

# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

## **Beiträge zur 30. Vortragsveranstaltung**

**der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und  
der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe**

**am 30. November 2007  
im Stahl-Zentrum in Düsseldorf**

© 2007 Stahlinstitut VDEh  
Alle Rechte vorbehalten.



## Editorial

### 50 Jahre Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe

Die Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe, getragen vom Stahlinstitut VDEh und der Forschungsvereinigung für Verbrennungskraftmaschinen e.V. (FVV), feiert in diesem Jahr ihr 50jähriges Bestehen. Ausgewählte Ergebnisse ihrer Arbeit werden zu diesem Anlass in den Mittelpunkt der 30. Vortragsveranstaltung gestellt.

Bereits einige Jahre eher, im Jahre 1949, wurde auf Initiative der Kraftwerksbetreiber die **Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle** gegründet. Ziel war, zuverlässige Auslegungskennwerte für die in Kraftwerkskomponenten eingesetzten Werkstoffe zu gewinnen. Um das Verhalten der warmfesten Stähle unter hohen Temperaturen und äußeren Lasten zu gewinnen, begannen Stahlhersteller und Anwender umgehend mit Zeitstandversuchen mit Ziellaufzeiten von bis zu 100 000 h.

Bald darauf zeichnete sich Bedarf ab, auch für thermisch höher beanspruchte Bauteile – man visierte zunächst Temperaturen oberhalb 800 °C an – Langzeituntersuchungen durchzuführen. Auf Anregung der AG Warmfeste Stähle nahm am 31. Juli 1957 die **Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe** die Arbeit auf. Unter der Obmannschaft von Dr. phil. Gerhard Bandel vom Bochumer Verein holten die Stahlhersteller umgehend die Anwender mit an den Tisch und nahmen Zeitstandversuche zwischen 700 und 800 °C bei den Materialprüfanstalten auf. Anfangs standen hitzebeständige Stähle (Schmiede- und Gussvarianten), CoCr- und Nickelbasislegierungen auf dem Versuchsprogramm. Weitere Werkstoffe kamen hinzu, und der Temperaturbereich wurde auf 600 bis über 1000 °C erweitert.

Im Jahre 1966 nahmen zwei Projektgruppen die Arbeit auf, um die Arbeiten noch konzentrierter zu begleiten: die PG H1 „Hitzebeständige Stähle“ (Austenite) und die PG H2 „Hochwarmfeste Werkstoffe“ (Nickel- und Cobaltbasislegierungen). Ab 1975 untersuchte die Projektgruppe H3 den „Einfluss von Oberflächenschutzmaßnahmen auf das Zeitstandverhalten von hochwarmfesten Ni-Legierungen“. Werkstoffe für den Hochtemperaturreaktor waren Gegenstand gemeinschaftlicher Untersuchungen ab 1977. Langzeituntersuchungen an Schweißverbindungen runden das Gebiet ab; die Schweißzusatzwerkstoff-Hersteller beteiligen sich aktiv an den Arbeiten.

Die Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe ist heute unvermindert aktiv; die Arbeiten konzentrieren sich auf austenitische Stähle und Nickelbasislegierungen. Im Hinblick auf das 700-°C-Kraftwerk haben die Arbeiten aktuell an Bedeutung gewonnen. Auch bekannte Werkstoffe rücken dabei wieder in den Fokus – für besondere Fertigungsvarianten lassen die Langzeiteigenschaften bis 100.000 h eben nicht aus vorhandenen Daten extrapolieren.

In Zukunft werden die Ergebnisse der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe dem Klimaschutz zugute kommen: Für weitere Effizienzsteigerungen forscht die Kraftwerksindustrie nach neuen Stählen und Nickelbasiswerkstoffen, die auch bei Temperaturen bis 700 °C und mehr ein langfristig stabiles Verhalten zeigen.

Die Gemeinschaftsforschung in den Arbeitsgemeinschaften für warmfeste Stähle und für Hochtemperaturwerkstoffe, die innerhalb Europas ohnegleichen ist, wird daher wichtiger denn je.

**Stahlinstitut VDEh**  
**Dr. Ingo Steller**

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Zur Rolle der Mikrostruktur beim Kriechen von Chromstählen</b>	<b>5</b>
<i>On The Contribution of Carbides and Micro Grain Boundaries to the Creep Strength of Tempered Martensite Ferritic Steels – Beitrag aus Acta Materialia 55 (2007) Nr.2</i>	
<i>A. Kostka, Düsseldorf, K.-G. Tak, Bochum, R. J. Hellmig und Y. Estrin, Clausthal-Zellerfeld, G. Eggeler, Bochum</i>	
<b>50 Jahre AG Hochtemperaturwerkstoffe – Geschichte, Aufgaben und Ziele</b>	<b>19</b>
<i>C. Berger, A. Scholz, Darmstadt, M. Monsees, Baden, I. Steller, Düsseldorf, W. Hartnagel, Lindlar, G. Schwass, Mülheim, J. Schubert, Mannheim, J. Ewald, Mülheim, W. Rohde, Krefeld</i>	
<b>Vorteile der Gemeinschaftsarbeit</b>	<b>8 S.</b>
<i>I. Steller, Düsseldorf</i>	
<b>Beispiele zum Kriechverhalten von Nickellegierungen unter mehrachsiger Belastung</b>	<b>10 S.</b>
<i>F. Schubert und H.-J. Penkalla, Jülich</i>	
<b>Wärmedämmschichten in der Gasturbine</b>	<b>8 S.</b>
<i>W. Stamm, Mülheim/Ruhr, W. Drenckhahn, Erlangen</i>	
<b>Werkstoffe für Flugzeugturbinen</b>	<b>14 S.</b>
<i>E. Affeldt, München</i>	
<i>(Manuskript lag zur Drucklegung nicht vor)</i>	
<b>Gusswerkstoffe für die Petrochemie und den Industrieofenbau</b>	<b>xx</b>
<i>W. Hartnagel, Lindlar</i>	
<i>(Manuskript lag zur Drucklegung nicht vor)</i>	
<b>Qualifizierung von Hochleistungswerkstoffen für 700°C-Kraftwerke im Rahmen der COORETEC-Initiative</b>	<b>xx</b>
<i>K. Maile, A. Klenk und E. Roos, Stuttgart</i>	
<b>Nickellegierungen im Kraftwerksbau – Beitrag aus Stahl 2007 Nr. 4</b>	<b>4 S.</b>
<i>J. Klöwer, B. Gehrman, Werdohl</i>	
<b>Qualifizierung von Längsnahtschweißungen in warmfesten Rohren aus modernen 9-11%-Chromstählen</b>	<b>11 S.</b>
<i>H. Ruoff, H. Theofel, F. Kauffmann, A. Klenk und K. Maile, Stuttgart</i>	
<b>Kriech- und Schädigungsverhalten der Mischverbindung G911 gegen P91 bei 600°C</b>	<b>10 S.</b>
<i>J. Schubert, Mannheim</i>	
<b>25 Jahre Projektgruppe W14 – Bedeutung von Kriechrissversuchen für die Praxis</b>	<b>12 S.</b>
<i>J. Ewald, Mülheim/Ruhr, S. Sheng, Mülheim/Ruhr, E. Affeldt, München, J. Denk, Baden, M. Speicher, Stuttgart, F. Müller, Darmstadt</i>	
<b>Inelastische Berechnungen von kriechbeanspruchten Kesselbauteilen</b>	<b>14 S.</b>
<i>A. Klenk, K. Maile, K. Schmidt und M. Bauer, Stuttgart</i>	
<b>Hochtemperaturkorrosion von Nickelbasislegierungen unter mechanischer und thermozyklischer Beanspruchung</b>	<b>11 S.</b>
<i>R. Orosz, Düsseldorf, U. Krupp, Osnabrück, H.-J. Christ, Siegen</i>	



# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

## **Beiträge zur 31. Vortragsveranstaltung**

**der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und  
der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe**

**am 28. November 2008  
im Stahl-Zentrum in Düsseldorf**

© 2008 Stahlinstitut VDEh  
Alle Rechte vorbehalten.



## **Editorial**

### **Willkommen zur 31. Vortragsveranstaltung**

Warmfeste Werkstoffe für die Energietechnik und andere Anwendungen werden laufend weiterentwickelt, um sie für noch höhere Anwendungstemperaturen zu qualifizieren. Wichtige Erkenntnisse kommen aus den Arbeitsgemeinschaften für warmfeste Stähle und für Hochtemperaturwerkstoffe, in denen Stahlhersteller und -anwender gemeinsam Langzeitprüfungen an Grundwerkstoffen und Schweißverbindungen durchführen.

Auf der jährlichen Vortragsveranstaltung werden aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Praxis vorgestellt. Die Forschungsstellen berichten aus abgeschlossenen und laufenden Forschungsvorhaben, die in den Arbeitsgemeinschaften fachlich begleitet werden. Weitere Berichte kommen von den Mitgliedswerken selbst; sie zeigen, wie die Erkenntnisse aus den Langzeitprüfungen in die Praxis umgesetzt werden.

Schwerpunkte des diesjährigen Programms sind Modellierung und Lebensdauervorhersage. Die Themen kommen aus allen Bereichen der Kraftwerkstechnik und betreffen die Anwendung der numerischen Simulation, die Modellierung des Schädigungsverhaltens von Werkstoffen und der Lebensdauer von Kraftwerkskomponenten und die Modellierung des Gefüges neuer Werkstoffe. Unverzichtbar für die Werkstoffmodellierung sind Kriechgleichungen – vorgestellt wird eine neue Software, die dem Anwender die bisher aufwändige Erstellung eines geeigneten Modells aus den Versuchsdaten erheblich erleichtert. Nur auf den ersten Blick ungewöhnlich erscheint der Beitrag aus der Automobilindustrie – in den heutigen leistungsstarken Motoren kommen vermehrt warmfeste Werkstoffe zum Einsatz.

Die modernen Stähle für die heutige Kraftwerkstechnik werden natürlich auch direkt betrachtet: Werkstoffentwicklung, Werkstoffverhalten bei hohen Temperaturen, Korrosion und schweißtechnische Verarbeitung stehen im Fokus. Neben fortschrittlichen Stählen für heutige Kraftwerke werden auch die Kandidatenwerkstoffe für das 700-Grad-Kraftwerk betrachtet. Abgerundet wird diese Vortragsreihe mit einem Überblick über geeignete Werkstoffe für zukünftige Fusionsreaktoren.

Wie die Vorträge zeigen, wurden bei der Modellierung und Extrapolation von Langzeitdaten beachtliche Fortschritte erzielt. Allerdings kann das Werkstoffverhalten bei langen Betriebsdauern noch nicht vollständig vorausgesagt werden. Daher haben die Langzeitversuche in den Arbeitsgemeinschaften auch weiterhin ihre Berechtigung – die Erkenntnisse aus Modellierung und Langzeitprüfungen ergänzen einander optimal. Dies ist die Grundlage für den Einsatz dieser Werkstoffe in den hoch effizienten Kraftwerken der nächsten Generation.

