

# 60 Jahre Arbeitsgemeinschaft für Warmfeste Stähle

Ingo Steller, Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf

Walter Bendick, Salzgitter Mannesmann Forschung, Duisburg

Torsten-Ulf Kern, Siemens Energy Sector, Mülheim

Karl Maile, Materialprüfungsanstalt, Universität Stuttgart

Michael Monsees, Alstom Power, Baden, Schweiz

Alfred Scholz, Institut für Werkstoffkunde, TU Darmstadt

## 1. Geschichte

Mitte der 1930er Jahre hatte die deutsche Industrie als erste weltweit Dampfkesselanlagen mit Betriebstemperaturen oberhalb 500°C eingeführt. Berechnungsgrundlage waren zunächst Kurzzeitversuche von rd. 50 h Dauer. Aufgrund von Schadensfällen musste man erkennen, dass Langzeitversuche bis zu 50.000 h notwendig waren. Entsprechende Versuche wurden bei der Materialprüfanstalt in Darmstadt aufgenommen und auch während der Kriegsjahre fortgeführt.

Nach Ende des 2. Weltkrieges wurden die Stahlhersteller mit einem temporären Forschungsverbot belegt, das sie gegenüber anderen Ländern zurückwarf. Mit dem Wiederaufbau von Kraftwerken und Produktionsanlagen setzte in Deutschland eine rasante industrielle Entwicklung ein. Eine Steigerung der Effizienz war nur über die Erhöhung der Prozesstemperaturen und -drücke zu erreichen. Hieraus ergaben sich höhere Bauteiltemperaturen mit entsprechend komplexeren mechanischen und korrosiven Beanspruchungen. Bereits 1950 entstand die Idee, die Dampftemperaturen auf 600 °C und darüber hinaus zu steigern. Für die Werkstoffhersteller ergab sich daraus ein Ansporn zur Entwicklung von neuen Werkstoffen mit immer besseren Eigenschaften.

Auf Anregung des Verbandes Deutscher Großkessel-Besitzer (heute: VGB PowerTech) wurde 1949 der Arbeitskreis „Gemeinschafts-Dauerstandversuche“ von verschiedenen Herstellern von Röhren, Guss- und Schmiedestücken im Unterausschuss für mechanische Eigenschaften gegründet. Da auch für die Stahlanwender aus den geplanten Langzeitversuchen ein direkter Nutzen entsteht, wurden sie überzeugt, sich an den gemeinschaftlichen Untersuchungen zu beteiligen. Dies war die Geburtsstunde der **Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle** [1-3].

Im Kern des Interesses standen:

- Langzeitverhalten verschiedener Werkstoffklassen bis > 100.000 Stunden,
- die Ermittlung von 1%-Zeitdehngrenzen und Zeitstandfestigkeiten >500°C,
- die Ermittlung der Ursachen für Sprödbruch,
- die Untersuchung langzeitiger Gefügeänderungen und
- das Werkstoffverhalten unter Wechselbeanspruchungen.

Auf der ersten Sitzung am 17.02.1950 wurden die folgenden Prüfungen an Kessel- und Turbinenstählen (unterschiedliche Zusammensetzungen und Wärmebehandlungszustände) vorgeschlagen, die später um weitere Werkstoffe ergänzt wurden:

- 500°C: St 45.25, 15Mo3, 13CrMo4-4, etc. (8 Schmelzen)
- 550°C: 13CrMo4-4, 12CrSiMo8, 2¼ CrMo-Stahl, 16Cr13Ni, etc. (16 Schmelzen)
- 600°C: 16Cr13Ni, 12CrSiMo8, Austenite, etc. (16 Schmelzen)
- 650°C: 16Cr13Ni, Austenite, etc. (9 Schmelzen).

Die Langzeitversuche wurden bei der Materialprüfungsanstalt Darmstadt in Vielproben-Prüfmaschinen sowie bei der Farbenfabrik Leverkusen in Mehrprobenöfen begonnen. Später kamen auch Werkstoffe aus dem Fahrzeugbau hinzu, und die Prüftemperaturen

wurden weiter gesteigert. Ursprünglich wurden Kennwerte für Beanspruchungsdauern von 100.000 h anvisiert, doch mit der Weiterentwicklung der Anlagentechnik wuchs der Bedarf an noch längerzeitigen Untersuchungen bis zu 200.000 h. Um zulässige Variationen in der chemischen Zusammensetzung und Wärmebehandlung zu berücksichtigen, wurden die Prüfergebnisse der verschiedenen Schmelzen zu Streubändern zusammengefasst.

