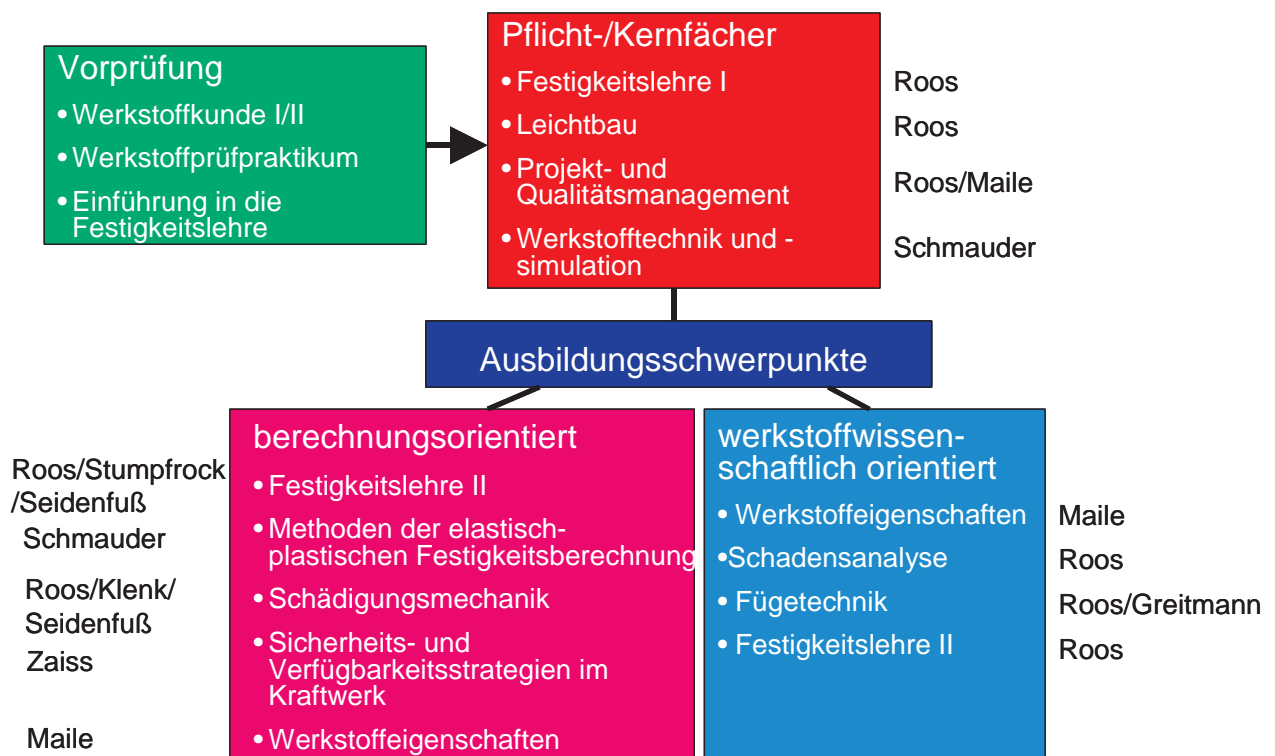
Zur ständigen Verbesserung der betrieblichen Abläufe und Qualität der Arbeitsergebnisse wurden in den akkreditierten Bereichen kurzfristige Qualitätsziele gesetzt und der erreichte Stand durch die Leitung und den Qualitäts-Beauftragten überprüft.

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

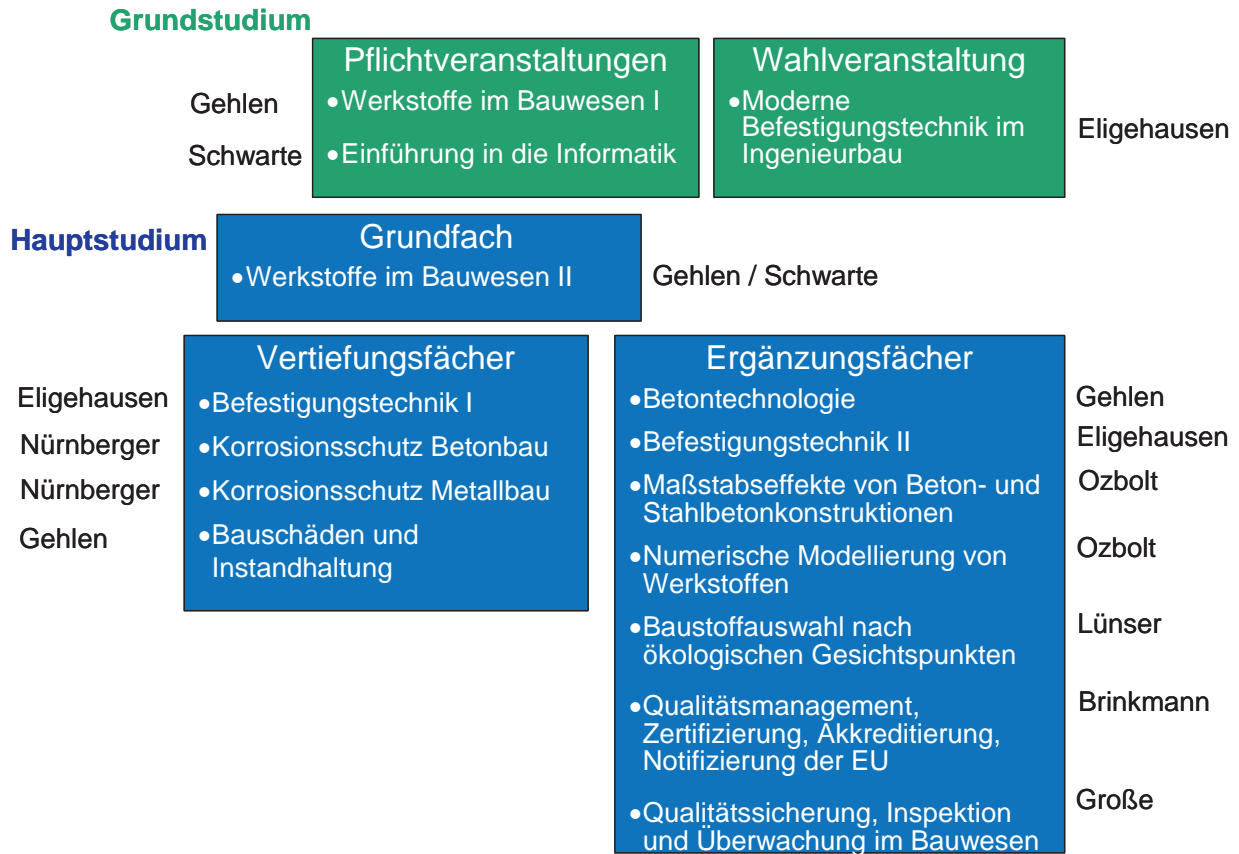
### 3 Lehre

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 auch anwendungsorientiertes Lehrangebot zu integrieren.

Fakultät Maschinenbau



Fakultät Umwelt- und Bauingenieurwissenschaften



## 4 Bericht aus der Forschung

### **Alkali-Kieselsäure-Reaktion als Rissursache in einem Beton mit gebrochenem Quarzporphyr als Gesteinskörnung**

O. Mielich, H.-W. Reinhardt, F. Grüner

#### **Einleitung**

In den vergangenen Jahren sind Schäden an Betonfahrbahndecken aufgetreten, die auf reaktive Gesteinskörnungen zurückgeführt werden konnten. Bei diesen Gesteinskörnungen handelt es sich überwiegend um langsam und spät reagierende Gesteinskörnungen (= slow late-Gesteinskörnungen), bei denen Schäden nach kürzeren Zeitabschnitten von 6 bis 10 Jahren sowie längeren Zeitabschnitten von 20 bis 30 Jahren auftreten können [1]. Da die genauen Transport- und Reaktionsmechanismen bei diesen Gesteinskörnungen noch nicht abschließend geklärt sind [2], wurde zur Untersuchung der Rissursache und Rissentstehung in slow late-Gesteinskörnungen ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördertes Forschungsvorhaben an der MPA Universität Stuttgart, Otto-Graf-Institut, durchgeführt.

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse sind Teil des DFG Forschungsvorhabens „Bruchmechanik von Gesteinen im Rahmen der Aufklärung des Reaktionsmechanismus langsam und spät mit Alkalien reagierender Gesteine“. Die in diesem Beitrag aufgeführten Ergebnisse gelten für einen Beton mit langsam reagierender, dichter Gesteinskörnung aus gebrochenem Quarzporphyr und sind Teil des DFG Abschlussberichtes RE 691/29-2 [3].

#### Schadensmechanismus bei einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion

Unter einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) wird eine chemische Reaktion zwischen amorphen, kryptokristallinen und gittergestörten SiO<sub>2</sub>-Mineralen der Gesteinskörnungen und den Alkalihydroxiden (NaOH, KOH) der Porenlösung des erhärteten Betons verstanden [4].

Die Schädigung von Gesteinskörnungen im Beton aufgrund der AKR wird bisher durch zwei verschiedene Mechanismen erklärt, einerseits durch chemischen Angriff mit Gelbildung auf der Oberfläche des Kornes und andererseits durch Bildung von quellfähigem Gel im Inneren eines Kornes mit anschließender Rissbildung.