***Stahlinstitut VDEh***  
***Dr. Ingo Steller***

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Modellierung, Lebensdauervorhersage</b>	
<b>Auslegung von Kraftwerkskomponenten mit numerischer Simulation</b> <i>R. Mohrmann, Essen</i>	5
<b>Kriechschädigungsentwicklung in 9-11%-Cr-Stählen</b> <i>K. Maile und R. Scheck, Stuttgart, P. Seliger und A. Reuter, Dresden</i>	15
<b>Lebensdauermodelle für den fortschrittlichen Stahl P23</b> <i>Ph. von Hartrott, Freiburg, S. Holmström, Espoo/Finnland</i>	27
<b>Numerische Zeitstandanalyse einer Kraftwerkskomponente mit einem Kriechschädigungs-Werkstoffmodell</b> <i>Y. Kostenko, Mülheim, K. Naumenko, Halle</i>	37
<b>An Interactive Application for the Assessment of Creep Equations</b> Interaktives Anwenderprogramm zur Erstellung von Kriechgleichungen <i>A. Fehér, S. Linn, M. Schwienheer, A. Scholz und C. Berger, Darmstadt</i>	47
<b>Quantitative Gefügeanalyse von 9-12%-Cr-Stählen mittels AFM, REM und TEM</b> <i>K. Durst, Erlangen</i>	57
<b>Rechnerische Methoden zur Lebensdauervorhersage von gegossenen Hochtemperaturbauteilen</b> <i>T. Seifert und H. Riedel, Freiburg</i>	67
<b>Extrapolationsmethoden der Zeitstandfestigkeit – Bericht aus der Projektgruppe W13</b> <i>M. Schwienheer, A. Scholz, Y. Wang und S. Linn, Darmstadt, K.-H. Mayer, Schwarzenbruck</i>	77
<b>Stähle für Kraftwerke von morgen</b>	
<b>Werkstoffentwicklung auf Basis der 8- bis 10%-Cr-Stähle für die Fusions-technologie</b> <i>E. Materna-Morris, R. Lindau und A. Möslang, Karlsruhe</i>	85
<b>Werkstoffmodellierung mit MatCalc und Anwendung für die Entwicklung eines neuen Stahls mit verbesserten Kriech- und Schweiß Eigenschaften</b> <i>B. Sonderegger, I. Holzer und P. Mayr, Graz/Österreich</i>	95
<b>Schweißverbindung an 11%-Cr-Stahl</b> <i>M. Bauer, A. Klenk, E. Roos und K. Maile, Stuttgart</i>	105
<b>Aspects of Fireside Corrosion as Relevant for the 700 °C Technology</b> Aspekte feuerseitiger Korrosion beim 700-Grad-Kraftwerk <i>M. Spiegel, Duisburg</i>	119
<b>Nickelbasislegierungen</b>	
<b>Untersuchung des Hochtemperaturrissverhaltens an den Nickelbasislegierungen Inconel 706, Inconel 718 und IN-738LC</b> <i>F. Müller und A. Scholz, Darmstadt, M. Speicher und A. Klenk, Stuttgart, E. Affeldt, München</i>	127
<b>Rissempfindlichkeit von Alloy 617 für Rohrleitungen</b> <i>K. Maile, A. Klenk und M. Speicher, Stuttgart</i>	139



# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

## **Beiträge zur 32. Vortragsveranstaltung**

**der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und  
der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe**

**am 27. November 2009  
im Stahl-Zentrum in Düsseldorf**



© 2009 Stahlinstitut VDEh  
Alle Rechte vorbehalten.

## Willkommen zur 32. Vortragsveranstaltung !

Die diesjährige Vortragsveranstaltung beider Arbeitsgemeinschaften findet unter wirtschaftlich schwierigen Rahmenbedingungen statt: Aufgrund der Wirtschaftskrise fehlt auch den Unternehmen der Energiebranche so mancher Anschlussauftrag. Trotz Krise – die Weltbevölkerung wird wohl weiter wachsen, genau wie die Ansprüche des Einzelnen an eine bessere Lebensqualität. Dies erfordert letztlich auch mehr Energie. Je effizienter diese erzeugt werden kann – d.h. einerseits Ressourcenschonung, andererseits je weniger CO<sub>2</sub> bei ihrer Erzeugung freigesetzt wird – umso weniger wird das globale Klima beeinträchtigt. Forschung und Entwicklung helfen, neue Lösungswege aufzuzeigen, nicht zuletzt durch die Arbeit in den Arbeitsgemeinschaften.

Die Beiträge dieser Vortragsveranstaltung zeigen schlaglichtartig neue Erkenntnisse in der Werkstoffforschung für zukünftige, noch effizientere Kraftwerkstechnologien.

Ein Themenschwerpunkt sind **Werkstoffe für 700°C-Kraftwerke**. Dargestellt werden Zwischenergebnisse aus einem größeren, noch laufenden Forschungsprogramm, das sich mit martensitischen Stählen und Nickelbasiswerkstoffen befasst. Zwei weitere Beiträge befassen sich mit **Werkstoffen für Gasturbinen**. Hier geht es nicht allein um Gasturbinenwerkstoffe, sondern auch um Beschichtungen für Laufschaufeln und keramische Werkstoffe für die Brennkammerauskleidung.

Die **Lebensdauervorhersage von Kraftwerksbauteilen** hat in den vergangenen Jahren große Fortschritte gemacht und gestattet die optimale Ausnutzung der eingesetzten Werkstoffe und Bauteile. Auch die Prüftechnik kann hier einen entscheidenden Beitrag liefern – dargestellt am Beispiel eines neuen zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweißnähte. Zur Lebensdauervorhersage wird vor allem die systematische Untersuchung der Langzeiteigenschaften im Zeitstandversuch eingesetzt – der nun die Ergebnisse eines Miniatur-Prüfverfahrens gegenüber gestellt werden.

Der Zeitstandversuch allein kann nicht alle Einflussgrößen erfassen – die Bauteile im Kraftwerk werden komplexen Beanspruchungen ausgesetzt. Die thermo-mechanische Modellierung der Bauteile kommt der Realität wesentlich näher. Eine weitere, wichtige Vorbedingung zur besseren Werkstoffausnutzung ist eine eingehende Streubandanalyse. Noch leistungsfähigere Rechner eröffnen neue Perspektiven, die mit Hilfe synthetischer neuronaler Netze den Einfluss bestimmter Größen auf die Langzeiteigenschaften berechnen können.

**Stähle für 600°C-Kraftwerke** sind die „Arbeitspferde“ der heutigen Kraftwerkstechnik. Anhand dreier Beiträge werden besondere Eigenschaften von Stählen mit sehr unterschiedlicher Zusammensetzung dargestellt.

Abgerundet wird das Programm durch eine anschauliche Darstellung der Fertigung größter Dampfturbinengehäuse aus Stahlguss und die Vorstellung neu entwickelter Stähle für die Hochtemperatur-Brennstoffzelle. Diese Stähle haben auch Potenzial für die konventionelle Kraftwerkstechnik.

Die Beiträge sind ein Signal: Forschung und Entwicklung in den Unternehmen und in den Hochschulinstituten laufen unvermindert weiter – gerade in schwierigen Zeiten liefert Forschung einen Beitrag zur Standortsicherung. Die Gemeinschaftsarbeit in den Arbeitsgemeinschaften ist heute wichtiger denn je.

**Stahlinstitut VDEh**  
**Dr. Ingo Steller**

**Inhaltsverzeichnis**

	Seite
<b>Werkstoffe für 700 °C-Kraftwerke</b>	
<b>MARCKO 700 – Untersuchung von Werkstoffen für das 700°C-Kraftwerk</b>	<b>5</b>
<i>R.-U. Husemann, Duisburg, K. Schmidt, A. Klenk, K. Maile und E. Roos, Stuttgart</i>	
<b>Einfluss metallischer Oxidationsschutzschichten auf das Schädigungs- und Lebensdauerverhalten von Alloy 247 DS bei TMF- und Biegebeanspruchungen</b>	<b>23</b>
<i>T. Beck, O. Trunova und L. Singheiser, Jülich</i>	
<b>Zum Einfluss von ZrO<sub>2</sub> als Verstärkungsphase auf die Eigenschaften von MoSi<sub>2</sub></b>	<b>33</b>
<i>J. T. Bauer, A. Scholz, C. Berger und L. Weiler, Darmstadt, M. Achtermann, Nürnberg</i>	
<b>Prüfung, Lebensdauervorhersage</b>	
<b>Lebensdauerermittlung an Schweißnähten mit Hilfe der UT-Laminographie</b>	<b>43</b>
<i>M. Siegel, Mülheim, K. Puchner und K. G. Schmitt-Thomas, München</i>	
<b>Applicability of the Small Punch Testing Technique for the Determination of Mechanical Properties of High Temperature Materials</b>	<b>51</b>
<b>Anwendungsmöglichkeiten der Small-Punch-Versuchstechnik zur Bestimmung mechanischer Eigenschaften von Hochtemperaturwerkstoffen</b>	
<i>G. Merckling, M. Jago und D. Rapillo, Cormano/Italien</i>	
<b>Modellierung, Lebensdauervorhersage</b>	
<b>Entwicklung von Modellen zur Lebensdauervorhersage von Kraftwerksbauteilen unter thermisch-mechanischer Kriechermüdigungsbeanspruchung</b>	<b>63</b>
<i>P. von Hartrott und H. Riedel, Freiburg, L. Cui, A. Scholz und C. Berger, Darmstadt</i>	
<b>Streubandauswertung mit der Methode der neuronalen Netze</b>	<b>73</b>
<i>S. Linn, A. Scholz und C. Berger, Darmstadt, O. Lüsebrink, Mülheim</i>	
<b>Stähle für 600°C-Kraftwerke</b>	
<b>Neuauswertung des Langzeitrelaxationsverhaltens von 1%- und 12%CrMoV-Schraubenstählen im Temperaturgebiet 350 – 600 °C</b>	<b>85</b>
<i>J. Schubert, Mannheim</i>	
<b>Zeitstandbruchverformungsverhalten der neuen 9- bis 11%Cr-Stähle</b>	<b>99</b>
<i>K.-H. Mayer, Schwarzenbruck, W. Bendick, Duisburg, T.-U. Kern, Mülheim</i>	
<b>Kriech- und Schädigungsverhalten von bauteilähnlichen Hohlzylinderproben aus VM12 unter Innendruck und axialer Last</b>	<b>109</b>
<i>P. Seliger, H. Zipser, Dresden, R. K. Krishnasamy, Freiburg</i>	
<b>Die größte Dampfturbine der Welt – Megakomponenten aus Stahlguss für die Energietechnik</b>	<b>121</b>
<i>R. Hanus und H. Schwarz, Linz/Österreich</i>	
<b>Werkstoffe für neue Energieträger</b>	
<b>Entwicklung ferritischer Werkstoffe für die Anwendung in Hochtemperatur-Energiesystemen</b>	<b>131</b>
<i>B. Kuhn, L. Niewolak, W.-J. Quadackers, T. Beck und L. Singheiser, Jülich</i>	

**Titelbild:**  
Mitteldruckteilturbine des ultrasuperkritischen Dampfkraftwerkes Neurath, Leistung 1100 MW  
(Alstom)

# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

## **Beiträge zur 33. Vortragsveranstaltung**

**der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und  
der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe**

**am 26. November 2010  
im Stahl-Zentrum in Düsseldorf**



© 2010 Stahlinstitut VDEh  
Alle Rechte vorbehalten.

## Willkommen zur 33. Vortragsveranstaltung !

Die diesjährige Vortragsveranstaltung beider Arbeitsgemeinschaften steht wieder unter besseren wirtschaftlichen Rahmenbedingungen. Die Aufträge liegen insgesamt wieder auf zufrieden stellendem Niveau. Geschmälert wird der Optimismus allerdings dadurch, dass verschiedene Projekte für fossil befeuerte Kraftwerke aktuell nicht realisiert werden können. Es ist unbestritten, dass fossil befeuerte Kraftwerke natürlich nur einen Teil des Energiemix darstellen, und dass der Anteil erneuerbarer Energien weiter steigen muss. Doch geht es um Effizienzsteigerung und Ressourcenschonung, wenn veraltete Kraftwerke mit höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen ersetzt werden können.

Gute Argumente dafür liefern die Beiträge dieser Vortragsveranstaltung. Sie zeigen ausgewählte, neue Ergebnisse aus Werkstoffforschung und Praxis, die in zukünftigen Kraftwerken mit noch höherem Wirkungsgrad Anwendung finden können.

Ein Themenschwerpunkt sind **ferritische und martensitische Stähle**. Die Gefügeentwicklung im Laufe einer langzeitigen Belastung steht im Mittelpunkt zweier Vorträge. Ein Beitrag berichtet über einen neu entwickelten Rotorstahl, der im Rahmen der Arbeitsgemeinschaften qualifiziert wurde. Ein weiterer Beitrag stellt die Prüfung der Korrosion von Kesselstählen im Labor unter praxisnahen Bedingungen dar. Abgerundet wird das Programm durch einen „Blick über den Tellerrand“ zu pulvermetallurgischen Werkstoffen für Kernfusion und Reaktortechnik.