Gleichzeitig wuchs das Interesse an Werkstoffen für Gasturbinen und Flugtriebwerke. Solche Werkstoffe wurden nicht von allen Mitgliedswerken der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle hergestellt und mussten bei Temperaturen bis weit über 800 °C, also mit erheblich höherem finanziellem Aufwand, geprüft werden. Die interessierten Kreise entschlossen sich daher am 27.09.1957 zur Gründung der **Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe**. Anfangs standen hitzebeständige Stähle, Cobalt- und Nickelbasislegierungen auf dem Versuchsprogramm. Weitere Werkstoffe kamen hinzu, und der Temperaturbereich wurde bis auf über 1000°C erweitert.

Immer mehr Industrieunternehmen erkannten den Wert der gemeinschaftlich organisierten Arbeit und beteiligten sich an den Langzeituntersuchungen. Zur Koordinierung der großen Zahl von Werkstoffen wurden verschiedene **Projektgruppen** gegründet, in der individuelle Prüfprogramme aufgelegt und fachlich begleitet wurden.

Mit der zivilen Nutzung der **Kernenergie** und der Entwicklung des Thorium-Hochtemperaturreaktors ergaben sich auch Fragen an die Hersteller warmfester Werkstoffe, die in einer mehrjährigen Kooperation zwischen der AG Hochtemperaturwerkstoffe und dem Forschungszentrum Jülich mündeten. Diese Aktivitäten liefen Ende der 1980er Jahre aus.

Anfang der 1990er Jahre setzten Aktivitäten zur Schaffung von europäischen Werkstoffdatenblättern ein. Bis dahin existierte eine Vielzahl von nationalen Werkstoff-Datenblättern für warmfeste und hochtemperaturbeständige Werkstoffe mit zum Teil erheblich voneinander abweichenden Angaben. Hier musste dringend eine Vereinheitlichung erreicht werden. Die logische Konsequenz war die **Gründung des European Creep Collaborative Committee ECCC**, in der europäische Experten von Stahlhersteller- und Anwenderseite eng kooperierten – und dies bis heute tun. Mit der gemeinschaftlichen Bewertung der nationalen Werkstoffdaten entstanden auf europäischer Ebene abgestimmte Streubänder, die zur Grundlage für die heutigen Normen wurden. Damit einhergehend wurden auch Arbeiten zur Harmonisierung von Prüfverfahren und Auswertungsmethoden aufgenommen.

## 2. Organisation der Gemeinschaftsarbeit

### 2.1 Mitgliedswerke

Mitgliedswerke beider Arbeitsgemeinschaften sind Werkstoffhersteller und Werkstoffanwender. Die Herstellerseite umfasst heute Hersteller von Rohren, Blechen, Schmiedestücken, Gussstücken und Schweißzusatzwerkstoffherstellern – vom mittelständischen Betrieb bis zum internationalen Konzern; vertreten vom Verein Deutscher Eisenhüttenleute (heute: Stahlinstitut VDEh). Die Anwenderseite umfasst Hersteller von Turbinen und Triebwerken sowie Kesseln und Kraftwerksbetreiber; vertreten durch die Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen (FVV) im VDMA, einschließlich des Fachverbandes Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau (FDBR) und VGB Power Tech, des Verbandes der Großkraftwerksbetreiber. Zusammen decken die Mitgliedswerke der genannten Verbände die gesamte Fertigungskette ab. Als Geschäftsstelle fungiert seit den Anfangsjahren das Stahlinstitut VDEh in Düsseldorf.

## **2.2 Finanzielle Basis**

Finanziert werden nur die in Gemeinschaftsversuchen durchgeführten Prüfungen. Die Tätigkeiten der Vertreter der Mitgliedsfirmen wird dagegen selbst finanziert. Bei der Gründung der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle war den Stahlherstellern klar, dass die geplanten Langzeitversuche nur durch eine Umlage der Mitgliedswerke finanziert werden konnte. Auch die Stahlanwender, die ebenfalls einen Nutzen von den Ergebnissen erwarteten, beteiligten sich an der Finanzierung der Gemeinschaftsversuche. Um darzustellen, dass diese Arbeiten für beide Seiten von gleichwertiger Bedeutung sind, wurde auf die Parität der Einnahmen auf Stahlhersteller- und Stahlanwenderseite großer Wert gelegt. Die Gemeinnützigkeit dieser Untersuchungen wurde in die Statuten der Organisation aufgenommen.