Beim ersten Mechanismus findet eine Gelbildung an der Oberfläche des Zuschlagkorns statt. Das Gel quillt durch Aufnahme von Alkalien und Wasser und führt zu einer Dehnung des umringenden Zementsteins. Folgt man den Ausführungen von Bažant et al. [5], so läuft die Reaktion darauf hinaus, dass zunehmende Gelbildung bei Anwesenheit einer Fehlstelle in der Zementsteinmatrix zu einem kritischen Zustand führt, der einen Riss erzeugt.

Beim zweiten Mechanismus nach Sprung und Sylla [6] beginnt die AKR an der Oberfläche des Kornes unter Bildung eines quellfähigen Alkalikieselgels. Das Gel wird durch Calcium-Ionen in ein nicht quellendes Alkalicalciumsilicathydrat umgewandelt und bildet

später eine semipermeable Membran, die nur Alkali-Ionen und Wasser hindurch lässt. Treffen die Alkalien im Korninneren auf weitere reaktionsfähige Kieselsäure, entsteht quellfähiges Alkalikieselgel. Nimmt dieses Wasser auf, wird der Innendruck so lange erhöht, bis ein kritischer Spannungszustand erreicht ist. Es kommt zum Aufreißen des Kornes.

## **Versuchsprogramm**

### **Ansatz**

Der kritische Zustand, der in einem Gesteinskorn (zweiter Schädigungsmechanismus) aufgrund einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion einen Riss erzeugt, soll mit Hilfe der linearen Bruchmechanik berechnet werden. Mit Hilfe eines kreisförmigen Risses (penny-shaped crack) im Gesteinskorn, welches als Kugel dargestellt wird, soll versucht werden eine geschlossene Lösung zu finden. Mit diesem Rissmodell wäre es möglich, eine Beziehung zwischen Korndurchmesser, Risslänge und Quelldruck durch Alkalikieselgel festzulegen. Die hierfür benötigten Materialkennwerte sollen aus Dreipunktbiegeversuchen ermittelt werden.

### **Beschreibung der durchgeführten Versuche**

Zur Ermittlung bruchmechanischer Kennwerte wurden aus großen Quarzporphyrblöcken für jeden Untersuchungszeitpunkt fünf Rundstabproben (Bohrkerne) herausgearbeitet. Ein Teil der Bohrkerne wurde bei 20 °C / 65 % rel. Luftfeuchte gelagert und nach Erreichen der Massenkonstanz geprüft. Diese Versuchsergebnisse dienten als Bezugswert (Nullmessung im Ausgangszustand) für die Versuchsergebnisse bei Lagerung in einer 40 °C warmen, synthetischen Porenlösung (Kaliumhydroxidlösung mit einem pH-Wert von 14,0). Somit wurden Bedingungen geschaffen, die hinsichtlich des pH-Wertes und der Hauptalkaliionenart deutscher Zemente (K<sup>+</sup>) die tatsächlichen Lagerungsverhältnisse der Gesteine im Betonversuch in etwa widerspiegeln und somit den direkten Vergleich zwischen mechanischen Materialkennwerten am Gestein und Schädigungsmerkmalen des Gesteinskorns im Beton ermöglichen sollten. Die Bestimmung der bruchmechanischen Kennwerte der in der KOH-Lösung gelagerten Bohrkerne wurde nach 35, 70, 140, 280 und 560 Tagen Lagerung durchgeführt.

Die Bestimmung der Bruchzähigkeit  $K_{Ic}$  und des statischen Elastizitätsmoduls (E-Modul) wurden rissöffnungsgeregelt (crack mouth opening displacement, CMOD), mit einer Rissöffnungsrate von 0,13 [ $\mu\text{m/s}$ ], im Dreipunktbiegeversuch nach der von der ISRM (International Society for Rock Mechanics) vorgeschlagenen Prüfmethode durchgeführt [7]. Die verwendeten Gesteinsproben sind Bohrkerne mit V-förmiger Chevronkerbe. Diese Proben werden als CENRBB-Proben (Chevron Edge Notch Round Bar Bending) bezeichnet. Im Versuch wirkt eine Punktlast  $F$  rechtwinklig zur Längsrichtung der zylinderförmigen Proben (Bohrkerne). Diese im Versuch erforderliche Last  $F$  wird über einen Druckstempel aufgebracht, der genau auf der Gegenseite der mit der Chevronkerbe versehenen Probestelle drückt.  $a_0$  ist die Anfangslänge der Kerbe (Kerbtiefe),  $D$  ist der Probendurchmesser und  $S$  der Auflagerabstand zwischen zwei Widerlagern,



auf denen die Probe aufliegt. Das Bild 7 zeigt den Prüfaufbau des Dreipunktbiegeversuches sowie die Probengeometrie des Bohrkerns mit V-förmiger Chevronkerbe. In Tabelle 3-1 sind die Probenabmessungen gemäß ISRM sowie die daraus abgeleiteten Abmessungen für die eigenen Versuche eingetragen.

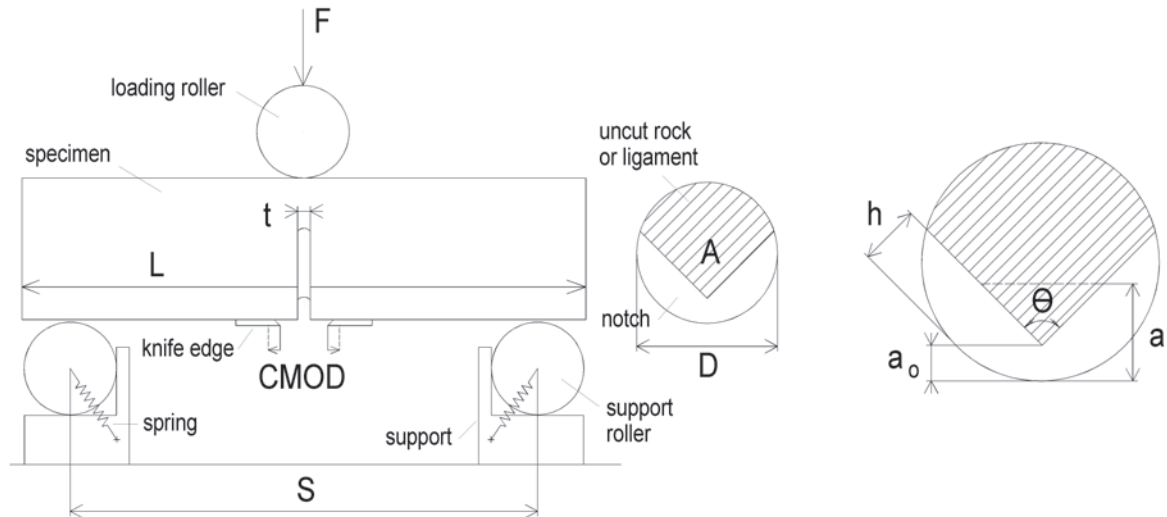


Bild 7: Prüfaufbau und Probengeometrie gemäß ISRM

Tabelle 0-1: Abmessungen der CENRBB-Proben gemäß ISRM

Abmessungen	gemäß ISRM	eigene Versuche
Proben Durchmesser, D [mm]	D	34
Proben Länge, L [mm]	$> 3,5 \cdot D$	$> 120$
Spannweite, S [mm]	$(3,33 \pm 0,02) \cdot D$	113,2
Chevron Winkel, $\theta$	$90^\circ \pm 1,0^\circ$	$90^\circ$
Chevron-Spitze – Position, $a_0$	$(0,15 \pm 0,01) \cdot D$	5,4
Kerbenbreite, t [mm]	$0,03 \cdot D$	1,0

Die Berechnung von  $K_{Ic}$  für eine CENRBB - Gesteinsprobe im Dreipunktbiegeversuch lässt sich aus der Last-Verformungskurve wie folgt berechnen:

$$K_{Ic} = \frac{A_{\min} \cdot F_{\max}}{D^{1,5}} \quad \text{Gl. 3-1}$$

In Gl. 3-1 ist D der Durchmesser der Probe und  $A_{\min}$  ein Geometriefaktor, den die ISRM für CENRBB-Proben mit einem Anfangsriß  $a_0$  wie folgt angibt:

$$A_{\min} = [1,835 + 7,15 \cdot \frac{a_0}{D} + 9,85 \cdot (\frac{a_0}{D})^2] \cdot \frac{S}{D} \quad \text{Gl. 3-2}$$

Der statische E-Modul der Gesteinsproben lässt sich aus der Kraft-Verformungskennlinie bzgl. der Kerbaufweitung (F-CMOD) nach ISRM wie folgt berechnen.

$$E = 20,8 \cdot \frac{dF}{d(CMOD)} \cdot \frac{1}{D} \quad \text{Gl. 3-3}$$

In Gl. 3-3 ist  $dF / d(CMOD)$  die Steigung der Kraft-Verformungskennlinie.

Der kritische Zustand in einem Gesteinskorn (zweiter Schädigungsmechanismus), der aufgrund einer schädigenden Alkali-Kieselsäure-Reaktion einen Riss erzeugt, wurde mit Hilfe der linearen Bruchmechanik berechnet, die für sprödes Gestein gerechtfertigt ist. Für einen kreisförmigen Riss im Gesteinskorn, welches als Kugel dargestellt wird, gilt unter Annahme einer Belastung der Rissoberflächen durch konstanten Innendruck  $p_0$  [8]:

$$K_I = \frac{2 \cdot p_0}{\pi} \cdot \sqrt{\pi \cdot a} \quad \text{Gl. 3-4}$$

Der gewählte Ansatz der linear-elastischen Bruchmechanik liefert eine Beziehung zwischen der Rissdimension, dem elastischen Spannungsfeld (Innendruck) in der Rissumgebung und dem Einfluss der Materialeigenschaften. Sie kann damit Aussagen über die Stabilität der Risse geben. Die Voraussetzung ist jedoch, dass Defekte und Risse im Material bzw. Gesteinskorn bereits vorhanden sind [8].