Wie aus der Vielzahl von Einflussgrößen auf das Zeitstandbruchverhalten von 9%Cr-Stählen die Wirkung einzelner Größen betrachtet werden kann, zeigt ein Beitrag zum **Data Mining** mittels Neuronaler Netze.

**Modellierung und Lebensdauervorhersage von Kraftwerksbauteilen** helfen beim Verständnis der Werkstoffreaktion auf komplexe Beanspruchungen, die nur sehr aufwändig im Labor abgebildet werden können. Sie helfen bei der Anpassung von Auslegungsregeln, um die Werkstoffe optimal auszunutzen. Ein Beitrag befasst sich mit statischen und zyklischen Prüfungen und daraus abgeleiteten Modellen für Gasturbinenwerkstoffe. Die Modellierung des Kriechermüdungsverhaltens eines martensitischen Stahls steht im Mittelpunkt eines Berichts aus einem gerade abgeschlossenen Forschungsvorhaben. Der oben genannte „Blick über den Tellerrand“ betrifft hier die TMF-Lebensdauerberechnung von Bauteilen für thermische Solarreceiver – einem neuen Kraftwerkstyp, der einer besonders hohen zyklischen Beanspruchung unterworfen ist.

Drei Beiträge befassen sich mit **hochwarmfesten Nickelbasiswerkstoffen**. Eine grundlegende Untersuchung an Alloy 617 (NiCr23Co12Mo), einem vielversprechenden Kandidatwerkstoff für das 700-Grad-Kraftwerk, betrachtet Grundwerkstoff und Schweißverbindungen. Zwei Beiträge betrachten gerichtet erstarrte Gasturbinenwerkstoffe, um diese künftig noch höher auszunutzen.

**Fazit:** Werkstoffe für effizientere Kraftwerke stehen heute zur Verfügung, qualifiziert in beiden Arbeitsgemeinschaften und abgesichert durch Forschungsergebnisse.

**Stahlinstitut VDEh**  
**Dr. Ingo Steller**

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b><i>Ferritische und martensitische Stähle</i></b>	
<b>12%-Chromstähle – Jüngste Ergebnisse zur Langzeit-Gefügeentwicklung</b>	--
<i>M. Subanovic und R. Kirchheiner, Düsseldorf, F. Mendez Martin, Graz (A)</i>	
<i>(Manuskript lag zur Drucklegung nicht vor)</i>	
<b>Untersuchungsergebnisse zum Rotorstahl 22CrNiMo9-9</b>	5
<i>H. Bartsch, Baden (CH), N. Blaes, Völklingen</i>	
<b>Delta Ferrite in 9-12 % Cr Steels</b>	15
<i>J. Hald und H.K. Danielsen, Lyngby (DK)</i>	
<b>Ergänzende Prüfung von Werkstoffen für Kraftwerksapplikationen durch Versuche unter prozessnahen Prüfbedingungen</b>	25
<i>T. Neddemeyer, J. Olbricht, A. Kranzmann, H. Klingelhöffer und B. Skrotzki, Berlin</i>	
<b>Entwicklung und Eigenschaften von 9-14%Cr-ODS-Stählen für Anwendungen in der Kernfusion und Reaktortechnik</b>	35
<i>R. Lindau, E. Materna-Morris, M. Klimenkov und A. Möslang, Karlsruhe</i>	
<b>Representation of the heat specific creep rupture behavior of 9%Cr steels using neural networks</b>	45
<i>O. Frolova und K. Maile, Stuttgart, W. Müller, Freiberg</i>	
<b><i>Modellierung, Lebensdauervorhersage</i></b>	
<b>Lebensdauerkonzepte und bruchmechanische Bewertung für Hochtemperatur-Dampfturbinen bis 720°C</b>	55
<i>N. Lückemeyer, H. Kirchner und T.-U. Kern, Mülheim/Ruhr, M. Reigl, Baden (CH), A. Klenk und T. Klein, Stuttgart, M. Schwienheer, L. Cui, A. Scholz und C. Berger, Darmstadt</i>	
<b>Fortschrittliche Methoden zur Parameteridentifizierung und sequentiellen Extrapolation zur Anwendung bei konstitutiven Materialmodellen für Kriech- und Kriechermüdungsbeanspruchung</b>	69
<i>P. Wang, M. Lyschik, A. Scholz und C. Berger, Darmstadt</i>	
<b>TMF-Lebensdauerberechnung von Komponenten für thermische Solarreceiver</b>	77
<i>P. von Hartrott und M. Schlesinger, Freiburg, R. Uhlig und J. Jedamski, Stuttgart</i>	
<b><i>Jubiläumsbeitrag</i></b>	
<b>Im Wandel der Zeiten – 50 Jahre Fachausschuss „Warmfeste Werkstoffe“ – Rückschau und Ausblick</b>	85
<i>P. Seliger, Dresden</i>	
<b><i>Hochtemperaturwerkstoffe</i></b>	
<b>Neuauswertung des Zeitstandverhaltens von lösungsgeglühtem Alloy 617 samt seiner Schweißverbindungen im Temperaturbereich 550 – 1000°C</b>	91
<i>J. Schubert, Mannheim</i>	
<b>Kriechermüdrissverhalten der konventionell und gerichtet erstarrten Nickelbasis-Gusslegierung MAR-M 247</b>	107
<i>J.-M. Rudnig, F. Müller, A. Scholz und C. Berger, Darmstadt, A. Klenk und M. Speicher, Stuttgart, E. Affeldt, München</i>	
<b>Robuste Modelle zur verbesserten Werkstoffausnutzung für aktuelle Turbinenschaufelwerkstoffe (RoMoTurb)</b>	117
<i>B. Buchholz und O. Lüsebrink, Mülheim, A. Scholz und Y. Wang, Darmstadt</i>	

**Titelbild:**  
Gasturbine bei der Prüfung, Wirkungsgrad 57,7 % im kombinierten GuD-Betrieb  
(Siemens Energy)

34. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle  
und der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe

# Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe

25. November 2011 in Düsseldorf



# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

## **Beiträge zur 34. Vortragsveranstaltung**

**der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und  
der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe**

**am 25. November 2011  
im Stahl-Zentrum in Düsseldorf**



© 2011 Stahlinstitut VDEh  
Alle Rechte vorbehalten.

## **Willkommen zur 34. Vortragsveranstaltung !**

Die 34. Vortragsveranstaltung widmet sich turnusgemäß den Hochtemperaturwerkstoffen. Die 700-Grad-Technologie bleibt ein Schlüssel zum Erreichen noch höherer Wirkungsgrade fossil befeuerter Kraftwerke. Das Werkstoff- und Bauteilverhalten wird weiterhin intensiv untersucht. Natürlich bleiben die ferritisch-martensitischen Stähle im Fokus des Interesses, auch wenn sie bei dieser Veranstaltung „nur“ durch einen Vortrag zu einem neuen borlegierten Stahl repräsentiert werden.

Neue oder verbesserte Legierungskonzepte für austenitische Stähle und Nickelbasis-Legierungen und deren Langzeiteigenschaften sind ein Gegenstand der Betrachtungen. Metallurgische Aspekte wie der Einfluss von Bor werden dabei näher betrachtet.

Für die Verarbeitung von großer Bedeutung ist die Reaktion der Werkstoffe auf eine Kaltverformung, wie sie beim Biegen von Kesselrohren auftritt. Die schweißtechnische Verarbeitung ist von hoher Bedeutung und wird nach wie vor intensiv in den deutschen Arbeitsgemeinschaften untersucht. Ein Ergebnis sind abgesicherte Schweißminderungsfaktoren, die für den Konstrukteur von besonderem Interesse sind. Verbundene Phänomene wie das Strain Age Cracking werden hier betrachtet.

Die zyklische Fahrweise der heutigen Kraftwerke nimmt immer weiter zu. Dies führt zu hohen, komplexen Beanspruchungen der eingesetzten Bauteile. Zur Beschreibung des Werkstoff- und Bauteilverhalten genügt nicht mehr allein die Betrachtung der Ermüdungs- und Kriechermüdungsbeanspruchung, die in den vergangenen Jahrzehnten intensiv untersucht wurde, sondern sie muss um thermomechanische Beanspruchung erweitert werden. Die Ergebnisse entsprechender Forschungsvorhaben werden vorgestellt. Im Hinblick auf die Schädigungsentwicklung wird der Einfluss von Fehlstellen näher betrachtet.

Abgerundet wird das Veranstaltungsprogramm durch einen historischen Beitrag zur erfolgreichen Arbeit der Projektgruppen W9 und W10, die sich nunmehr seit rund vier Jahrzehnten der Lebensdauer unter veränderlicher Beanspruchung verschrieben haben. Die Ergebnisse haben hohe Relevanz für die industrielle Praxis.

An dieser Stelle soll einmal auf die besondere Bedeutung der Arbeit in den deutschen Arbeitsgemeinschaften hingewiesen werden. Hier arbeiten Werkstoffhersteller, -verarbeiter, Energiemaschinenhersteller und Energieversorger eng zusammen. Dies hat sich in den vergangenen sechs Jahrzehnten bewährt und findet auch im Ausland hohe Anerkennung. Die Langzeitprüfungen und Auswertungen an neuen Werkstoffen werden natürlich fortgesetzt.

Auch die aktuell eingesetzten Kraftwerkswerkstoffe werden weiter intensiv untersucht. Nur durch vertrauensvolle Gemeinschaftsarbeit unter Einbeziehung aller Beteiligten können beispielsweise die besonderen Anforderungen bei der Verarbeitung dieser Werkstoffe zur Zufriedenheit aller gelöst werden.

In diesem Sinne wünsche ich den Arbeitsgemeinschaften auch in Zukunft eine enge Verzahnung von Forschung und Praxis und eine weitere erfolgreiche Tätigkeit.