Die paritätische Finanzierung hat sich bis heute bewährt. In den folgenden Jahren initiierten die Arbeitsgemeinschaften auch verschiedene kleinere und größere Forschungsprogramme, für die auch externe Fördermittel in Anspruch genommen werden konnten. In manchen Fällen werden nach dem Auslaufen interessanter Forschungsprogramme auch Langzeitversuche in die Arbeitsgemeinschaften übernommen, um dort – finanziert durch Eigenmittel – bis zu industriell verwertbaren Laufzeiten von 100.000 h und mehr fortzuführen.

## **2.3 Gemeinschaftliche Prüfungen**

Die in den Arbeitsgemeinschaften durchgeführten Prüfungen umfassen Warmzugversuche, Zeitstandversuche, Kriechversuche und Dehnungswechselversuche. Untersucht werden Grundwerkstoffe und Schweißverbindungen – viele Komponenten kommen erst nach schweißtechnischer Verarbeitung zum Einsatz. Um die Verhältnisse realitätsnah nachzubilden, werden Schweißverbindungsproben aus der anvisierten Werkstoffpaarung hergestellt und nachfolgend geprüft. Darüber hinaus liefen aber auch Untersuchungen zum Oxidations- und Korrosionsverhalten und spezieller Fragestellungen zur Wechselwirkung von Herstellungsprozess und Bauteileigenschaften.

Mit der Durchführung der Gemeinschaftsversuche werden die Prüfstellen beauftragt. Maßgebend für deren Auswahl war der Gedanke, nur neutrale Institute oder Laboratorien der Werkstoffanwender hinzuzuziehen. Heute sind dies:

- das Institut für Werkstoffkunde der Technischen Universität Darmstadt,
- die staatliche Materialprüfungsanstalt in Stuttgart und
- die Prüfstelle Siempelkamp Prüf- und Gutachtergesellschaft in Dresden.

In den Anfangsjahren der Arbeitsgemeinschaften beteiligte sich unter anderem auch das Max-Planck-Institut für Eisenforschung, Düsseldorf, mit dem notwendigen Fachwissen zur Werkstoffcharakterisierung

Die Arbeitsgemeinschaften lasten die zur Verfügung stehenden Versuchsplätze, überwiegend in Vielprobenprüfmaschinen [4], so hoch wie möglich aus. Mithilfe dieser Versuchstechnik lassen sich Langzeitversuche kostengünstig bei mehreren Prüftemperaturen und Prüfspannungen durchführen. Nach Abschluss eines Versuchs – Bruch der Probe oder geplanter Ausbau beim Erreichen der Ziellaufzeit oder -dehnung – wird umgehend die nächste Probe eingebaut. So können die Versuche kostengünstiger angeboten werden als individuell beauftragte Einzelversuche – ein finanzieller Vorteil der Gemeinschaftsversuche. In einem Strang lassen sich mehrere Proben mit Verbindungsstücken in Reihe einbauen und gleichzeitig belasten. Auf diese Weise wird ein weiterer Kostenvorteil erzielt. Zur genauen Abbildung des Werkstoffverhaltens in allen drei Kriechbereichen bietet sich die kontinuierliche Dehnungsmessung an. Besonders vorteilhaft ist die Aufnahme von Kriechversuchen in Einzelprüfmaschinen mit kontinuierlicher Dehnungsmessung und die Umsetzung der Proben nach dem Überschreiten des sekundären Kriechbereichs in Vielprobenprüfmaschinen. So lassen sich Langzeitversuche quasi lückenlos dokumentieren. Die Proben werden laufend überwacht, die Versuchsdaten werden rechnergestützt erfasst.

Heute sind für die Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle zusammen weit über 200 Prüfplätze bei den Prüfstellen Darmstadt, Stuttgart und Dresden belegt; für die Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe sind bei der Prüfstelle Darmstadt über 50 Prüfplätze in Zeitstand-Vielproben- bis 1000°C bzw. Zeitstandeinzelprüfmaschinen bis über 1000 °C belegt.