Zum Nachweis der bereits vorhandenen Defekte bzw. Risse, wurde im Anschluss an den Dreipunktbiegeversuch aus einer der Hälften des Bohrkerns eine nicht abgedeckte, aber polierte Dünnschliffprobe inklusive Porenraumfärbung mit blauem Harzfärbemittel (Vakuumimprägnierung) auf einem Träger (50 mm · 50 mm) angefertigt. Diese Trägergröße erlaubte es, einen Dünnschliff des gesamten Durchmessers des Bohrkerns anzufertigen. Es wurde nur ein Dünnschliff im Ausgangszustand, nach 140, 280 und 560 Tagen Einlagerung angefertigt.

Zudem wurden zur Beurteilung möglicher Treiberscheinungen durch Alkalireaktion an Betonen mit gebrochenem Quarzporphyr als Gesteinskörnung drei Betonbalken mit den Abmessungen 100 mm x 100 mm x 500 mm und ein Würfel mit 300 mm Kantenlänge für die Beobachtung einer möglichen Rissbildung nach Alkali-Richtlinie [9] hergestellt.

### Ergebnisse

Bild 8 zeigt links die gemessenen Kraft-Verformungskennlinien und rechts die daraus ermittelten Bruchzähigkeiten und E-Moduln zu unterschiedlichen Einlagerungszeitpunkten. Aus den Diagrammen wird ersichtlich, dass sich Bruchzähigkeiten und E-Moduln des Quarzporphyrs innerhalb der ersten 70 Tage Einlagerung in der KOH-Lösung nur unwesentlich verändern. Bereits nach einer Einlagerungsdauer von 140 Tagen beträgt die Bruchzähigkeit nur noch rd. 66 % der Bruchzähigkeit im Ausgangszustand. Auch der E-Modul beträgt nach 140 Tagen nur noch 60 % des E-Moduls im Ausgangszustand. Der E-Modul fällt im weiteren Verlauf der Einlagerung deutlich ab.

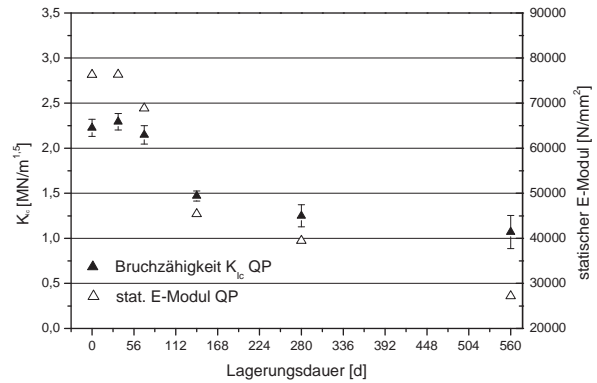
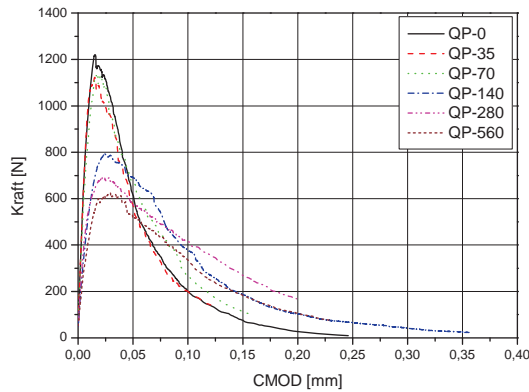


Bild 8: Linkes Bild: Last-Verformungskennlinie.  
Rechtes Bild: Bruchzähigkeit und E-Modul als Funktion der Lagerungsdauer.

Anhand von Dehnungsmessungen an hergestellten Betonbalken nach Alkali-Richtlinie [9] waren Treiberscheinungen ab einem Zeitpunkt von 140 Tagen feststellbar. Ebenfalls war eine Abnahme des dynamischen E-Moduls messbar, was aufgrund der gemessenen E-Moduln der Gesteine zu erwarten war. Rissbildung mit einer Rissbreite von  $w \geq 0,2$  mm am Würfel mit 300 mm Kantenlänge wurde nach 224 Tagen Nebelkammerlagerung festgestellt (vgl. Pfeil Bild 9, links). Aufgrund der festgestellten Treiberscheinungen und der Rissbildung ist dieser Quarzporphyr als alkaliempfindliche Gesteinskörnung im Sinne der Alkali-Richtlinie einzustufen.

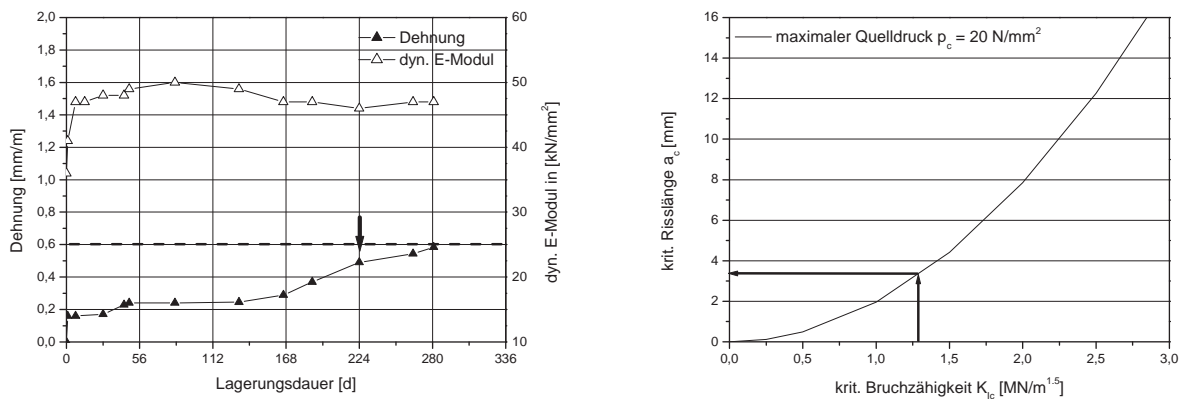


Bild 9: Linkes Bild: Dehnung und dynamischer E-Modul von Beton mit gebrochenem Quarzporphyr als Gesteinskörnung mit Nebelkammerlagerung (40 °C)  
Rechtes Bild: kritische Risslänge in Abhängigkeit der Bruchzähigkeit und des max. Quelldruckes

Unter Annahme, dass bei der AKR im kritischen Zustand ein maximaler Quelldruck  $p_c$  von  $20 \text{ N/mm}^2$  erzeugt wird [10], kann die kritische Risslänge  $a_c$ , die mindestens im Gesteinskorn vorhanden sein muss, damit ein Riss entstehen kann, in Abhängigkeit von der gemessenen Bruchzähigkeit  $K_{Ic}$  aus Gl. 3-4 wie folgt berechnet werden:

$$a_c = \pi \cdot \left( \frac{K_{Ic}}{2 \cdot p_c} \right)^2 \quad \text{Gl. 4-1}$$

Die Bruchzähigkeit der Gesteinskörnung beträgt zum Zeitpunkt der Rissbildung am Würfel rd.  $1,3 \text{ MN/m}^{1,5}$ . Mit dieser ermittelten Bruchzähigkeit muss für die Rissbildung mindestens ein Riss der Länge 3,3 mm in dem Quarzporphyr vorhanden sein (vgl. Bild 9, rechts).

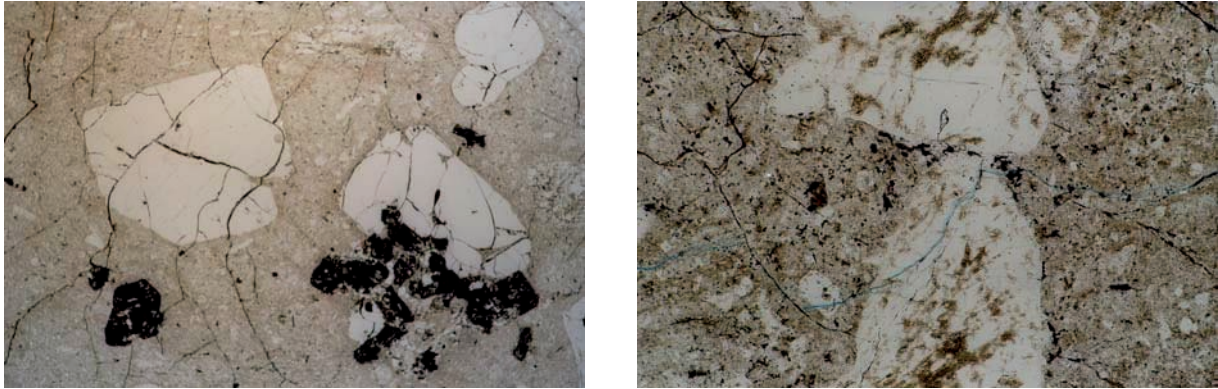


Bild 10: Linkes Bild: Quarzporphyr im Ausgangszustand. Planpolarisiertes Licht. Vergrößerung ca. 12-fach. Länge der unteren Bildkante ca. 6,3 mm.  
Rechtes Bild: Quarzporphyr nach 140 Tagen Einlagerungsdauer in KOH-Lösung. Planpolarisiertes Licht. Vergrößerung ca. 31-fach. Länge der unteren Bildkante ca. 2,5 mm.