**Stahlinstitut VDEh**  
**Dr. Ingo Steller**

## Inhaltsverzeichnis

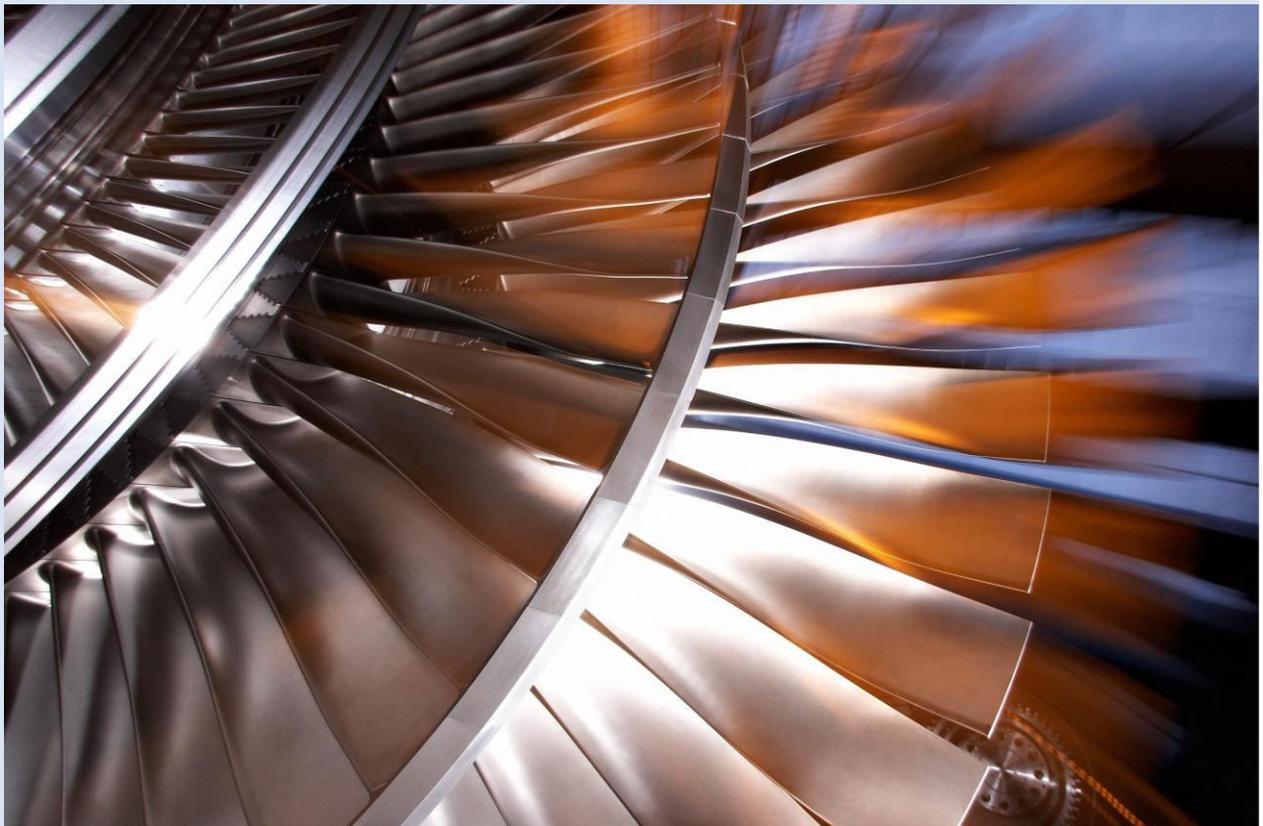
	Seite
<b>Hochtemperaturwerkstoffe</b>	
<b>Vallourec &amp; Mannesmann Activities on Ni-base Materials for Advanced Ultra Super Critical Power Plant Application</b>	<b>5</b>
<i>V. Knezevic, A. Schneider, B. Koschlig und H. Bröker, Düsseldorf</i>	
<b>Zulässige Kaltverformungsgrade zeitstandbeanspruchter Bauteile aus austenitischen Stählen und Nickellegierungen</b>	<b>16</b>
<i>F. Müller, A. Scholz und M. Oechsner, Darmstadt</i>	
<b>Bewertung des Zeitstandverhaltens von gleichartigen Schweißverbindungen des Stahls Alloy 800 im Temperaturgebiet 550 – 1000°C in verschiedenen Ausgangszuständen und mit unterschiedlichen Schweißzusätzen</b>	<b>26</b>
<i>J. Schubert, Mannheim</i>	
<b>Beurteilung des Stress-Relaxation / Strain-Age-Cracking-Verhaltens von Alloy 617B und dessen Schweißverbindungen</b>	<b>42</b>
<i>B. Kuhn, T. Beck und L. Singheiser, Jülich, C. Ullrich, Gelsenkirchen</i>	
<b>Der Einfluss von Bor in Alloy 617</b>	<b>54</b>
<i>M. Spiegel, Duisburg, M. Bader, Gelsenkirchen, K.H. Tak, Duisburg, J. Klöwer, Werdohl, H. Tschaffon, Gelsenkirchen, U. Zeislmair, Düsseldorf</i>	
<b>Investigation on the stress rupture properties of the forged alloy ATI 718Plus</b>	<b>63</b>
<i>Untersuchung der Zeitstandeigenschaften der geschmiedeten Legierung ATI 718Plus</i> <i>M. Fried, München</i>	
<b>Zyklisierung, Schädigungsentwicklung</b>	
<b>Advanced Approach for Fatigue Life Prediction of Power Plant Components Designed with a New Rank of High Strength Steels</b>	<b>71</b>
<i>A. diGianfrancesco, Rom (Italien) u.a. (Manuskript lag zur Drucklegung nicht vor)</i>	
<b>Verformungs- / Schädigungsentwicklung an massiven heißgängigen Kraftwerkskomponenten bei schnellen Anfahrvorgängen</b>	<b>73</b>
<i>M. Lyschik, A. Scholz, M. Oechsner und C. Berger, Darmstadt</i>	
<b>Rechnerische Beschreibung der Verformung und Schädigung von Werkstoffen für Hochtemperatur-Dampfturbinen bis 720 °C</b>	<b>83</b>
<i>M. Schwienheer, A. Scholz und C. Berger, Darmstadt, C. Feuillette und T. Klein, Stuttgart, P. von Hartrott und M. Schlesinger, Freiburg, T.-U. Kern, Mülheim</i>	
<b>Bewertung von Bauteilen mit Fehlstellen in Abhängigkeit vom Kriechverformungsvermögen</b>	<b>99</b>
<i>T. Mao, F. Müller, A. Scholz, M. Oechsner und C. Berger, Darmstadt, S. Sheng, Mülheim, A. Hobt, A. Klenk und E. Roos, Stuttgart</i>	
<b>Jubiläumsbeitrag</b>	
<b>Hochtemperaturverhalten unter veränderlicher Beanspruchung – Projektgruppen W9 und W10</b>	<b>113</b>
<i>M. Reigl, Baden/Schweiz, T.-U. Kern, Mülheim, A. Scholz, Darmstadt, I. Steller, Düsseldorf</i>	
<b>Ferritisch/martensitische Stähle</b>	
<b>Herstellung, Verarbeitung und Eigenschaften eines borlegierten 9%Cr-Stahls für Hochtemperaturanwendungen in hocheffizienten thermischen Kraftwerken der Zukunft</b>	<b>135</b>
<i>P. Mayr, Chemnitz, C. Schlacher, Graz/Österreich</i>	

**Titelbild:**  
Pilgerwalzwerk  
(Vallourec & Mannesmann Tubes, V&M Deutschland GmbH, Düsseldorf)

35. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle  
und der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe

# Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe

30. November 2012 in Düsseldorf



# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

## **Beiträge zur 35. Vortragsveranstaltung**

**der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und  
der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe**

**am 30. November 2012  
im Stahl-Zentrum in Düsseldorf**



© 2012 Stahlinstitut VDEh  
Alle Rechte vorbehalten.

## **Willkommen zur 35. Vortragsveranstaltung!**

Im Fokus dieser 35. Vortragsveranstaltung der Forschungsvereinigungen Warmfeste Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe stehen wieder die aktuellen Ergebnisse aus Anwendung und Forschung zum Langzeitverhalten von sowohl Grundwerkstoffen als auch Schweißverbindungen. Experimentelle wie auch modellmäßige Betrachtungen des Werkstoffverhaltens von Stählen, Nickelbasislegierungen und Gusswerkstoffen werden heute präsentiert.

Da die Thematik des Werkstoff-Langzeitverhaltens für Werkstoffhersteller und Werkstoffanwender gleichermaßen von höchster Bedeutung ist, fördern die in den Forschungsvereinigungen organisierten Arbeitsgemeinschaften seit über sechs Jahrzehnten eine erfolgreiche Zusammenarbeit dieser beiden Gruppen. Die in der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle tätige Projektgruppe W14 „Kriechrisverhalten“ feiert dieses Jahr ihr 30jähriges Bestehen und wird Ihnen einen Überblick über ihre Aktivitäten geben.

Zum Zweck der Qualifizierung von warmfesten ferritischen und martensitischen Stählen für hoch effiziente Kraftwerke sowie von hitzebeständigen austenitischen Stählen und Nickelbasislegierungen für Kraftwerke und Chemieanlagen werden von den Arbeitsgemeinschaften initiierte Langzeitversuche bei Materialprüfanstalten durchgeführt. Hierbei wird das Verhalten mit Dauern bis über 100.000 h im Temperaturbereich von 450 °C bis 1200 °C untersucht. Die aufgesetzten Versuchsprogramme umfassen in erster Linie Zeitstandversuche mit Dehnungsmessung, es werden aber auch Ermüdungs-, Relaxations- und Rissfortschrittsversuche durchgeführt und ausgewertet. Die fachliche Begleitung von öffentlich geförderten Forschungsprojekten ist ebenfalls ein wesentlicher Teil der Tätigkeit der Arbeitsgemeinschaften.

Die in diesen Projekten beteiligten Institute berichten auf der diesjährigen Vortragsveranstaltung aus abgeschlossenen sowie noch laufenden Forschungsvorhaben. Weitere Vorträge kommen selbstverständlich auch von den Unternehmen der Industrie selbst, wodurch die Überführung der in den Arbeitsgemeinschaften erzielten Erkenntnisse in die Praxis deutlich wird.

Wir freuen uns, Sie bei dieser Vortragsveranstaltung zu einer intensiven Auseinandersetzung und einem regen Austausch begrüßen zu dürfen. Des Weiteren soll Ihnen die Lektüre dieses Tagungsbandes ermöglichen, die bei den Vorträgen präsentierten Ergebnisse auch im Anschluss an diese Veranstaltung für Ihre Zwecke zu verwenden.

**Stahlinstitut VDEh**  
**Christoph Keul**

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<p><b>Praxisnahe Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet Kriechriss- und Kriechermüdungsrissbeschreibung</b></p> <p><i>S. Sheng, J. Ewald, A. Hobt, F. Müller, E. Affeldt</i></p>	5
<p><b>Zeitstandverhalten von modernen martensitischen Stahlguss-Schweißverbindungen im Temperaturgebiet 550-650°C</b></p> <p><i>J. Schubert, G. Schwass</i></p>	22
<p><b>Entwicklung eines warmfesten Gusseisenwerkstoffes mit Kugelgraphit für dickwandige Gussstücke bei höchsten Anwendungstemperaturen <math>\geq 500</math> °C</b></p> <p><i>M. Oechsner, S. Michel, A. Scholz, B. Tonn, L. Dekker</i></p>	39
<p><b>Untersuchungen zur Ermittlung der Zeitstandfestigkeit mit Hilfe der LICON-Methode am Beispiel eines 1 %-Chrom-Schmiedewerkstoffes</b></p> <p><i>M. Speicher, A. Hobt, A. Klenk, K. Maile</i></p>	51
<p><b>Untersuchungen zur Spannungsrisskorrosion im Schweißnahtbereich des Werkstoffs T24</b></p> <p><i>C. Ullrich, W. Tillmann, T. Bodmer, H.-G. Rademacher</i></p>	59
<p><b>Alloy 617 im Schleuderguss – Untersuchungen zum mechanischen Verhalten verschiedener Modifikationen</b></p> <p><i>W. Hartnagel, G.-W. Overbeck</i></p>	81
<p><b>Modellierung des Kriechverhaltens hitzebeständiger Legierungen und Anwendung in der Lebensdauerbewertung von Bauteilen im Industrieofenbau</b></p> <p><i>S. Schmitt, A. Scholz, S. Linn, M. Oechsner, C. Berger, H. Hattendorf, W. Hartnagel, J. Sundermann, G. Eckertsberger, B. Schönhuber</i></p>	92
<p><b>Chromverlust und Verhalten der Karbide bei der Oxidation von karbidgehärteten Ni-Hochtemperaturlegierungen</b></p> <p><i>H. Ackermann, R. Pillai, S. Richter</i></p>	104
<p><b>Beispiele zur Bewertung von Streuungen mechanischer Hochtemperatüreigenschaften</b></p> <p><i>S. Linn, F. Boehm, S. Michelfeit, A. Scholz, M. Oechsner</i></p>	114

**Titelbild:**  
Gasturbinenschaufel  
(Alstom Power Systems Turbomachines Group - Birr, Switzerland)

36. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaften für warmfeste Stähle  
und Hochtemperaturwerkstoffe

# Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe

22. November 2013 in Düsseldorf



FVW/FVHT

# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

## **Beiträge zur 36. Vortragsveranstaltung**

**der Arbeitsgemeinschaften für warmfeste Stähle und  
Hochtemperaturwerkstoffe**

**am 22. November 2013  
im Stahl-Zentrum in Düsseldorf**



© 2013 Stahlinstitut VDEh  
Alle Rechte vorbehalten.

**Titelbild: E.ON**

## **Willkommen zur 36. Vortragsveranstaltung!**

Im Fokus dieser 36. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaften für Warmfeste Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe stehen wieder die aktuellen Ergebnisse aus Anwendung und Forschung zum Langzeitverhalten von Grundwerkstoffen und Schweißverbindungen.