Ergänzend haben auch die Mitgliedswerke immer wieder Ergebnisse so genannter privater Langzeitversuche in die Arbeitsgemeinschaft eingebracht, vor allem dann, wenn für einzelne Stähle Streubandauswertungen anstanden.

## **2.4 Datenerfassung und gemeinschaftliche Auswertung**

Die Erfassung der Versuchsdaten erfolgte in den Anfangsjahren noch auf Karteikarten und Messschrieben. Mit dem Einzug der Rechnertechnik wurde Ende der 1980er Jahre bei der Geschäftsstelle in Düsseldorf ein zentraler Datenrechner angeschafft, die sogenannte ZSF-Datenbank. Dieses System, eine ORACLE-Datenbank unter dem Betriebssystem MS-DOS, erlaubte die komfortable Datenerfassung und -auswertung. Viele Jahre arbeitete das System zuverlässig, bis es zuletzt technisch veraltet war. Da auch die Darstellung der Daten nicht mehr dem Stand der Technik entsprach, trat Ende 2005 ein neues, zeitgemäßes System an die Stelle der ZSF-Datenbank – die Datenbank LAMBDA. Schnittstellen erlauben den Datenaustausch und die Auswertung mit verschiedenen Auswertungsprogrammen. Die Daten können nun von den Mitgliedern der Arbeitsgemeinschaft über einen Online-Zugang abgerufen werden und sind praktisch tagesaktuell, da die Rohdaten von den Messrechnern in Darmstadt laufend an den zentralen Server übermittelt werden. Für die Datenauswertung bietet die Prüfstelle Darmstadt spezialisierte Software an, bedient durch qualifizierte Mitarbeiter.

Eine wichtige Voraussetzung für die Gewinnung von Streubanddaten aus verschiedenen Quellen ist, dass sich alle Beteiligten nach den von der Arbeitsgemeinschaft für Warmfeste Stähle erarbeiteten Richtlinien für die Durchführung von Zeitstandversuchen richteten. Darin wird nach den Grundsätzen einer modernen Qualitätssicherung bis ins Detail die notwendige Dokumentation der Werkstoffe sowie ihrer Herstellung und Prüfung festgelegt. Ein wichtiger Gesichtspunkt ist dabei die umfangreiche Vorprüfung der Werkstoffe auf Konformität mit den Normvorgaben.

## **2.5 Gemeinschaftliche Forschung**

Außer den großen Konzernen verfügen nur wenige Unternehmen über eigene F&E-Abteilungen, in denen üblicherweise Entwicklungsprojekte für interne Verwendung durchgeführt werden. Für gemeinschaftliche Forschung – beispielsweise mit den Kunden – steht kleineren und mittelständischen Unternehmen jedoch häufig kein Budget zur Verfügung. Um dennoch Entwicklungen mit ihren Abnehmern voran zu treiben, können sie verschiedene Fördermöglichkeiten nutzen. Die Zusammenstellung von Konsortien ist eine Aufgabe der Mitgliedsverbände der Arbeitsgemeinschaften. Bei der Formulierung der Projektanträge wird die langjährige Erfahrung der Prüfstellen genutzt. Diese günstige Konstellation stellt eine hohe Erfolgsquote der beantragten Forschungsvorhaben sicher. Mögliche Fördermittelgeber sind:

- das deutsche Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF
- das deutsche Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (AiF-Vorhaben)
- die deutsche Stiftung Stahlanwendungsforschung (AVIF-Vorhaben) [5]
- das deutsche Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM)
- die Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen
- Europäische Programme wie RFCS

Der Etat der Gemeinschaftsvorhaben übertrifft in der Regel den Etat der Arbeitsgemeinschaften (aus Mitgliedsbeiträgen) um ein Mehrfaches. Die Mischung aus großen und kleineren Unternehmen in den projektbegleitenden Arbeitskreisen garantiert eine sehr praxisnahe Forschung, eng begleitet von den Projektgruppen der Arbeitsgemeinschaften. Die Mitglieder der Arbeitsgemeinschaften tragen somit unmittelbar zum Gelingen der Projekte bei.