Mit Hilfe der Dünnschliffmikroskopie sind die beschriebenen Veränderungen der Materialeigenschaften in Abhängigkeit der Einlagerungsdauer beim Quarzporphyr feststellbar. Bild 10 (links) zeigt das typische Gefügebild des Quarzporphyrs mit seiner feinkörnigen Matrix und den größeren Einsprenglingen aus Feldspat- und Quarz. Zudem enthält die Gefügematrix sich viel verzweigende Eisenoxidadern (im Dünnschliff opak erscheinend). Die Eisenoxidadern durchschlagen auch Quarzkörner und Feldspäte. Ansonsten ist das Gefüge sehr dicht ausgebildet. In Bild 10 (rechts) ersetzt nach einer Einlagerungsdauer von 140 Tagen das blaue Harzfärbemittel einen Teil der ehemals im Ausgangszustand beschriebenen Eisenoxidadern. Dies belegt die An- bzw. Auflösung der Eisenoxidadern. Die Lösungserscheinungen gehen nach 280 Tagen Einlagerung von den Rissen zunehmend in die feinkörnige Matrix über und erhöhen daher die Porosität und verringern die Festigkeit des Quarzporphyrs. Die beschriebenen Feststellungen waren im gleichen Maße im Inneren des Bohrkerns wie auch im Randbereich der Dünnschliffe feststellbar. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass bei diesem untersuchten Quarzporphyr die Lösungsprozesse an den Eisenoxidadern den Transportweg für die Alkalien aus der Porenlösung bilden. Diese entstandenen Defekte bzw. Risse sind Ausgangspunkt für die Rissbildung bei einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion und der daraus resultierenden Schädigung am Beton, die auch in Form von Rissbildung am Betonwürfel mit Nebelkammerlagerung festgestellt wurde (vgl. Bild 9, links). Aufgrund der deutlich veränderten Materialeigenschaften, reichen daher kleinere aber häufig auftretende Risslängen für eine Rissbildung durch die AKR aus. Festgestellte Braunverfärbungen an den Oberflächen der Betonbalken und Betonwürfeln mit Nebelkammerlagerung sind auf die Mobilisierung und Umlagerung von Eisenionen zurückzuführen und

bestätigen somit die Auflösung der Eisenoxidadern in einem Gesteinskorn aus Quarzporphyr.

### **Zusammenfassung**

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden Untersuchungen zur Rissursache und zur Rissentstehung in gebrochenem Quarzporphyr, welcher der Kategorie slow/late (langsam und spät mit Alkalien reagierende Gesteinskörnungen) zuzuordnen ist, durchgeführt.

Es wurden bruchmechanische Kennwerte (Bruchzähigkeit und E-Modul) der Gesteine im Ausgangszustand sowie nach verschiedenen Einlagerungszeitpunkten in einer Kaliumhydroxidlösung (KOH-Lösung) mit einem pH-Wert von 14,0 ermittelt.

Der kritische Zustand der bei einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) in einem Gesteinskorn erzeugt wird, wurde mit Hilfe des kreisförmigen Risses (penny-shaped crack) berechnet. Zudem lässt diese Berechnung Aussagen über die Stabilität eines Risses zu. Voraussetzung für diesen Ansatz war jedoch, dass im Gesteinskorn bereits Defekte oder Risse vor einer schädigenden AKR vorhanden sein mussten.

Für den Nachweis der An- und Auflösung der Minerale wurde mit der Dünnschliffmikroskopie eine mineralogische Untersuchungsmethode eingesetzt. Die Dünnschliffmikroskopie, die am Quarzporphyr im Ausgangszustand und nach verschiedenen Einlagerungszeitpunkten in der KOH-Lösung durchgeführt wurde, hatte zum Ergebnis, dass neue Erkenntnisse für die Transport- und Reaktionsmechanismen beim Ablauf einer Alkali-Kieselsäure-Reaktion gewonnen werden konnten.

Der untersuchte Quarzporphyr besitzt aufgrund seiner Entstehungsgeschichte in seiner Gefügematrix sich viel verzweigende Eisenoxidadern. Diese Eisenoxidadern werden in einer alkalischen Lösung angelöst. Diese Lösungsprozesse an den Eisenoxidadern bilden den Transportweg für die Alkalien aus der Porenlösung. Durch die Vielzahl der an- und aufgelösten Eisenoxidadern wird der Quarzporphyr entfestigt. Daher reichen kleinere Risslängen aber dafür häufig auftretende Defekte bzw. Risse für eine Rissbildung aufgrund der AKR aus.

### **Literatur**

- [1] Stark, J.; Freyburg, E.; Seyfarth, K.; Giebson, C.; Erfurt, D.: Bewertung der Alkaliaktivität von Gesteinskörnungen. Beton und Stahlbetonbau 102 (2007), H. 8, S. 500 - 510
- [2] Breitenbücher, R.: Besonderheiten bei Alkali-Kieselsäure-Reaktionen in Betonfahrbahndecken. Beton und Stahlbetonbau 102 (2007), H. 8, S. 521 - 527
- [3] Mielich, O.; Reinhardt, H.-W.: Bruchmechanik von Gesteinen im Rahmen der Aufklärung des Reaktionsmechanismus langsam und spät mit Alkalien reagierender Gesteine. DFG Abschlussbericht RE 691/29-2, 2008
- [4] Stark, J.; Wicht, B.: Dauerhaftigkeit von Beton. Birkhäuser Verlag, Basel 2001



- [5] Bažant, Z.P.; Zi, G.; Meyer, C.: Fracture mechanics of ASR in concrete with waste glass particles of different sizes. J. Eng. Mechanics (ASCE) 126 (2000), No. 3, pp 226-232
- [6] Sprung, S.; Sylla, H.M.: Ablauf der Alkali-Kieselsäure-Reaktion im Beton bei unterschiedlichen Zuschlaggesteinen. ZKG International 51 (1998), Nr.6, S. 334-345
- [7] Ouchterlony, F.: Suggested methods for determining the fracture toughness of rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Abstr., 1988, Vol. 25, pp.71-96
- [8] Hahn, H.G.: Bruchmechanik. B.G. Teubner Stuttgart, 1976
- [9] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): Richtlinie „Vorbeugende Maßnahmen gegen schädigende Alkalireaktion im Beton (Alkali-Richtlinie). Ausgabe Februar 2007
- [10] Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb): Empfehlung für die Schadensdiagnose und die Instandsetzung. beton (2003) H.9, S.438-443

## 5 Internationale Kooperationen in der Forschung

### **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 National Institute for Metal Science (NIMS) basiert, hat sich in den letzten Jahren sehr positiv entwickelt. 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. 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.

## 6 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)

## 7 Gastvorträge

**Prof. Dr.-Ing. Michael Pohl** (Institut für Werkstoffe, Universität Bochum), 10.01.07:  
"Versprödungsmechanismen in Bauteilen aus Duplex-Stählen",

**Dr.-Ing. Andreas Klenk** (MPA), 17.1.07:  
"Werkstoffe für den modernen Kesselbau – Auswahl und Auslegung"

**Dipl.-Ing. Bruno Günther** (Turbomecanica Ltda., Concepción, Chile), 01.03.07 :  
"Energiequellen der Natur"

**Prof. Dr.-Ing. Robert F. Singer** (Lehrstuhl Werkstoffkunde und Technologie der Metalle, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg), 05.06.07:  
"Neue Materialien und Prozesse für Industriegasturbinen"

**Prof. Dr.-Ing. Dietmar Eifler** (Lehrstuhl für Werkstoffkunde, Technische Universität Kaiserslautern), 19.06.07:  
"Bewertung des Ermüdungsverhaltens metallischer Werkstoffe auf der Basis physikalischer Messverfahren"

**Dr. A. Bhaduri** (Indira Gandhi Centre for Atomic Research, Kalpakkam, Indien), 26.06.07:  
"Effect of Prior Heat Treatment of Base metal on Microstructure, Mechanical Properties and Deformation Behaviour of Modified 9Cr-1Mo Steel Weld Joints"

**Prof. Dr.-Ing. Horst Biermann** (Institut für Werkstofftechnik, Universität Freiberg), 05.07.07:  
"Zum mechanischen Verhalten von Al-Matrix-Verbundwerkstoffen"

**Eng. Osama Eldesoky** (Atomic Research Center, Atomic Energy Authority, Inchass, Ägypten), 10.07.07:  
"Microstructural Investigations of P91 Welded Joints After Creep Stress"

**Dipl.-Ing. Rudolf Brinkmann** (Universität Stuttgart und DAP), **Ass. Jur. Ingo Ruthe-  
meier** (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie), 10.12.07:  
"Änderungen im Akkreditierungswesen und bei behördlichen Anerkennungen / Notifizierungen. Umsetzung von EU-Verordnung und -beschluss, Deutsches Akkreditierungsgesetz. Aktueller Stand der Revision des Neuen Ansatzes der EU"