Da die Thematik des Werkstoffverhaltens im erhöhten Temperaturbereich (450 °C bis 1200 °C) für Werkstoffhersteller und Werkstoffanwender gleichermaßen von höchster Relevanz ist, arbeiten Unternehmen dieser beiden Gruppen in den Arbeitsgemeinschaften in Zusammenarbeit mit universitären Materialprüfanstalten seit über sechs Jahrzehnten erfolgreich an der weiteren Werkstoffentwicklung und Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung. Zum Zweck der Qualifizierung von Werkstoffen für hoch effiziente Kraftwerke werden dabei in erster Linie Zeitstandversuche aber auch Ermüdungs-, Relaxations- und Rissfortschrittsversuche durchgeführt und ausgewertet sowie Forschungsprogramme initiiert und begleitet.

In diesem Jahr stehen auf der Vortragsveranstaltung zum einen Werkstoffneuentwicklungen von ferritischen und austenitischen Stählen im Fokus, zum anderen werden Weiterentwicklungen und Anwendungen von bereits bestehenden Werkstoffkonzepten thematisiert. Die Darstellungen von experimentellen und modellhaften Charakterisierungen ermöglichen ein besseres Verständnis für den geplanten Einsatzbereich der Werkstoffe. Untersuchungen zu Fügeverfahren und Einsatzbeispiele von Hochtemperaturwerkstoffen runden das diesjährige Vortragsprogramm ab.

Unternehmensvertreter werden Ihnen in ihren Vorträgen die Überführung der in den Arbeitsgemeinschaften erzielten Erkenntnisse in die industrielle Praxis verdeutlichen, wissenschaftliche Institute werden Ihnen die aktuellsten Ergebnisse aus abgeschlossenen sowie noch laufenden Forschungsvorhaben präsentieren.

Wir freuen uns, Sie bei dieser Vortragsveranstaltung zu einer intensiven Auseinandersetzung und einem regen Austausch begrüßen zu dürfen. Des Weiteren soll Ihnen die Lektüre dieses Tagungsbandes ermöglichen, die bei den Vorträgen präsentierten Ergebnisse auch im Anschluss an diese Veranstaltung für Ihre Zwecke zu verwenden.

***Stahlinstitut VDEh  
Dr. Christoph Keul***

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Untersuchungen zur Rissbildung an T24</b>	5
<i>K. Maile, J. Böse, S. Zickler, K. Metzger</i>	
<b>Experimentelle Analyse des Anlassverhaltens des warmfesten Stahls 7CrMoVTiB10-10 (T24) für Temperaturen unterhalb von 700 °C unter der besonderen Berücksichtigung des geschweißten Ausgangszustandes</b>	17
<i>M. Reich, B. Milkereit, O. Kessler, M. Bader, H.-G. Oehmigen</i>	
<b>Mikrostrukturentwicklung von CB2 Fülldraht-Schweißungen</b>	29
<i>S. Baumgartner, M. Schuler, C. Ramskogler, E. Schmidtne-Kelity, A. Sarić, R. Schnitzer, C. Lochbichler, N. Enzinger</i>	
<b>„HiperFer“ – Neuartige Hochleistungsferrite</b>	41
<i>B. Kuhn, M. Talik, J. Zurek, T. Beck, W. J. Quadackers, L. S. Singheiser, H. Hattendorf</i>	
<b>Rohrspoolvorfertigung aus Ni-Basis für HWT II</b>	54
<i>L. Bergmann</i>	
<b>Wechselwirkung zwischen Mikrostruktur und Verformung der Legierung Alloy 617B – Experimente und Modelle</b>	55
<i>G. Maier, C. Somsen, J. Klöwer, R. Mohrmann</i>	
<b>Power Austenite MoW – a new austenitic material with excellent creep properties and high corrosion resistance</b>	69
<i>J. Mentz, M. Spiegel, J. Konrad, Salzgitter, P. Schraven</i>	
<b>Bewertung der Zeitstandfestigkeit der Nickellegierung Alloy 617B</b>	79
<i>R. Krein, J. Klöwer, P. Schraven, V. Knezevic</i>	
<b>Extrapolationsmethoden zum Zeitstandverhalten</b>	91
<i>S. Michelfeit, S. Linn, M. Schwienheer, A. Scholz, M. Oechsner</i>	
<b>Numerische Berechnungen von Rundnähten aus martensitischen Stählen unter Kriechbeanspruchung</b>	105
<i>D. Hüggenberg, P. Buhl, A. Klenk</i>	
<b>Untersuchung von Größeneffekten bei Low-Cycle-Fatigue Beanspruchung der Ni-Legierung René 80</b>	117
<i>T. Seibel, H. Gottschalk, S. Schmitz, G. Rollmann, R. Krause, T. Beck</i>	
<b>Einflussgrößen beim Diffusionslöten von Hochtemperaturwerkstoffen</b>	129
<i>M. Frommherz, A. Scholz, M. Oechsner</i>	



37. Vortragsveranstaltung der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe

# Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe

28. November 2014 in Düsseldorf



FVW/FVHT

# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

## **Beiträge zur 37. Vortragsveranstaltung**

**der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle und  
Hochtemperaturwerkstoffe**

**am 28. November 2014  
im Stahl-Zentrum in Düsseldorf**



© 2014 Stahlinstitut VDEh  
Alle Rechte vorbehalten.

**Titelbild:** Siemens (Gasturbine SGT5-8000H)

## **Willkommen zur 37. Vortragsveranstaltung!**

Zum 37. Mal richtet die Arbeitsgemeinschaft für Warmfeste Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe ihre Vortragsveranstaltung aus. Im Fokus stehen wie in jedem Jahr die aktuellen Ergebnisse aus Anwendung und Forschung zum Langzeitverhalten von Grundwerkstoffen und Schweißverbindungen.

Da die Thematik des Werkstoffverhaltens im Temperaturbereich von 450 °C bis 1200 °C für Werkstoffhersteller und Werkstoffanwender gleichermaßen von höchster Relevanz ist, arbeiten Unternehmen dieser beiden Gruppen in Zusammenarbeit mit universitären Materialprüfanstalten seit über sechs Jahrzehnten erfolgreich an der weiteren Werkstoffentwicklung sowie Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung. Zum Zweck der Qualifizierung von Werkstoffen für hoch effiziente Kraftwerke werden von der Arbeitsgemeinschaft in erster Linie Zeitstandversuche aber auch Ermüdungs-, Relaxations- und Rissfortschrittsversuche durchgeführt und ausgewertet sowie Forschungsprogramme initiiert und begleitet.

In diesem Jahr stehen bei der Vortragsveranstaltung zum einen neue Werkstoffentwicklungen für den Einsatz in Kraftwerken (sowohl konventionelle als auch erneuerbare Energieerzeugung) im Fokus, zum anderen werden Beiträge zur Charakterisierung von schon in Betrieb befindlichen Komponenten sowie die dabei angewendeten Prüfmethoden präsentiert. Durch den heutzutage verwendeten Energiemix wird die flexible Fahrweise von Kraftwerken und der daraus resultierenden Lebensdauererwartung eine zentrale Frage bei der Werkstoffauslegung. Die dargestellten experimentellen Untersuchungen sowie die Simulationen zur Beschreibung des Gefüges und des Werkstoffverhaltens werden ein besseres Verständnis für den effizienten Einsatz der Werkstoffe ermöglichen.

Unternehmensvertreter werden in ihren Vorträgen die Überführung der in den Arbeitsgemeinschaften erzielten Erkenntnisse in die industrielle Praxis verdeutlichen, wissenschaftliche Institute präsentieren die aktuellsten Ergebnisse aus abgeschlossenen sowie noch laufenden Forschungsvorhaben.

Wir freuen uns, Sie bei dieser Vortragsveranstaltung zu einer intensiven Auseinandersetzung und einem regen Austausch begrüßen zu dürfen. Des Weiteren soll Ihnen die Lektüre dieses Tagungsbandes ermöglichen, die in den Vorträgen präsentierten Ergebnisse auch im Anschluss an diese Veranstaltung für die Weiterentwicklung der Werkstoffe und deren Anwendungen zu nutzen.

Wir wünschen Ihnen eine anregende Veranstaltung!

***Stahlinstitut VDEh  
Dr. Christoph Keul***

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Werkstoffe für solarthermische Kraftwerke</b>	5
<i>M. Spiegel, A. Kilic</i>	
<b>Gadoliniumzirkonat - Eine keramische Wärmedämmschicht der neuesten Generation</b>	11
<i>W. Stamm, E. Bakan, R. Vaßen, M. Frommherz, A. Scholz, M. Oechsner, M. Rudolphi, M. Schütze</i>	
<b>Entwicklung warmfester Rohrstähe – eine interdisziplinäre Aufgabe zwischen Kraftwerksbetreibern, Anlagenbauern und Rohrherstellern</b>	23
<i>T. Rieger, B. Hahn, J. Piron</i>	
<b>Methoden zur Lebensdauerbewertung von Kraftwerkskomponenten unter flexibler Betriebsweise – Experimente zur Kriechermüdigungsbelastung</b>	35
<i>P. Schmitt, M. Schwienheer, M. Oechsner, H. Oesterlin, H. Riedel, G. Maier, R. Mohrmann</i>	
<b>Untersuchung wechselbeanspruchter dickwandiger Bauteile in Wärmekraftwerken</b>	53
<i>H. Zipser, J. Seichter</i>	
<b>Hochtemperatur-Werkstoffteststrecke HWT2 – Begleitende experimentelle und numerische Untersuchungen an Werkstoffen und Komponenten</b>	65
<i>S. Zickler, D. Hüggenberg, A. Klenk, M. Schwienheer, Y. Wang, M. Oechsner, H. Oesterlin, G. Maier</i>	
<b>Einfluss der Mikrostruktur der Legierung Alloy 800H auf die viskoplastische Verformung unter Ermüdungsbeanspruchung</b>	84
<i>O. Hübsch, G. Maier, H. Riedel, C. Somsen, J. Klöwer</i>	
<b>Simulation des viskoplastischen Verformungsverhaltens einer Nickelbasislegierung mit einem kontinuumsmechanischen Materialmodell</b>	96
<i>M. Wagner, F. Wilhelm, C. Kliemt</i>	
<b>Charakterisierung der Kriecheigenschaften hochwarmfester Stähle durch Miniaturproben-Prüfung</b>	107
<i>J. Olbricht, M. Bismarck, B. Skrotzki</i>	
<b>Ermittlung und Beschreibung von Kriechermüdigungseigenschaften von Schweißverbindungen aus martensitischen Werkstoffen und Nickelbasislegierungen</b>	118
<i>P. Buhl, D. Hüggenberg, A. Klenk</i>	



# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

## **Abstracts zur 38. Vortragsveranstaltung**

**der Forschungsvereinigung für Warmfeste Stähle und  
Hochtemperaturwerkstoffe**

**am 27. November 2015  
im Stahl-Zentrum in Düsseldorf**



© 2015 Stahlinstitut VDEh  
Alle Rechte vorbehalten.