### 2.6 Darstellung der Ergebnisse

Der Öffentlichkeit werden ausgewählte Ergebnisse der Arbeiten auf den seit 1975 von beiden Arbeitsgemeinschaften gemeinsam ausgerichteten Vortragsveranstaltungen dargestellt. Dabei nehmen auch Fachleute des In- und Auslands, die der Arbeitsgemeinschaft nicht angehören, mit Berichten über ihre aktuellen Arbeitsergebnisse am gegenseitigen Erfahrungsaustausch teil. [6, 7]

## 3. Projektgruppen – Aufgaben und Ziele

Grundlage der Gemeinschaftsarbeit ist bis heute die intensive Arbeit in den Projektgruppen. Sie umfasst die gemeinschaftliche Festlegung der Prüfpläne, was vor dem Hintergrund sehr unterschiedlicher Interessen nicht immer einfach ist. Dabei werden die Versuchsparameter (Prüftemperatur, Prüfspannung, Laufzeit) festgelegt und in einem Versuchsplan zusammengestellt. Zusammen mit einem Vorprüfungszeugnis, das die Werkstoffcharakterisierung enthält, ist der Gemeinschaftsversuch vollständig beschrieben; nach gemeinschaftlicher Freigabe werden die Proben gefertigt und geprüft. Die erhaltenen Versuchsergebnisse werden von erfahrenen Fachleuten diskutiert und gemeinschaftlich ausgewertet. Das Ergebnis dieser Arbeit sind abgesicherte Langzeitkennwerte für die untersuchten Werkstoffe.

Koordiniert wird die Arbeit der Projektgruppen vom Lenkungsausschuss. Dieser legt den Etat für Prüfungen fest, entscheidet über neue Prüfprogramme und Forschungsvorhaben, koordiniert die Arbeiten in der nationalen und Europäischen Normung und berichtet über die Kooperation mit internationalen Gremien. Für die Arbeit in ECCC werden Prüfprogramme als deutscher Beitrag festgelegt. Schließlich wird die jährliche Vortragsveranstaltung vorbereitet.

### 3.1 Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle

Für die verschiedenen Werkstoffgruppen und Prüfaufgaben wurden verschiedene spezialisierte Projektgruppen gegründet, die mit Fachleuten der jeweiligen Hersteller und Anwender besetzt sind.

AGWS-PG	Gründung founded	Titel Title	Schwerpunkte subject
W1	1975	unlegierte und legierte Stähle für den Kesselbau	Prüfprogramme für ferritisch- martensitische Kesselwerkstoffe
W2	1981	Stahlguss	Prüfprogramme für ferritisch- martensitische Stahlgusswerkstoffe
W3	1975	Turbinenwerkstoffe (außer Stahlguss)	Prüfprogramme für ferritisch- martensitische Schmiedestücke für den Turbinenbau
W4-W7	ab 1975	siehe unter W3	heute vereinigt mit W3
W7	1958	Austenitische Stähle	Prüfprogramme für austenitische Stähle Heute aufgeteilt auf W1 und H1
W8	1972	Schweißverfahren mit ungleichartigen Schweiß- verbindungen	Prüfprogramme für Schweißnähte und Schweißgüter heute W1 und W2 zugeordnet

W9	1980	Veränderliche Zeitstandsbeanspruchung	Forschungsprogramme zur Lebensdaueranalyse und -bewertung
W10	1980	Kombinierte Kriech- und Dehnwechselbeanspr.	heute vereinigt als W10 Hochtemperaturverhalten unter veränderlicher Beanspruchung
W11	1983	Relaxationsverhalten	Prüfverfahren zur Ermittlung des Relaxationsverhaltens (heute nicht aktiv)
W12	1972	Restlebensdauer	Beurteilung von Werkstoffen unter betrieblichem Einsatz
W13	1965	Prüftechnik und Auswertfragen	Festlegung der Richtlinien der Arbeitsgemeinschaften, Verbesserung der Prüf- und Auswertverfahren, Datenbank LAMBDA
W14	1982	Kriechrischwachstum	Forschungsprogramme zur Beschreibung des Kriechrischverhaltens aller warmfesten Werkstoffe
W15	1990	Warmfeste Werkstoffe	Bericht über aktuelle Entwicklungen in Kraftwerken, incl. Betriebsbesichtigung

Nachfolgend werden ausgewählte Schwerpunkte der Arbeiten der Projektgruppen dargestellt.