## 8 Gastwissenschaftler

**Abd El-Azim, Prof.** (Ägypten), 25.04.-20.05.07

**Albert, S.K., Dr.** (Indien), 11.10.-12.10.07

**Bao, G., Dr.** (Japan), 11.10.-12.10.07

**Bhaduri, A.K., Prof.** (Indien), 04.06.-30.06.07

**Chattopadhyay, J., Dr.** (Indien), 16.11.-30.11.07

**El-Desoky, O.** (Ägypten) 16.03.-16.07.07

**El-Mahallawy, N., Prof.** (Ägypten), 09.08.-10.08.07

**Glaser, St. D., Prof. Dr.** (USA) 13.07. -08.08.07

**Gontarz, S.** (Polen), 03.07.-14.07.07

**Gunter, B., Dipl.-Ing.** (Chile), 16.02.-20.03.07

**Harraz, M.** (Ägypten), 18.12.-21.12.07

**Kushwaha, H.S., Dr.** (Indien), 04.10.-08.10.07

**McLaskey, G., Dr.** (USA), 13.07. -08.08.07

**Narasaiah, N., Dr.** (Indien), 02.04.07-01.04.08

**Rao, B.P.C., Prof.** (Indien), 10.10.-12.10.07

**Samal, M.K.** (Indien), 16.10.-15.11.07

**Sawada, Kota, Dr.** (Japan), 01.06.07 – 31.05.08

**Yang, X., Dr.** (USA), 28.01.-28.02.07



## 9 Promotionen

**Dirk Ballhause:**

Diskrete Modellierung des Verformungs- und Versagensverhaltens von Gewebemembranen

**Bastian Devrient:**

Untersuchungen zum Einfluss der dynamischen Reckalterung auf die mediumgestützte Risskorrosion von niedriglegierten Stählen in sauerstoffhaltigem Hochtemperaturwasser

**Matthias Kuntz:**

Verformungsmechanismen hoch manganlegierter austenitischer TWIP-Stähle

**Mahendra Kumar Samal:**

Nonlocal Damage Models for Structural Integrity Analysis

**Hans-Peter Seebich:**

Mikromechanisch basierte Schädigungsmodelle zur Beschreibung des Versagensablaufs ferritischer Bauteile

**Thomas Ruckstuhl:**

Delaminationswachstum in langfaserverstärkten Verbundwerkstoffen unter Ermüdungsbelastung – Berechnung und Vorhersage

## **10 Förderkreis Materialprüfungsanstalt (MPA), Universität Stuttgart e. V.**

### **Veranstaltungen 2007**

#### **Workshop „Betriebsfestigkeit“, 27. Juni 2007**

##### **Vorträge:**

- Fortschrittliche Auslegungskonzepte für die Gewährleistung der Betriebsfestigkeit von Bauteilen; L. Issler, Hochschule Esslingen
- Bruchmechanische Verfahren zum Lebensdauernachweis; E. Roos, MPA Universität Stuttgart
- Betriebsfestigkeitsanalysen im Fahrzeugbau; S. Weihe, Daimler AG, Stuttgart
- Lebensdauerabschätzung mit dem Kerbdehnungskonzept; A. Glowig, Zwick, Ulm

#### **Workshop „Restlebensdauerbestimmung von kriechbeanspruchten Bauteilen in Kraftwerken“, 20. November 2007**

##### **Vorträge:**

- Restlebensdauerbewertung aus Sicht der MPA; K. Maile, MPA Universität Stuttgart
- Potentiale der Restlebensdauerbestimmung; J. Bareiss, EnBW Kraftwerke AG
- Temperaturerfassung bei FD-Leitungen während des Betriebes; M. Langenstein, BTB Jansky GmbH, Leonberg
- Konzepte und Strategien für lebensverlängernde Maßnahmen verfahrenstechnischer Anlagen unter Berücksichtigung pragmatischer Restlebensdauerabschätzungen; H. Schröder, TÜV Energie- und System -technik GmbH, Filderstadt
- Anforderungen an die Hersteller durch die EU-Norm; A. Helmrich, ALSTOM Power Boiler GmbH, Stuttgart

Beide Workshops waren sehr gut besucht. Dies zeigte, dass interessante Themen angesprochen wurden. Es wurde daher beschlossen, weitere Workshops zu diesen Themen durchzuführen.

Bei der Hauptversammlung am 12. Okt. 2007, im Anschluss an das MPA-Seminar, wurde die Diplomarbeit von Herrn Daniel Christ mit dem Titel „Einfluss von Schweißspannungen auf die Ermüdungsfestigkeit von Laufrädern von Wasserturbinen“ sowie die Studienarbeit von Herrn Daniel Krätschmer mit dem Titel „Validierung eines nichtlinearen Schädigungsmodells auf Basis des Rousselier-Modells“ mit je einem Preis

in Höhe von 500 Euro ausgezeichnet. Die Mitglieder konnten sich anhand der Vorträge der Preisträger selber ein Bild über die besondere Qualität der Arbeiten machen.

Aufgrund der guten Resonanz der Workshops und den damit verbundenen Einnahmen, konnte der Förderverein satzungsgemäß auch dieses Jahr wieder die MPA bei ihren wissenschaftlichen Arbeiten und bei der studentischen Ausbildung unterstützen, z. B. Auslobung von Preisen für herausragende Studien- und Diplomarbeiten.

## 11 Deutsch-Ägyptisches Jahr der Wissenschaften und Technologie

2007 war das Deutsch-Ägyptische Jahr der Wissenschaften und Technologie. Ziel war es, die internationale Kooperation zwischen Ägypten und Deutschland auf dem Gebiet von Forschung und Wissenschaften auszubauen und zu intensivieren.

Der Schwerpunkt Werkstoffwissenschaften wurde von Prof. Dr.-Ing. Eberhard Roos koordiniert. Weitere Schwerpunkte waren Medizin, Sozialwissenschaften, Biotechnologie, Erneuerbare Energien und Wasser.

Im Rahmen des Wissenschaftsjahres wurden drei Workshops veranstaltet, die die Themen „Werkstoffbasierte Produktionstechnologien“, „Advanced Materials“ und „Werkstoffverhalten, Qualifizierung und Charakterisierung“ zum Inhalt hatten.

Die Workshops und andere Aktivitäten boten eine gute Möglichkeit, neue Kontakte und gemeinsame Projekte zu etablieren und existierende Kooperationsvereinbarungen zu erneuern.



Prof. Nasr und Prof. Roos bei der Begrüßung der Teilnehmer des Workshops im September in Stuttgart

## 12 Veröffentlichungen

**Aicher, S.:** Zerstörungsfreie Detektion von Fehlverklebungen bei geklebten Holzbauteilen – Entwicklung zuverlässiger und praxisgerechter Prüfverfahren. Kurzberichte aus der Bauforschung 48 (2007), H. 3, S. 53-54.

**Aicher, S., Höfflin, L. und Reinhardt, H.-W.:** Runde Durchbrüche in Biegeträgern aus Brettschichtholz. Teil 2: Tragfähigkeit und Bemessung. Bautechnik 84 (2007), H. 12, S. 867-880.

**Aicher, S. und Reinhardt, H.-W.:** Delaminierungseigenschaften und Scherfestigkeiten von verklebten rotkernigen Buchenholzlamellen. Holz als Roh- und Werkstoff 65 (2007), H. 2, S. 125-136.

**Algernon, D. und Beutel, R. :** Impact-Echo-Anwendung. Abschlusskolloquium DFG-Forschergruppe FOR 384 „Moderne ZfP bei der Bauwerkserhaltung, 3. Mai 2007 in Bergisch Gladbach, S.51-59.

**Bartonicek, J., Hahn, R., Kockelmann, H. und Roos, E.:** Bewertung der Ausblässicherheit von Dichtungen in Flanschverbindungen auf Basis experimenteller Untersuchungen. 15. Dichtungskolloquium „Untersuchung und Anwendung von Dichtelementen“, 26.-27. September 2007 in Steinfurt, S. 84-107.

**Bartonicek, J., Hahn, R., Kockelmann, H. und E. Roos:** Ausblässicherheit von Dichtungen in Flanschverbindungen. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- & Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Bauer, M., Maile, K., Klenk, A. and Roos, E.:** Consideration of Weld Behaviour in Design of High-Temperature Components. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- & Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Bohle, J., Brehm, L. und Roos, E.:** Zustandsorientierte Bauteilbewertung – Konstruktive Optimierung. 23. Konstruktions-Symposium der Dechema e.V. „Herausforderung Anlagenbau: Konstruktionsprobleme und -lösungen für moderne Anlagen“, 6. Februar 2007 in Frankfurt/Main, S. 57-67.

**Büteführ, M.:** Zinc-Aluminium-Coatings as Corrosion Protection for Steel. Materials and Corrosion 59 (2007) No. 9, pp. 721-726.

**Cheng, Q., Stamatelopoulos, G.-N., Helmrich, A., Heinemann, J., Maile, K. and Klenk, A.:** Materials Qualification for 700 °C Power Plants. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants, Session 3A-07, October 3-5 (2007), Marco Island.

**Deryugin, Y.Y., Lasko, G.V. and Schmauder, S.:** Modelling and Simulation of the Localized Plastic Deformation by Relaxation Element Method. Comput. Mech. 40 (2007), No. 4, pp. 791-801.



**Ewald, J., Sheng, S., Affeldt, E., Denk, J., Speicher, M. und F. Müller:** 25 Jahre Projektgruppe W14- Bedeutung von Kriechrissversuchen für die Praxis. 30. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe „Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe“, 30. November 2007 in Düsseldorf, S. 93-104.

**Ewald, J., Müller, F., Mao, T., Scholz, A., Machalowska-Tracz, M. und Klenk, A.:** Methoden zur Bewertung rissartiger Fehler betriebsbeanspruchter Kraftwerksbauteile im Langzeitbereich. Mat.-wiss. u. Werkstofftech. 38 (2007), H. 5, S. 379-386.

**Gabrio, T. und Volland, G. :** PCB-Ringversuch – Dotierte PU-Schäume. Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 67 (2007), H. 3, S. 108-109.