**Titelbild: MAN Diesel & Turbo**

## Inhaltsverzeichnis

	Uhrzeit
<b>Ferritische Hochleistungsstähle (HiperFer) – Ein Entwicklungsstatus</b> <i>B. Kuhn, M. Talik, J. Lopez Barrilao, L. Singheiser, Y. Yamamoto</i>	09:15
<b>Ferritische Phasenumwandlung zur Verbesserung der Kriech Eigenschaften von martensitischen 9 – 13 % Cr Stählen</b> <i>E. Plesiutchnig, C. Sommitsch, S. Paul, G. Zeiler</i>	09:40
<b>Martensitic 12% Cr steels for advanced steam power plant</b> <i>J. Hald</i>	10:05
<b>Erfahrungen beim Fülldrahtschweißen von CB2 Gussteilen</b> <i>S. Baumgartner, W. Jakobs, T. Hausen</i>	10:50
<b>Einfluss unterschiedlicher Schweißverfahren auf Mikrostruktur und Zeitstandverhalten eines borlegierten 9%Cr-Stahls</b> <i>P. Mayr, A. Nitsche, C. Schlacher</i>	11:15
<b>Herstellung eines dickwandigen Längsnahtrohres aus der hochwarmfesten Nickelbasislegierung Alloy 617 unter Einsatz energiearmer Hochleistungsschweißtechnologien</b> <i>U. Reisgen, K. Willms, S. Wieland</i>	11:40
<b>Optimierte Ansätze zur Modellierung und experimentellen Untersuchung des Relaxationsverhaltens von Hochtemperatur-Flansch- und Schraubenwerkstoffen</b> <i>B. Leibing, P. Buhl, A. Klenk, M. Reigl</i>	12:05
<b>Verbessertes Verfahren zur Bewertung von Kriechporen in warmfesten 8 – 12 % Cr-Stählen für eine genauere Lebensdauerbestimmung warmgehender Bauteile</b> <i>J. Schubert, M. Markgraf</i>	13:45
<b>Ermittlung und Bewertung des rechnerischen Lebensdauer verbrauchs hochbeanspruchter dickwandiger Gehäuse</b> <i>R. Kong, S. Linn, C. Kontermann, J. Biehler, A. Scholz, M. Oechsner</i>	14:10
<b>Bewertung der Restlebensdauer kritischer Komponenten von Bestandskraftwerken bei flexibler Fahrweise</b> <i>G. Maier, O. Hübsch, H. Oesterlin, H. Riedel, G. Lüdenbach, R. Mohrmann</i>	14:35
<b>Untersuchungen zur Schädigungsentwicklung von Komponenten aus Nickellegierungen in der Hochtemperaturwerkstoffteststrecke im GKM Mannheim</b> <i>M. Speicher, D. Hüggenberg, A. Klenk</i>	15:15

**Untersuchungen zur Kriechermüdungswechselwirkung der hochwarmfesten Legierung Alloy 800H** 15:40

*O. Hübsch, G. Maier, H. Riedel, J. Klöwer, P. Maas*

**Alloy 247 LC-DS HIP: Numerische und experimentelle Beschreibung des anisotropen Verformungs- und Anrissverhaltens unter Kriechermüdungsbeanspruchung** 16:05

*C. Kontermann, Y. Wang, A. Scholz, M. Oechsner, B. Buchholz*

39. Vortragsveranstaltung der Forschungsvereinigung für Warmfeste Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe

# Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe

25. November 2016 in Düsseldorf



FWWHT

# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

## **39. Vortragsveranstaltung**

**der Forschungsvereinigung für Warmfeste Stähle und  
Hochtemperaturwerkstoffe**

**am 25. November 2016  
im Stahl-Zentrum in Düsseldorf**

© 2016 Stahlinstitut VDEh  
Alle Rechte vorbehalten.

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Bedeutung der Langzeitprüfung für Werkstoffentwicklung und Werkstoffqualifizierung, sowie für Auslegung, Betrieb und Überwachung von Hochtemperaturbauteilen</b>	1
<i>M. Schwienheer, A. Scholz, M. Oechsner, A. Hobt, A. Klenk, P. Seliger, D. Künzelmann</i>	
<b>Zur Bedeutung der Gleichmaßdehnung</b>	21
<i>J. Ewald, T.-U. Kern</i>	
<b>Einfluss von Erschmelzungsverfahren auf das Verformungsverhalten von Zeitstandproben</b>	35
<i>K.-H. Mayer, T.-U. Kern, A. Scholz, M. Schwienheer, Y. Wang, M. Oechsner, F. Kauffmann</i>	
<b>Untersuchung des Zeitstandverhaltens unter Dampf Atmosphäre bei kontinuierlicher Dehnungsmessung</b>	50
<i>S. Siegfanz, M. Spiegel, J. Mentz</i>	
<b>Warmzugversuche an CrMo(V) Stahl</b>	65
<i>J. Maffert, I. Detemple</i>	
<b>Schweißminderungsfaktoren und Mindestwerte der 10<sup>3</sup>h-Zeitstandfestigkeit moderner martensitischer Rohrschweißverbindungen</b>	72
<i>J. Schubert, A. Klenk, R. Krein</i>	
<b>Online Kriech-Ermüdungs-Überwachung an einem Komponentenversuch</b>	86
<i>R. Mohrmann, A. Kranz, G. Maier, H. Oesterlin</i>	
<b>Increased steam oxidation resistance of VALIOR<sup>TM</sup> 92 steel</b>	98
<i>J. Pirón-Abellán, J. Allenou, K. Krämer, C. Landier</i>	
<b>Sandvik Sanicro25<sup>®</sup> – Eine Antwort auf zukünftige Werkstoffanforderungen für Überhitzer und Zwischenüberhitzer in modernen hoch effizienten Kohlekraftwerken</b>	108
<i>A. Philipp, G. Chai, J. Hernblom</i>	
<b>Erprobung von neuen Werkstoffen in der Teststrecke HWT I: Eigenschaften und Mikrostruktur</b>	119
<i>M. Speicher, F. Kauffmann, A. Klenk</i>	

**Messung von Risswiderstandskurven und der Ermüdungsriss-  
ausbreitung an dünnwandigen Rohren zur bruchmechanischen  
Bewertung** 130

*K. Wackermann, C. Schweizer, I. Varfolomeev, G. Maier, R. Mohrmann*

**Ermittlung des Einflusses von Spannungsgradienten auf das  
Kriechrissverhalten und Kriechermüdungsrissverhalten** 143

*A. Hobt, A. Klenk, S. Weihe, T. Mao, F. Müller, A. Scholz, M. Oechsner,  
J. Ewald, S. Sheng*

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Digitalisierung in der Hochtemperaturforschung – Bisher erreichtes und zukünftige Potentiale</b>	1
<i>C. Kontermann, M. Schwienheer, F. Kölzow, M. Oechsner</i>	
<b>Metallpulverentwicklung und Qualifikation des SLM Prozesses für die hybride additive Fertigung</b>	4
<i>S. Donisi</i>	
<b>Fortschrittliche Werkstoffkonzepte für den Betrieb von 700 °C-Dampfturbinen</b>	14
<i>H. Kirchner, H. Almstedt, J. Schleyer, A. Hobt, A. Klenk, M. Schwienheer, F. Müller, M. Oechsner</i>	
<b>Composite Tubes – an excellent Solution for Safety and Functionality in Black Liquor Recovery Boilers and Waste Incineration Plants</b>	28
<i>A. Philipp, T. Peltola, U. Forsberg</i>	
<b>Hochtemperaturkorrosion unter simulierten Steinkohleverbrennungsbedingungen – Ergebnisse aus dem LÜBKORR-Projekt</b>	39
<i>M. Spiegel, M. Lange</i>	
<b>Extrapolation im Kriechbereich: Methoden, Mikrostruktur, Schweißverbindungen</b>	47
<i>M. Speicher, J. Schleyer, A. Klenk, C. Heinemann, C. Kontermann, M. Oechsner</i>	
<b>Vereinfachte Kriechermüdigungsbewertung für Bälge im Hochtemperatureinsatz</b>	68
<i>H. Oesterlin, G. Maier</i>	
<b>Verbesserte Ermittlung der Lebensdauer von Kraftwerkskomponenten mit hohen Betriebszeiten bei veränderten Betriebsbedingungen</b>	79
<i>P. Schmitt, F. Müller, M. Oechsner, A. Udoh, J. Quartier, A. Klenk</i>	
<b>Zeitstandeigenschaften eines P91 Fülldrahtschweißgutes</b>	99
<i>S. Baumgartner, H. Pahr, T. Zauchner</i>	
<b>Ferritische Mischverbindungen im Langzeitbetrieb – Charakterisierung und Simulation des Hochtemperaturverhaltens von T23 zu T91</b>	112
<i>F. Dittrich, P. Mayr, J. Siefert</i>	
<b>Optimierte Beschreibung des Relaxationsverhaltens typischer Hochtemperaturschraubenwerkstoffe unter isothermen und transienten Beanspruchungen</b>	125
<i>P. Hahn, M. Schwienheer, C. Kontermann, M. Oechsner, B. Leibing, A. Klenk, M. Reigl, M. Monsees</i>	

# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

## **Tagungsband 41. Vortragsveranstaltung**

**der Forschungsvereinigung Warmfeste Stähle und  
Hochtemperaturwerkstoffe**

**am 30. November 2018  
in Düsseldorf**

© 2018 Forschungsvereinigung Warmfeste Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe  
Alle Rechte vorbehalten.

## Programm

	Seite
<b>Super VM12 – The new 12%Cr steel for high-temperature applications</b>	1
<i>M. Subanovic, J. Piron, M. Jarrar, A. Gauss, A. Schneider (Vallourec Deutschland)</i>	
<b>Esshete1250 (1.4982, UNS S21500) – a fully austenitic Chromium-Nickel boiler steel grade with an excellent high-temperature strength up to 650°C and good resistance to corrosion</b>	8
<i>A. Philipp, U. Forsberg (Sandvik)</i>	
<b>Anforderungen an Werkstoffe für Strahlungsempfänger (Receiver) in solar-thermischen Kraftwerken</b>	17
<i>R. Uhlig (DLR), M. Spiegel (SZMF)</i>	
<b>Ermüdungsverhalten des warmfesten austenitischen Gusseisens EN-GJSA-XNiSiCr35-5-2 bei hoher Temperatur</b>	29
<i>D. Uckert, H.-J. Kühn, K. Matzak, B. Rehmer, B. Skrotzki (BAM)</i>	
<b>Einfluss der Mehrachsigkeit auf Kerbstützwirkung unter Kriechermüdungsbeanspruchung</b>	39
<i>M. Huang, A. Klenk (MPA Stuttgart), C. Kontermann, M. Oechsner (IfW Darmstadt)</i>	
<b>Probabilistische Methoden und die Möglichkeit der Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Lebensdauerbewertung unter Kriechermüdungsbeanspruchung</b>	53
<i>F. Kölzow, C. Kontermann, M. Oechsner (IfW Darmstadt)</i>	
<b>Neuauswertung des Langzeitrelaxationsverhaltens von Nimonic 80A-Schraubenverbindungen</b>	71
<i>J. Schubert, P. Hahn</i>	
<b>Entwicklung einer elektrochemischen Methode zur Bewertung des thermischen Langzeitverhaltens chrommartensitischer Stähle</b>	91
<i>S. Schmigalla, S. Schultze (IfKorr), K. Abstoß, P. Mayr (TU Chemnitz)</i>	
<b>"Reaktive" Mikrostruktur, der Schlüssel zu kostengünstigen, ermüdungsbeständigen Hochtemperaturwerkstoffen</b>	107
<i>B. Kuhn, J. Lopez Barrilao, T. Fischer (FZ Jülich)</i>	
<b>Mikrostrukturbasierte Modellierung der Kriechverformung in martensitischen Stählen</b>	118
<i>B. Sonderegger, B. Fercher, F. Riedlsperger, B. Niederl (TU Graz)</i>	
<b>Zum Einfluss von Temperaturwechselbeanspruchungen auf das Kriechverhalten von hochwarmfesten metallischen Werkstoffen</b>	130
<i>R. Schwing, S. Linn, C. Kontermann, M. Oechsner (IfW Darmstadt)</i>	

42. Vortragsveranstaltung

# Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe

Neues aus Anwendung und Forschung

29. November 2019  
Düsseldorf



**Tagungsband**

# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

## **Tagungsband 42. Vortragsveranstaltung**

**der Forschungsvereinigung Warmfeste Stähle und  
Hochtemperaturwerkstoffe**

**am 29. November 2019  
in Düsseldorf**

© 2019 Forschungsvereinigung Warmfeste Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe  
Alle Rechte vorbehalten.

ISBN: 978-3-946885-68-9

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>70<sup>th</sup> Anniversary of the German Creep Committee</b>	1
<i>T.-U. Kern (Siemens AG), C. Keul, (FOSTA e.V.)</i>	
<b>Werkstoffe für Müll- und Biomasseverbrennungsanlagen - A never ending story</b>	15
<i>M. Spiegel (Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH), P. Schraven (Salzgitter Mannesmann Stainless Tubes)</i>	
<b>Der Einfluss von Biomasse-Mitverbrennung auf die Korrosion von Nickellegierungen und austenitischen Stählen</b>	24
<i>X. Montero, M. Rudolphi, M.C. Galetz (DECHEMA-Forschungsinstitut), H. Murakami (National Institute of Materials Science, Japan)</i>	
<b>Austenitische Werkstoffe als Salzträger für Solarkraftwerke</b>	38
<i>M. Spiegel (Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH), P. Schraven (Salzgitter Mannesmann Stainless Tubes), F. Müller (TU Darmstadt)</i>	
<b>Bedeutung der Kriechriss- und Kriechermüdrisseinleitung für den Betrieb von Dampfturbinenbauteilen</b>	48
<i>S. Sheng, H. Almstedt (Siemens AG), J. Ewald (Mülheim a.d. Ruhr), F. Müller (TU Darmstadt), A. Klenk (MPA Stuttgart)</i>	
<b>Aktuelles zum Kriech- und Kriechrissverhalten der Legierung C-263</b>	63
<i>F. Müller, M. Oechsner, C. Kontermann (TU Darmstadt), M. Speicher, A. Klenk (MPA Stuttgart)</i>	
<b>Einfluss der elastischen Anisotropie auf das Kriechrissverhalten grobkörniger Nickelbasislegierungen</b>	75
<i>L. Wöllmann, F. Mueller (TU Darmstadt), M. Speicher (MPA Stuttgart), C. Kontermann, M. Oechsner (TU Darmstadt)</i>	
<b>Zur Messung von Schweißminderungsfaktoren mit geschweißten Rohren</b>	87
<i>R. Mohrmann, RWE Power AG</i>	

---

<b>Sicherheits- und Lebensdauerbewertung von Rohrleitungskomponenten unter Berücksichtigung tatsächlicher betrieblicher Beanspruchungen</b>	94
<i>J. Quatier, A. Klenk, A. Udoh (MPA Stuttgart), K. Metzger (Großkraftwerk Mannheim AG)</i>	
<b>Zur Restlebensdauerbewertung geschweißter, rissbehafteter Bauteile</b>	106
<i>I. Varfolomeev, G. Maier, S. Moroz (Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM)</i>	
<b>Zur Lebensdauerbewertung von Kriechermüdungsversuchen mit unterschiedlichen Konzepten</b>	129
<i>G. Maier, H. Oesterlin (Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM), R. Mohrmann (RWE Power AG)</i>	
<b>Einflussfaktoren bei der Lebensdauerbewertung von Komponenten in Bestandskraftwerken unter Berücksichtigung flexibler Fahrweise</b>	143
<i>J. Quatier, A. Klenk, A. Udoh, (MPA Stuttgart), C. Heinemann, C. Kontermann, F. Müller (TU Darmstadt)</i>	

43. Vortragsveranstaltung

## **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

Neues aus Anwendung und Forschung

27. November 2020  
Online-Konferenz



**Tagungsband**

# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

## **Tagungsband 43. Vortragsveranstaltung**

**der Forschungsvereinigung Warmfeste Stähle und  
Hochtemperaturwerkstoffe**

**am 27. November 2020  
Online**

© 2020 Forschungsvereinigung Warmfeste Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe  
Alle Rechte vorbehalten.

ISBN: 978-3-946885-95-5

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Mechanische Kurz- und Langzeiteigenschaften von additive hergestellten Bauteilen für den Hochtemperatureinsatz am Beispiel der Legierung IN718</b>	1
<i>T. Brune, P. Schueckler, M. Kraemer, C. Kontermann, M. Oechsner</i>	
<b>HiperFer - Weiterentwicklungs- und Anwendungspotenziale</b>	14
<i>B. Kuhn, T. Fischer, X. Fan, M. Talik, F. Aarab, Y. Yamamoto</i>	
<b>Untersuchung des Kriechverhaltens einer Nickelbasis- Superlegierung bei ultrahohen homologen Temperaturen und Anwendung auf das heiß-isostatische Pressen (HIP)</b>	28
<i>B. Fedelich, T. Feldmann, C. Haftaoglu, G. Nolze, S. Schriever, A. Epishin, B. Camin, I. Lopez-Galilea, B. Ruttert, W. Theisen</i>	
<b>Einfluss der Kriechermübeanspruchung auf die Mikrostruktur am Beispiel von C91 Stahlguss</b>	40
<i>M. Speicher, A. Klenk</i>	
<b>Mikrostrukturbasierte Modellierung des Versetzungskriechens von martensitischen 9-12 % Cr-Stählen. Anwendung, Extrapolation, Tests und Verifikation</b>	51
<i>F. Riedlsperger, B. Krenmayr, G. Zuderstorfer, B. Sonderegger</i>	
<b>Charakterisierung des Langzeit-Eigenschaftsprofils von 600/620 °C-Turbinenwerkstoffen</b>	63
<i>J. M. Haan, T.-U. Kern, Y. Wang, C. Kontermann, F. Kauffmann, S. Polenz</i>	
<b>Ausnutzung des Restlebensdauerpotentials warmfester Stähle: Einfluss der Atmosphäre auf das Rissausbreitungsverhalten</b>	75
<i>T. Fischer, B. Kuhn, M. Hänsel</i>	
<b>Life cycle assessment of DMV310Nsolar for the HPMSII solar test receiver</b>	95
<i>M. Spiegel, F. Müller, M. Binder, C. Schuhbauer, P. Schraven</i>	

**Zur Rissfortschrittsberechnungen unter thermischer Ermüdung:** 106  
**Parameterstudie am Beispiel von Thermoschockrisen im Innengehäuse  
einer Kraftwerkspumpen**

*R. Mohrmann, I. Varfolomeev, M. Widera*

**Neues Modell für Risswachstum, Anrisslebensdauer und Kriechschädigung** 116  
**zur Bewertung von Last- und Temperaturzyklen im Kriechermüdungs-  
bereich und Anwendung auf Versuche an warmfesten Stählen**

*H. Riedel, H. Oesterlin, G. Maier*

**Objektivierte Umsetzung einer harmonisierten Modellierung von zyklischen** 130  
**Fließkurven und Anrisskennlinien unter Berücksichtigung von Temperatur-,  
Haltezeit- und Dehnraten-Variationen**

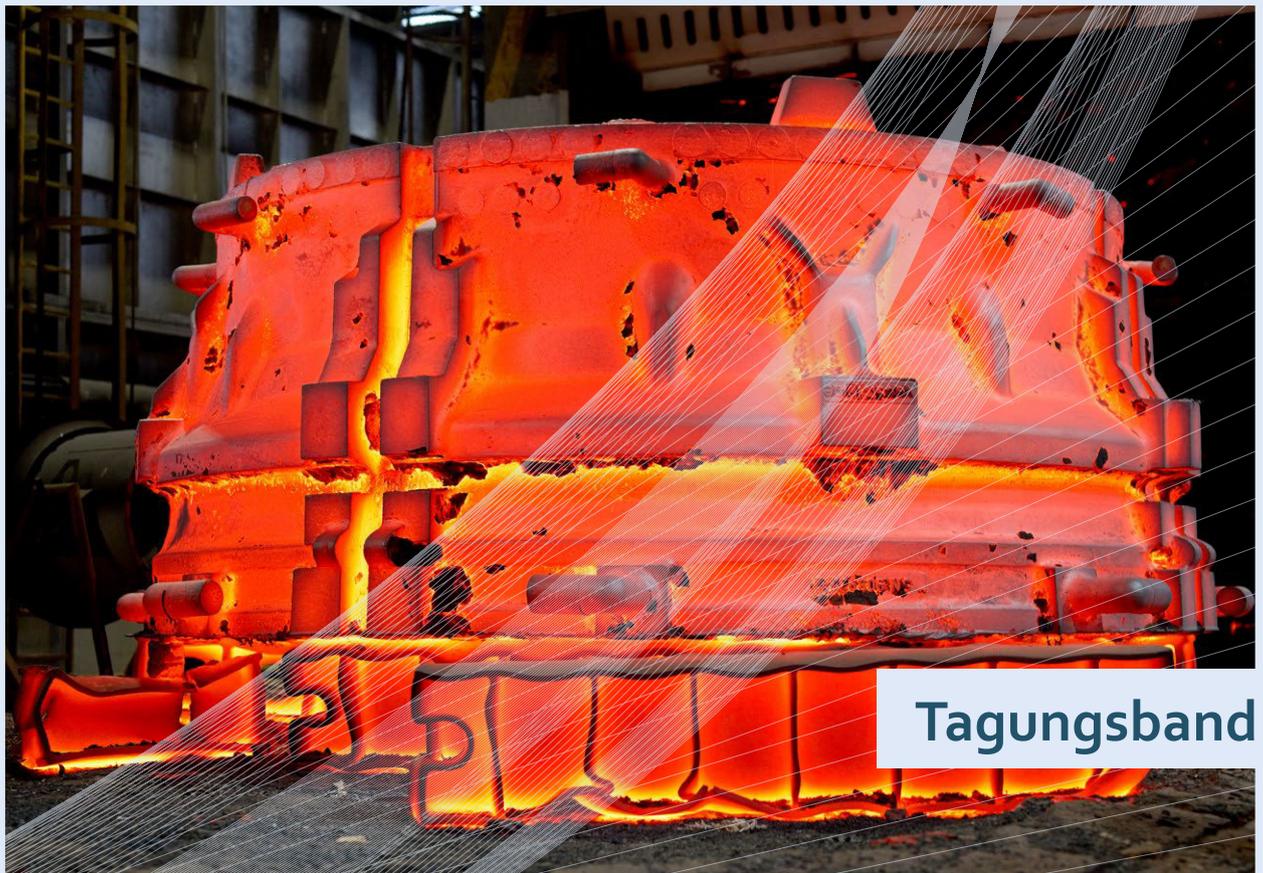
*D. Jobski, C. Kontermann, S. Linn, M. Oechsner*

45. Vortragsveranstaltung

## **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

Neues aus Anwendung und Forschung

25. November 2022



# Inhaltsverzeichnis

<b>Malta: Pumped Heat Energy Storage (PHES) with advanced turbomachinery technology</b> <i>Dr. Lucía Tosal-Martínez, Siemens Energy; Harsh Oke, Malta Inc.</i> .....	4
<b>Produktion von e-fuels: Neue und alte Herausforderungen an den Werkstoffeinsatz</b> <i>Prof. Dr. rer. nat. Michael Spiegel, Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Duisburg</i> .....	14
<b>Experimentelle Simulation von Korrosionsbedingungen im Labor an Beispielen</b> <i>Dr. Axel Kranzmann, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin</i> .....	22
<b>vgbe-Technisch-wissenschaftlicher Bericht: 9% bis 12% Cr-Stähle –Auslegung, Herstellung, Betrieb und Sicherheitskonzepte</b> <i>Patrick Kozłowski - LEAG, Co Autor: Mirko Bader - Uniper</i> .....	34
<b>12%Cr Z-phase strengthened steel for up to 650°C creep: Mechanical properties, microstructure and oxidation behavior</b> <i>Prof. John Hald, DTU Construct, Kgs. Lyngby, Denmark; Docent Fang Liu, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden; Prof. Hans-Olof Andrén, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden Lennart Johansson, Siemens Energy, Finspång, Sweden; Torsten-Ulf Kern, Siemens Energy, Mülheim, Germany</i> .....	47
<b>Quantitative physikalische Modellierung der Auswirkung von Ausscheidungen im Subkorninneren auf die Kriech-kurve und die Lebensdauer von martensitischen 9-12% Cr-Stählen</b> <i>Laura Witzmann; Florian Riedlsperger; Bernhard Krenmayr; Gerold Zuderstorfer; Bernhard Sonderegger, Institut für metallische Konstruktionswerkstoffe, JKU Linz, Österreich; Josef Mergl, Institut für Numerische Mathematik, JKU Linz, Österreich</i> .....	57
<b>40 Jahre Projektgruppe W14 - Fortschritte in der Beschreibung des Kriechrisssverhaltens</b> <i>Dr.-Ing. Jürgen Ewald, Mülheim a.d. Ruhr; Dr.-Ing. Shilun Sheng, Siemens Energy Global GmbH &amp; Co. KG, Mülheim a.d. Ruhr Dipl.-Ing. Henning Almstedt, Siemens Energy Global GmbH &amp; Co. KG, Mülheim/Ruhr Dr.-Ing. Falk Müller, Institut für Werkstoffkunde Technische Universität Darmstadt; Daniel Osorio, M.Sc., Materialprüfungsanstalt, Universität Stuttgart</i> .....	69
<b>Experiences with air-quenched 1CrMoV cast steel for turbine and valve casings during testing and operating</b> <i>M. Eng. Joachim Schubert, Mannheim; Senior Eng. Martin Marples, GE Vernova, Rugby</i> .....	89