**Gabrio, T., Volland, G., Baumeister, I., Bendak, J., Flicker-Klein, A., Gickeleiter, M., Kersting, G., Maisner, V. und Zöllner, I.:** Messung von Feinstäuben in Innenräumen. Gefahrstoffe- Reinhaltung der Luft 67 (2007), H. 3, S. 96-102.

**Gehlen, C.:** Vielfalt (Editorial). Beton- und Stahlbetonbau 102 (2007) H. 3, S. 143.

**Gehlen, C.:** Durability Design According to the new Model Code for Service Life Design. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Concrete under Severe Conditions of Environment and Loading, Consec'07, June 4-6 (2007), Tours, France, Vol. 1, pp. 36-50.

**Gehlen, C. and Dauberschmidt, C. :** Condition Control of Existing Structures by Performance Testing. Proceedings of the International RILEM Workshop on Performance Based Evaluation and Indicators for Concrete Durability, March 19-21 (2006), Madrid, Spain. In: RILEM Proceedings PRO 47 (2007), pp. 277-294.

**Gehlen, C. und Mayer, T.F.:** Regensburger Dom: Zur Instandsetzung des Südturmhelms. Tagungsband Natursteinsanierung Stuttgart 2007 „Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassungen“, 16. März 2007 in Stuttgart, S. 77-84.

**Gehlen, C., Öttl, C. und Quade, M.:** Neue Bilderfassung zur Bestimmung der Luftporerwerte am Festbeton. Beton 57 (2007), H. 12.

**Gehlen, C. und Schießl, P.:** fib-„Mustervorschrift“: Lebensdauerbemessung. In: Beton + Fertigteil Jahrbuch 2008, Bau Verlag, ISBN 978-3-7625-3624-6, S. 173-179.

**Gehlen, C. und Schießl-Pecka, A.:** Reduzierung der erforderlichen Betondeckung durch Optimierung der Materialwiderstände. Betonwerk + Fertigteil-Technik 73 (2007), H. 2, S. 100-101.

**Grassegger, G. und Grüner, F.:** Die Terrakotta der Meißner Tonfiguren. In: Aus Ton gebrannt – Terrakottafiguren im Dom zu Meißen, S. 98-106.

**Grassegger, G. und Grüner, F.:** Chemische Vergleichsmessung von Terrakottaprobe aus Nürnberg. In: Aus Ton gebrannt – Terrakottafiguren im Dom zu Meißen, S. 107-109.

**Grassegger, G. und Patitz, G.:** Tagungsband Natursteinsanierung Stuttgart 2007 „Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassungen“, 16. März 2007 in Stuttgart.

**Große, C.:** Preiswerte und kabellose Überwachung von Bauwerken – Praktische Anwendungen. Betonwerk + Fertigteil-Technik 73 (2007), H. 2, S. 94-97.

**Große, C.:** Advances in Construction Materials 2007, 784 p.

**Große, C.:** Ultraschall bei der Untersuchung von frischem und erhärtendem Beton. Abschlusskolloquium DFG-Forschergruppe FOR 384 „Moderne ZfP bei der Bauwerkserhaltung, 3. Mai 2007 in Bergisch Gladbach, S. 23-29.

**Große, C.:** Brief Review of the Scientific Work of Prof. Dr.-Ing. Hans W. Reinhardt. In: Advances in Construction Materials 2007, pp. 1-14.

**Große, C. and Boros, V.:** Setting and Hardening of Fresh UHPFRCC Monitored by Ultrasound. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC5), July 10-13 (2007), Mainz, pp. 275-282.

**Große, C., Gehlen, C. and Glaser, S. D. :** Sensing Methods in Civil Engineering for an Efficient Construction Management. In: Advances in Construction Materials 2007, Springer Verlag, ISBN 978-3-540-72447-6, pp. 549-561.

**Große, C., Krüger, M. and Chatzichrisafis, P.:** Acoustic Emission Techniques using Wireless Sensor Networks. In: Sustainable Bridges – Assessment for Future Traffic Demands and Longer Lives. Dolnoślaskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wroclaw, Poland, ISBN 978-83-7125-161-0, pp. 191-200.

**Große, C. and Reinhardt, H.-W.:** A New Concept for Bridge Monitoring using a Wireless Sensor Network. Proceedings of the International Conference “Concrete Platform ‘07” in Honour of Prof. Adrian Long, April 19-20 (2007), Belfast, UK, pp. 271-283.

**Große, C. and Reinhardt, H.-W.:** Monitoring the Steel-Concrete Interaction using Acoustic Emission Techniques. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Connections between Steel and Concrete, September 4-7 (2007), Stuttgart, Germany. Ibidem Verlag 2007, ISBN 978-3-89821-807-8, Vol 2, pp. 785-794.

**Hahn, R., Schaaf, M., Floegel, B. und Riedl, A.:** Round-Robin-Test und Dichtungsdatenbank für Dichtungskennwerte nach EN13555. 15. Dichtungskolloquium „Untersuchung und Anwendung von Dichtelementen, 26.-27. September 2007 in Steinfurt, S. 123-133.

**Herter, K.-H. und Schuler, X.:** Anmerkungen zur Höhe des Prüfdruckes bei wiederkehrenden Druckprüfungen und zum Nutzen einer Druckprüfung. BMU-Vorhaben SR 2501, Technischer Bericht 4.1, MPA Stuttgart, März 2007.

**Herter, K.-H., Jahn, T., Schuler, X., Hienstorfer, W., Föllner, L. und Mittermüller, F.:** Leitlinie zum Alterungsmanagement in Kernkraftwerken. Techn.-wiss. Bericht MPA Stuttgart (2007), H. 07-02.

**Herter, K.-H., Jahn, T., Schuler, X., Hienstorfer, W., Föllner, L. und Mittermüller, F.:** Leitlinie zum Alterungsmanagement in Kernkraftwerken. 1. überarbeitete Auflage, Techn.-wiss. Bericht MPA Stuttgart (2007), H. 07-03.

**Herter, K.-H., Schuler, X., Hienstorfer, W. und Pompe, W.:** Leitlinie zum Alterungsmanagement in Kernkraftwerken. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- & Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Holdsworth, S.R. and Klenk, A. :** ECCG-Guidelines for Generation and Assessment of Weld Creep Data. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- & Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Kauffmann, F., Kuppler, D., Ruoff, H. und Maile, K. :** Reproduzierbarkeit von Ausscheidungscharakterisierungen im Transmissionselektronenmikroskop anhand von Ausziehadrücken. Vortragstexte der 41. Metallographie-Tagung, 19.-21. September 2007 in Bremen. In: Prakt. Met. Sonderband 39 (2007) „Fortschritte in der Metallographie“, S. 261-266.

**Kern, U., Deimel, P. und Sattler, E.:** Untersuchungen zum Wasserstoffeinfluss auf im Kompressorbau eingesetzte Werkstoffe. Abschlussbericht über das Vorhaben Nr. 261 (AVIF-Nr. A190). Informationstagung Turbomaschinen, 22. März 2007 in Frankfurt am Main, S. 5-37, Heft R538.

**Kizler, P. and Schmauder, S.:** Simulation of the Nanoindentation of Hard Metal Carbide Layer Systems – the Case of Nanostructured Ultra-Hard Carbide Layer Systems. Computational Materials Science 39 (2007), No 1, pp. 205-213.

**Klenk, A., Maile, K., Schmidt, K. und Bauer, M. :** Inelastische Berechnungen von kriechbeanspruchten Kesselbauteilen. 30. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe „Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe“, 30. November 2007, Düsseldorf, S. 105-118.

**Korkhaus, J. und Roos, E.:** Bruchmechanisch basierte Nachweise der Sprödbruchsicherheit im europäischen (Druckbehälter-) Regelwerk. 23. Konstruktions-Symposium der Dechema e.V. „Herausforderung Anlagenbau: Konstruktionsprobleme und –lösungen für moderne Anlagen“, 6. Februar 2007 in Frankfurt/Main, S. 95-129.

**Kotalla, R., Franzen C. und Grassegger, G.:** Datierung der Terrakottafiguren mittels Thermolumineszenz. In: Aus Ton gebrannt – Terrakottafiguren im Dom zu Meißen, S. 90 –93.

**Krause, H.-J., Rath, E., Sawade, G. und Dumat, F.:** Radar-Magnet-Betontest: Eine neue Methode zur Bestimmung der Feuchte und des Chloridgehalts von Brückenfahrbahnplatten aus Beton. Beton- und Stahlbetonbau 102 (2007), H. 12, S. 825-834.

**Krüger, M. und Große, C.:** Beitrag zur intelligenten Bauwerksüberwachung mit drahtlosen Sensorwerken. Bautechnik 84 (2007), H. 7, S. 502-508.

**Krüger, M., Große, C. and Reinhardt, H.-W.:** Structural Health Monitoring with Wireless Sensore to Enhance Sustainability in Structural Engineering. Proceedings of the IABSE Symposium, September 19-21 (2007), Weimar.

**Kuntz, M., Lempenauer, K., Staufner, W. und Roos, E.:** Verformungsmechanismen hochmanganlegierter austenitischer Twip-Stähle. Stahl und Eisen (2007), H. 12, S. 83-89.

**Kurz, H., Kockelmann, H., Roos, E., Marks, L. und Ziegmann, G.:** Optimierung und Berechnung von Losflanschverbindungen aus GFK. 15. Dichtungskolloquium „Untersuchung und Anwendung von Dichtelementen“, 26.-27. September 2007 in Steinfurt

**Lotze, D., Meszaros, J. and C. Lutz:** Fastenings for Handrails and Balustrades in Narrow Edge Surfaces of Slabs by use of Special Anchor Channels. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Connection between Steel and Concrete, September 4-7 (2007), Stuttgart, Germany, Vol 2, pp. 929-940.

**Lutz, W., Gerger, H. und Schmauder, S.:** Modellierung der Schädigungsentwicklung eines faserverstärkten Werkstoffs mit Thermoplastischer Matrix. 20. Stuttgart Kunststoff-Kolloquium, 14.-15. März 2007 in Stuttgart, Symposium 3/V7.

**Lutz, W., Guo, F., Schmauder, S., Finn, R. and Aicher, S.:** Simulation of the Cyclic Loading and Damage Behavior of Gypsum Composites. In: Advances in Construction Materials 2007, pp. 335-349.

**Maile, K.:** Restlebensdauerbewertung aus Sicht der MPA. Workshop Restlebensdauerbestimmung von kriechbeanspruchten Bauteilen in Kraftwerken, 20. November 2007, (MPA) Universität Stuttgart.

**Maile, K.:** Evaluation of Microstructural Paramaters in 9 – 12% Cr-Steels. Int. J. Pres. Ves. & Piping 84 (2007), pp. 62-68.

**Maile, K., Berreth, K. and Lyutovich, A.:** Functionally Graded Coatings on C/C-SIC Composites. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Recent Advances in Composite Materials (ICRACM 2007), February 20-23, New Delhi, Indien, Section IV, pp. 433-440.

**Maile, K., Kauffmann, F., Klenk, A., Roos, E., Straub, S. and Mayer, K.H.:** Microstructural Characterisation of Modern Martensitic Steels. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants, Session 5B-02, Oktober 3-5 (2007), Marco Island, USA.

**Maile, K., Klenk, A., Bauer, M. and Roos, E.:** Consideration of Weld Behavior in Design of High Temperature Components. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants, Session 01-07, October 3-5 (2007), Marco Island.

**Maile, K., Klenk, A., Bauer, M. und Theofel, H.:** Einsatz längsnahtgeschweißter Rohre im Zeitstandbereich. Tagungsband der 22. Rohrleitungstechnischen Tagung „Rohrlei-

tungen in Kraftwerken und chemischen Anlagen – Rohrfernleitungen“, 06. und 07. März 2007 in Gelsenkirchen, Sektion 2: „Entwicklung, Planung, Berechnung, Konstruktion“.

**Maile, K., Klenk, A. und Roos, E.:** Qualifizierung von Hochleistungswerkstoffen für 700-°C- Kraftwerke im Rahmen der COORETEC-Initiative. 30. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe „Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe“, 30. November 2007 in Düsseldorf, S. 53-66.

**Maile, K. and Roos, E.:** Microstructural Investigations and Characterization of 9 %-12 % Steels. In: *Frontiers in the Design of Materials*. Universities Press (India) 2007, ISBN 978-81-7371-567-9, pp. 141-153.

**Maile, K., Udoh, A. and Maier, H.-P.:** Use of Conductivity Based NDT Methods for Indication of Damage in C/C-SiC. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Recent Advances in Composite Materials (ICRACM 2007)*, February 20-23, New Delhi, Indien, Section IV, pp. 506-520.

**McLaskey, G. C., Glaser, S. D. and Große, C.:** Integrating Broad-Band High-Fidelity Acoustic Emission Sensors and Array Processing to Study Drying Shrinkage Cracking in Concrete. *Proceedings of the International SPIE Conference on Sensors and Smart Structures Technologies for Civil, Mechanical, and Aerospace Systems*, March 18-22 (2007), San Diego, California.

**Menzel, K.:** Entwicklung eines einheitlichen Prüfverfahrens zur Prüfung von Betonschrauben auf Empfindlichkeit gegen wasserstoffinduzierte Rissbildung. *Kurzberichte aus der Bauforschung* 48 (2007), H. 4, S. 74-75.

**Müller, M. and Greitmann, M. J.:** Production of Reinforcement Mesh – Welding Technique, Code Requirements, Quality Assurance Aspects. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on “Connection between Steel and Concrete”*, September 4-7 (2007), Stuttgart, Germany. Vol 2, pp. 1125-1130.

**Nürnbergger, U.:** Verhalten feuerverzinkter Bewehrungsstähle in alkalischem Beton unter Berücksichtigung des Alkali- und Chromatgehaltes der verwendeten Zemente. *Beton- und Stahlbetonbau* 102 (2007) H. 3, S. 144-153.

**Nürnbergger, U.:** Failure Mechanisms in Fatigue of High Strength Steel Wires for Cable-Constructions. In: *Advances in Construction Materials 2007*, Springer Verlag, ISBN 978-3-540-72447-6, pp. 371-380.

**Öttl, C. and Schellhorn, H.:** Examination of the Relation between Tensile/Flexural Strength and Compressive Strength of Autoclaved Aerated Concrete According to prEN 12602. In: *Advances in Construction Materials 2007*. pp. 749-756.

**Perova, T. S., Moore, R. A., Berreth, K., Maile, K. and Lyutovich, A. :** MicroRaman Spectroscopy of Protective Coatings Deposited onto C/C-SiC Composites. *Materials Science and Technology* 23 (2007), No. 11, pp. 1300-1304.



**Predak, S., Solodov, I., Gerhard, H., Schlatterer, N., Lutz, W. und Busse, G.:** Kombination von ZfP-Verfahren zur Material- und Schädigungscharakterisierung von kurzfaserverstärkten Thermoplasten. 20. Stuttgart Kunststoff-Kolloquium, 14.-15. März 2007 in Stuttgart, Symposium, 5/V5.

**Rahman, T., Lutz, W., Finn, R., Schmauder, S. and Aicher, S.:** Simulation of the Mechanical Behavior and Damage in Components Made of Strain Softening Cellulose Fiber Reinforced Gypsum Materials. Computational Materials Science 39 (2007), No. 1, pp. 65-74.

**Reinhardt, H.-W. und Öttl, C.:** Überprüfung der Beziehungen von Zug-/Biegezugfestigkeit und Druckfestigkeit von Porenbeton nach prEN 12602. Kurzberichte aus der Bauforschung 48 (2007) H. 1, S. 49-53.

**Reinhardt, H.-W. und Öttl, C. :** Einsatz des SIC-Tests für Normalbetone. Beurteilung des Alkaliangriffs von Bindemitteln. Betonwerk + Fertigteil-Technik 73 (2007), H. 5, S. 34-43.

**Reinhardt, H.-W., Ožbolt, J., Krüger, M. and Periškić, G.:** Numerical Investigation of Fire Tests on Textile-Reinforced Concrete Elements. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cement Composites (HPFRCC5), July 10-13 (2007) Mainz, pp. 351-360.

**Reinhardt, H.-W. und Schellhorn, H.:** Getempertes Phonolith-Gesteinsmehl als Betonzusatzstoff mit hohem k-Wert. Betonwerk + Fertigteil-Technik 73 (2007), H. 1, S. 24-31.

**Reinhardt, H.-W. und Schellhorn, H.:** Getempertes Phonolith-Gesteinsmehl als Betonzusatzstoff mit hohem k-Wert. Zement Kalk Gips 60 (2007), H. 3, S. 78-84.

**Romanova, V., Balokhonov, R., Soppa, E. and Schmauder, S.:** Comparative Analysis of Two- and Three-Dimensional Simulations of Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Behavior on the Meso-Scale Level. Computational Materials Science 39 (2007), pp. 274-281.

**Roos, E.:** Anforderungen an Werkstoffkennwerte für die Bauteilauslegung bei statischer Beanspruchung und Prozesssimulation. Materials Testing 49 (2007), H. 3, S. 101-112.

**Roos, E.:** Anwendungsmöglichkeiten mikrostrukturbasierter Schädigungsmodelle in der Bruchmechanik. 8. Tagung Gefüge und Bruch, 26.-27. Februar 2007, Bochum, Deutschland, S. 55-60.

**Roos, E.:** Anwendung der Bruchmechanik für die Wiederholungsprüfung hoch beanspruchter Rohrleitungen. Tagungsband der 22. Rohrleitungstechnischen Tagung „Rohrleitungen in Kraftwerken und chemischen Anlagen – Rohrfernleitungen“, 06. und 07. März 2007 in Gelsenkirchen, Sektion 4: „Betrieb, Instandhaltung“.

**Roos, E.:** Am Anfang ist das Material. Werkstoffe begründen den technischen Fortschritt. Transmitter 1 (2007), S. 8-12.

**Roos, E.:** Wie Kesselteile Belastung aushalten lernen. Produktion Nr. 8 (2007), S. 16.

**Roos, E.:** Werkstoffe begründen den technischen Fortschritt. Produktion Nr. 8 (2007), S. 20.

**Roos, E.:** Anforderungen an Werkstoffkennwerte für die Bauteilauslegung bei statischer Beanspruchung und Prozesssimulation. Materials Testing 49 (2007), H. 3, S. 101-112.

**Roos, E.:** Requirements for Reliable and Safe Operation of Power Plant Components-Based on Computation and Material Behavior. In: Frontiers in the Design of Materials, pp. 155-173.

**Roos, E.:** Bruchmechanische Verfahren zum Lebensdauernachweis. Workshop Betriebsfestigkeit, 27. Juni 2007, (MPA) Universität Stuttgart.