<b>Schwere Stahlguss Komponenten für USC und AUSC-Kraftwerke Prozess-Entwicklung und Erfahrung mit martensitischen 9-10%Cr-Stählen und Nibas A 625 für dickwandige Gussteile</b>	
<i>Dipl.-Ing. Reinhold Hanus, voestalpine Foundry Group, Linz, Traisen / Österreich.....</i>	<b>98</b>
<b>Bewertung des Versagensverhaltens von martensitischen Schweißverbindungen</b>	
<i>Dipl.-Ing. Thorben Bender, Dr.-Ing. Andreas Klenk, Prof. Dr.-Ing. Stefan Weihe, Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart .....</i>	<b>108</b>
<b>Werkstoff- und Komponentenprüfung in der Teststrecke HWT III im Grosskraftwerk Mannheim</b>	
<i>Dr.-Ing. Andreas Klenk, Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA); Dr.-Ing. Klaus Metzger, Grosskraftwerk Mannheim (GKM).....</i>	<b>121</b>
<b>Herstellung und Qualifizierung des Werkstoffs MarBN für Rotoranwendungen – Grundcharakteristik und Langzeiteigenschaften</b>	
<i>Dr. Michael Schwienheer, IfW TU Darmstadt; Dr. Torsten-Ulf Kern, Siemens Energy Global GmbH &amp; Co. KG; Andreas Diwo, Saarschmiede GmbH Freiformschmiede; Uwe Langer, GE Power GmbH, Dr. Gerhard Maier, Fraunhofer IWM Freiburg .....</i>	<b>134</b>
<b>Anwendung eines neuen Modells zur Anriss- und Restlebensdauerbewertung bei Kriechermüdungsbeanspruchung am Beispiel eines MarBN-Stahls</b>	
<i>Dr.-Ing. Gerhard Maier, Prof. Hermann Riedel, Fraunhofer IWM Freiburg.....</i>	<b>146</b>
<b>Ergebnisse einer systematischen und objektiven Ermittlung der Gleichmaßdehnungen an Zeitstandproben</b>	
<i>Dr.-Ing. Christian Kontermann, Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde, TU Darmstadt; Alexander Erbe, M.Sc., Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde, TU Darmstadt Dr.-Ing. Marcel Adam, Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde, TU Darmstadt Volker Knauthe, M.Sc., Fachgebiet für Graphische-Interaktive Systeme, TU Darmstadt Max von Buelow, M.Sc., Fachgebiet für Graphische-Interaktive Systeme, TU Darmstadt; Dr.-Ing. Torsten-Ulf Kern, Siemens Energy Global GmbH &amp; Co. KG, Mülheim an der Ruhr; Prof. Dr.-Ing. Matthias Oechsner, Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde, TU Darmstadt .....</i>	<b>160</b>

46. Vortragsveranstaltung

## **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

Neues aus Anwendung und Forschung

24. November 2023



**Tagungsband**

# Inhaltsverzeichnis

<b>Next Geothermal Power (NGP) - ein CO<sub>2</sub> basiertes Geothermie-Konzept</b>	
<i>F. Böhmer, M. Wechsung (Siemens Energy)</i> .....	3
<b>Refractory high entropy alloys as perspective candidates for structural applications at high temperatures</b>	
<i>B. Gorr (Institut für Angewandte Materialien-Angewandte Werkstoffphysik, Karlsruhe Institut für Technologie (KIT))</i> .....	9
<b>Aktuelle werkstofftechnische Themen in der Energietechnik</b>	
<i>M. Bader (Uniper Kraftwerke GmbH), P. Kozłowski (Lausitz Energie Kraftwerke AG)</i> .....	20
<b>Beitrag zur Bewertung des Langzeit-Bruchverformungsverhaltens von warmfesten martensitischen 9%Cr-Stählen</b>	
<i>T.-U. Kern (Siemens Energy), R. Krein (voestalpine Böhler Welding Germany GmbH)</i> .....	37
<b>Einfluss der Mikrostruktur auf die Kriecheigenschaften von mittels selektiven Laserstrahlschmelzen hergestellten IN718 und IN738LC</b>	
<i>S. Megahed, K. M. Krämer, C. Kontermann, M. Oechsner (TU Darmstadt), C. Heinze (Siemens Energy), R. Herzog (MAN Energy Solutions), A. Udoh, S. Weihe (MPA Stuttgart)</i> .....	51
<b>Restspannungswerte von Relaxationsversuchen – Übersicht über bisherige Projekte und Erstellung einer FVWHT-Datenbasis zur Auslegung von Schraubenverbindungen (MPA S, IfW D)</b>	
<i>K. Kettler, M. Friedrich (MPA Stuttgart), M. Khan, C. Kontermann (TU Darmstadt)</i> .....	63
<b>Ermittlung der Restlebensdauer auf der Basis der Gefüge- und Schädigungsentwicklung</b>	
<i>A. Udoh, M. Friedrich (MPA Stuttgart) S. Linn, C. Kontermann (TU Darmstadt)</i> .....	92
<b>Neue Kriechschädigungsklassifizierung zur Lebensdauerabschätzung für 9-12%Cr-Stähle als Grundlage zur Überarbeitung des VGB-Standards S517</b>	
<i>J. Schubert (-), M. Widera (RWE Power AG), F. Schimmel (TÜV Rheinland Werkstoffprüfung GmbH)</i> .....	114
<b>LÜBKORR II: Thermozyklische Auslagerungen von Schweißverbindungen unter phosphathaltigen Mitverbrennungsbedingungen</b>	
<i>M. Spiegel (Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH), P. Schraven (Mannesmann Stainless Tubes GmbH)</i> .....	121
<b>Einfluss der Korngröße auf das Kriechverhalten von warmfesten martensitischen Stählen mit hohem Cr-Gehalt für den Einsatz in Dampfkraftwerken</b>	
<i>B. Kocdemir, T.-U. Kern (Siemens Energy), G. Zeiler (ehemals voestalpine BÖHLER Edelstahl GmbH &amp; Co KG)</i> .....	145
<b>Kriechverhalten von gekerbten Proben einer MarBN-Guss-Variante</b>	
<i>F. Müller, L. Wöllmann, M. Oechsner (TU Darmstadt), B. Krenmayr (TU Linz), C. Sommitsch (TU Graz)</i> .....	160
<b>Stützwirkung unter Kriech-Ermüdungsbeanspruchung für verschiedene warmfeste Stähle</b>	
<i>F. Garnadt (TU Darmstadt), M. Huang (MPA Stuttgart), H. Almstedt (Siemens Energy), C. Kontermann, M. Oechsner (Darmstadt)</i> .....	185

47. Vortragsveranstaltung

# **Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe**

Neues aus Anwendung und Forschung

29. November 2024, Düsseldorf



**Tagungsband**

## Inhaltsverzeichnis

### Neue Anwendungen und Medieneinfluss

#### Hochtemperatur-Wärmespeicher in Kombination mit Flüssigmetallen

**Klarissa Niedermeier**, Markus Daubner, Frank Fellmoser, Martin Lux, Eike Schmidt, Thomas Wetzel, Margaux Zehnder, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)..... 4

#### Korrosion von Edelstählen und Nickelbasislegierung in Nitratsalzsäure

**Matthias Binder**, David Niedermeier, Christian Schuhbauer, MAN Energy Solutions SE, Michael Spiegel, Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH..... 8

#### Dehnungsinduzierte Risskorrosion – Modellansätze, Schadensbeispiele, ZfP-Methoden

**Mirko Bader**, Uniper Kraftwerke GmbH..... 21

### Hochtemperaturlegierungen

#### Neuauswertung der Zeitstandfestigkeit von gleichartigen Schweißverbindungen aus Alloy 617 im Temperaturgebiet 600-1000 °C

**Joachim Schubert**, Mannheim; Ronny Krein, voestalpine Böhler Welding Germany GmbH..... 33

#### Bewertung von additiv gefertigten Bauteilen für den Hochtemperatureinsatz unter Berücksichtigung von Kerbversprödung und Dünnwandigkeit

**Annett Udoh**, Maximilian Friedrich, Stefan Weihe, MPA Universität Stuttgart; Michael Krämer, Falk Müller, Matthias Oechsner, IfW-TU Darmstadt..... 52

#### Kriechbiegeversuche unter überlagerten Temperaturzyklen für Hochtemperaturlegierungen im Ofenbetrieb

**Siri Harboe-Minwegen**, Dagmar Kuckelberg, OWI Science for Fuels gGmbH; Romana Schwing, Institut für Werkstoffkunde, Technische Universität Darmstadt..... 64

#### Entwicklung und Charakterisierung einer Nickel-Basis-Superlegierung optimiert für den Einsatz in Gasturbinen-Endstufenschaufeln

**Timo Depka**, Birgit Grüger, Oliver Lüsebrink, Rebekka Johanna Stenzel, Siemens Energy; Yan Wang, Matthias Oechsner, IfW - TU Darmstadt, Christian Kontermann, Hochschule Trier..... 77

### Betriebserfahrungen

#### Schäden an thermisch beanspruchten Bauteilen

**Hans-Günther Oehmigen**, Ingenieur-Büro Prof. Dr.-Ing. Hans-Günther Oehmigen, Bochum..... 86

**Datensammlung, Einflussfaktoren und Modellierung**

**Ein Konzept zur Speicherung von Werkstoff- und Versuchsdaten unter Verwendung von HDF5-Dateien**

**Stefan Linn**, Matthias Oechsner, Michael Schwienheer, IfW - TU Darmstadt; Annett Udoh, MPA Universität Stuttgart; Christian Kontermann, Hochschule Trier..... **103**

**Analyse des Spannungsrelaxationsverhaltens von P91-Stahl: Potential für eine verbesserte Vorhersage des Primärkriechverhaltens**

**Florian Riedlsperger**, Bernhard Krenmayr, Bernhard Sonderegger, Thomas Trenzinger, Laura Witzmann, IMK - JKU Linz..... **116**

**Erweiterung und Validierung eines physikalisch-basierten Modells zur Simulation des Kriechverhaltens und der mikrostrukturellen Entwicklung eines neuen martensitischen 10% Cr-Stahls**

**Laura Witzmann**, Bernhard Krenmayr, Florian Riedlsperger, Bernhard Sonderegger, Institut für metallische Konstruktionswerkstoffe, JKU Linz, Österreich; Heiko Groiss, Philipp Kürsteiner, Christian Doppler Labor für nanoskalige Phasenumwandlungen, Zentrum für Oberflächen- und Nanoanalytik (ZONA), JKU Linz, Österreich; John Hald, Dep of Civil and Mechanical Engineering, DTU, Lyngby, Dänemark; Dirk Kulawinski, Siemens Energy AG, Mülheim an der Ruhr, Deutschland..... **129**

**Zur Abhängigkeit der Kriechmodellparameter vom Grad der Ermüdungsschädigung**

**Eike Blum**, Nico Bürger, Stefan Linn, Matthias Oechsner, IfW - TU Darmstadt; Christian Kontermann, Hochschule Trier..... **142**

**Experimentelle Beobachtungen zur Kriechermüdungsverformungsinteraktion in 9 % Chromstählen**

**Gerhard Maier**, Fraunhofer IWM..... **154**

**Untersuchungen zum Einfluss von Grobkorn auf die Ermüdungseigenschaften austenitischer Kraftwerksstähle**

**Michael Schwienheer**, Falk Müller, Matthias Oechsner, IfW - TU Darmstadt; Gerhard Maier, Fraunhofer IWM..... **166**