**Roos, E., Berger, C., Sheng, S., Klenk, A., Machalowska, M., Scholz, A. und Müller, F.:** Absicherung von Konzepten zur Beschreibung des Rissverhaltens der Legierungen Inconel 706, Inconel 718 und IN-738 LC unter überlagerter Beanspruchung. Zwischenbericht über das Vorhaben Nr. 884 (AiF-Nr. 14609 N). Informationstagung Turbomaschinen, 22. März 2007 in Frankfurt am Main, S. 193-212, Heft R538.

**E. Roos und Deimel, P.:** Werkstoff- und Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik. Schweißen und Schneiden 59 (2007), H. 4, S. 215-220.

**Roos, E., Deimel, P., Sattler, E. und Kern, U.:** Untersuchungen zum Wasserstoffeinfluss auf im Kompressorbau eingesetzte Werkstoffe. Abschlussbericht über das Vorhaben Nr. 261 „Wasserstoffeinfluss“, Forschungskuratorium Maschinenbau e.V. (FKM), Heft 295 (2007).

**Roos, E. und Diem, H. :** Anriss- und Rissfortschrittsverhalten bei wechselnder thermischer Beanspruchung. 39. Tagung des DVM-Arbeitskreises Bruchvorgänge „Bruchmechanik und Bauteilsicherheit“. Themenschwerpunkt: „Ermüdungsbruch“, 13. und 14. Februar 2007 in Dresden.

**Roos, E., Eisele, U., Herter, K.-H., Schuler, X. und Bartonicek, J.:** Sicherheitsnachweise am Reaktordruckbehälter (RDB). 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- & Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Roos, E., Hahn, R. und Kockelmann, H. :** Hochwertigkeit von Flanschverbindungen nach TA Luft. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- & Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Roos, E., Herter, K.-H., Schuler, X. and Hienstorfer, W.:** Application of Lifetime Management for Mechanical Systems, Structures and Components. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Nuclear Power Plant Management, October 15-18 (2007), Shanghai, China, IAEA-CN-155-017.

**Roos, E., Herter, K.-H., Schuler, X. und Reicherter, B.:** Verhalten von ferritischen und austenitischen Werkstoffen bei schwingender Beanspruchung. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- & Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart

**Roos, E., Kockelmann, H. und Ziegmann, G.:** Ein gesamtheitliches Konzept für die Auslegung von Flanschverbindungen unter Verwendung realistischer Dichtungskennwerte. 23. Konstruktions-Symposium der Dechema e.V. „Herausforderung Anlagenbau: Konstruktionsprobleme und -lösungen für moderne Anlagen“, 6. Februar 2007 in Frankfurt/Main, S. 81-94.

**Roos, E., Kurz, H. und Kockelmann, H. :** Auslegung von Kraftauptschlussverbindungen mit GFK-Flanschen. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- & Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Roos, E., Maile, K., Offermanns, S., Schuler, X. und Stadtmüller, W. :** Qualifizierung von Stahlgehäusen für Verdichter einer neuen Generation von Kfz-Klimaanlagen. Forschung für die Praxis P 619. Fosta 2007.

**Roos, E., Mayer, U. und Greitmann, M. J.:** Verhalten von Punktschweißverbindungen von Stählen unterschiedlicher Festigkeit bei statischen und dynamischen Belastungen. 4. Dynamik Symposium „Zyklische und schlagdynamische Prüfung von Fügeverbindungen“, 14. März 2007, Ulm, S. 30- 37.

**Roos, E., Mayer, U. and Greitmann, M. J. :** Lightweight Construction – Material and Joining Aspects. 7. Internationales Stuttgarter Symposium “Automobil- und Motorentechnik“, 20. und 21. März 2007 in Stuttgart, Band 1, pp. 523-539.

**Roos, E., Offermanns, S. und Stadtmüller, W. :** Untersuchungen zum Rohrleitungsverhalten bei Radiolysegasdetonationen. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- & Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Roos, E. und Scheffknecht, G.:** Wie Kesselteile länger leben. Werkstoffe für den technischen Fortschritt. Transmitter 1 (2007), S. 12-13.

**Roos, E., Stumpfrock, L., Schuler, X. und Schütt T.:** Vergleichende Darstellung und Bewertung unterschiedlicher Mehrachsigeitsparameter. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Ruoff, H., Theofel, H., Kauffmann, F., Klenk, A. und Maile, K.:** Qualifizierung von Längsnahtschweißungen in warmfesten Rohren aus modernen 9-11% Chromstählen. 30. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe „Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe“, 30. November 2007 in Düsseldorf, S. 71-104.

**Samal, M. K.:** Nonlocal Damage Models for Structural Integrity Analysis. Techn.-wiss. Bericht MPA Stuttgart (2007), H. 07-04.

**Samal, M. K., Seidenfuß, M., Roos, E., Dutta, B. K. and Kushwaha, H.S.:** Development of a Nonlocal Damage Mechanics Model. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- & Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Sawade, G. and Krause, H.-J.:** Inspection of Prestressed Concrete Members using the Magnetic Leakage Flux Measurement Method - Estimation of Detection Limit. In: Advances in Construction Materials 2007. pp.639-649.

**Schaaf, M., Schöckle, F., Bartonicek, J. und Kockelmann, H.:** Anforderungen an die rechnerische Auslegung von Flanschverbindungen mit der Dichtung im Krafthaupt- und Kraftnebenschluss. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- und Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Schad, H., Vermeer, P. A. and Lächler, A.:** Fresh Concrete Pressure in Diaphragm Wall Panels and Resulting Deformations. In: Advances in Construction Materials 2007, pp. 505-512.

**Scheck, R. und Maile, K.:** Möglichkeiten der Interferenzschichtenmetallographie. Vortragstexte der 41. Metallographie-Tagung, 19.-21. September 2007 in Bremen. In: Prakt. Met. Sonderband 39 (2007) „Fortschritte in der Metallographie“, S. 211-218.

**Scholz, A., Berger, C., Mueller, F. and Klenk, A.:** Long-Term Crack Behavior under Creep and Creep-Fatigue Conditions of Heat Resistant Steels. Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants, Session 5B-05, Oktober 3-5 (2007), Marco Island, USA.

**Schuler, X., Schütt, T., Wackenhut, G. und Hoffmann, M.:** Bruchmechanische Integritätsanalyse für Druckbehälter. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- & Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Schütt, T., Hoffmann, M., Schuler, X. und Stumpfrock, L.:** Bruchmechanische Untersuchungen zum Tragvermögen von Rohrleitungen mit Umfangrissen in Mischschweißnähten. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- & Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Schütt, T., Soppa, E. und Stumpfrock, L.:** Untersuchungen zur Entstehung fertigungsbedingter Fehlstellen in Mischschweißnähten. 33. MPA-Seminar „Werkstoff- & Bauteilverhalten in der Energie- & Anlagentechnik“ am 11. und 12. Oktober 2007 in Stuttgart.

**Seebich, H.-P.:** Mikromechanisch basierte Schädigungsmodelle zur Beschreibung des Versagensablauf ferritischer Bauteile. Techn.-wiss. Bericht MPA Stuttgart (2007), H. 07-01.

**Siddiq, A. and Schmauder, S.:** Modelling of Crystal Plasticity Effects on the Crack Initiation Energies of a Bi-Crystal Interface (Nb / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Computer Assisted Mechanics and Engineering Sciences 14 (2007), pp. 67-78.

**Siddiq, A., Schmauder, S. and Huang, Y.:** Fracture of Bicrystal Metal/Ceramic Interfaces: A Study via the Mechanism-Based Strain Gradient Crystal Plasticity Theory. Intern. Journ. of Plasticity 23 (2007), No. 4, pp. 665-689.

**Siebeck, M., Grassegger, G., Kollmann, H., Patitz, G., Walter, M. und Franz, W.:** Villa Merkel (1873) Untersuchungen und Restaurierungen einer reichverzierten Betonfassade. Tagungsband Natursteinsanierung Stuttgart 2007 „Neue Natursteinrestaurierungsergebnisse und messtechnische Erfassungen“, 16. März 2007 in Stuttgart, S. 95-122.

**Soppa; E. and Romanova, V.:** Three Dimensional Modeling of a Two-Phase Material on the Microscopic Level. Proceedings of the International Conference on Advances and Trends in Engineering Materials and their Applications, AES – ATEMA'2007, August 6-10 (2007) Montreal Canada.

**Taffe, A. und Gehlen, C.:** Anwendung der Zuverlässigkeitsanalyse auf Messungen mit zerstörungsfreien Prüfverfahren am Beispiel der Tunnelinnenschalenprüfung. Beton- und Stahlbetonbau 102 (2007), H. 12, S. 812-824.

**Volland, G.:** Feinstäube und andere Luftverunreinigungen in Innenräumen. 20. ALS-Kolloquium „Exposition und Schutz des Menschen vor Luftverunreinigungen“, 10. Oktober 2007 in Stuttgart, S. 51-57.

**Volland, G., Hansen, D. and Zöltzer, D.:** Dangerous Substances in Building Materials – Emissions from PCB Coated Ceiling Panels – Polychlorinated Biphenyls (PCB) in Indoor Air. In: Advances in Construction Materials 2007, pp. 691-696.

**Weber, U., Mohanta, A. and Schmauder, S.:** Numerical Determination of Parameterised Failure Curves for Ductile Structural Materials. Int. J. Mat. Res. 98 (2007), N. 11, pp. 1071-1080.

**Willand, E.:** Neue Europäische Normen für Brückenabdichtungsbahnen aus Bitumen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 981 (2007), S. 3-7.