**Projektgruppe W1.** Am Anfang standen Auswertungen zu niedriglegierten ferritischen Werkstoffen, wie z.B. 15Mo3, 13CrMo4-4, 10CrMo9-10 zur Aufnahme in nationale Normen, dargestellt im Ringbuch der Arbeitsgemeinschaften. Heute werden weiterhin Zeitstandsversuche an unlegierten Stählen sowie legierten Mo- und CrMo-Stählen für den Kessel- und Rohrleitungsbau durchgeführt, ergänzt um Ergebnisse aus Forschungsvorhaben. Es wird eine enge Kooperation mit ECCO-WG3A gepflegt. Abgestimmte Langzeitkennwerte sind in verschiedene Europäische Normen eingeflossen. Aktuelle Prüfungen betreffen den Einfluss einer Kaltverformung auf das Zeitstandverhalten sowie Prüfungen an Schweißverbindungen neuer 9%-Cr-Stähle. Aufgrund neuer Kraftwerksprojekte wurde auch mit der Prüfung neuer austenitischer Kesselbaustähle begonnen.

**Projektgruppe W2.** Gusswerkstoffe gehörten zu den ersten geprüften Werkstoffen. Mit dem Beitritt der im VDG zusammengeschlossenen Gießereien nahm die Projektgruppe ihre Arbeit auf und begann mit der Auswertung von Versuchsdaten zum GS17CrMoV5-11 sowie artgleichen Schweißverbindungen. Heute werden die Langzeiteigenschaften der warmfesten ferritisch/martensitischen Stahlgusswerkstoffe und ihre Schweißbarkeit untersucht, Schweißminderungsfaktoren werden bestimmt. Für konkrete Fragestellungen werden Forschungsvorhaben durchgeführt. Abgestimmte Langzeit-Kennwerte fließen u.a. in die Stahlgussnorm DIN EN 10213 ein. Aktuelle Prüfungen betreffen artgleiche Schweißverbindungen (gleichartige und Mischverbindungen) neuer 9%-Cr-Stähle.

**Projektgruppe W3.** Die heutige Gruppe ging aus verschiedenen Projektgruppen hervor, die Stabstahl und Schmiedestahl untersuchten und im Jahr 2000 zur heutigen Projektgruppe W3 vereinigt wurden:

AGWS-PG	Gründung founded	Titel Title	Schwerpunkte zu Beginn Subject in the beginning
W3	1975	1%CrMoV-Stabstahl	40CrMoV 4-7, 21CrMo(Ni)V4-7
W4	1975	1%CrMoV-Schmiedestähle	21CrMoNiV4-7, 28CrMoNiV4-7, 28CrMoNiV4-9
W5a	1977	NiCrMoV-Stähle	26NiCrMoV14-5, FATT
W5b	1977	12%CrMoV-Stähle	X20CrMoV12-1
W6	1978	12%CrMoV-Stähle	X20CrMoV12-1, X19CrMoVNbN11-1, etc. für Scheiben und Rohre

Der Einfluss der Herstellung und Weiterverarbeitung auf das Langzeitverhalten der niedrig und hoch legierten warmfesten Stähle für schwere Ringe, Scheiben und Wellen im Turbinenbau wird untersucht. Hierzu werden Zeitstandversuche und fallweise auch Forschungsvorhaben durchgeführt. Aktuelle Prüfungen betreffen geschmiedete Ringe und Wellen bzw. Schmiedestücke aus neuen 10%-Cr-Stählen.

**Projektgruppe W7.** Austenitische Stähle wie X8CrNiNb16-13 wurden seit Beginn der Arbeitsgemeinschaften im früheren Unterausschuss für austenitische Stähle geprüft. In späteren Jahren wurde die Projektgruppe wegen zu geringer Beteiligung aufgelöst. Die Prüfung austenitischer Kesselbaustähle wurde der W1 übertragen, alles andere der Projektgruppe H1.

**Projektgruppe W8.** Aufgrund von Schadensfällen in der WEZ von Schweißverbindungen nahm die Projektgruppe ein Prüfprogramm auf, um das Kriechverhalten von Schweißverbindungen zu untersuchen. Zu Beginn standen Längsnähte an 14MoV6-3 sowie Schweißverbindungen an GS17CrMoV5-11 auf der Agenda. Untersuchungen an Schweißverbindungen werden heute in den Projektgruppen W1 und W2 durchgeführt.

**Projektgruppe W10.** In dieser Projektgruppe werden das Zeitstandverhalten unter veränderlicher Beanspruchung und das Kriechermüdungsverhalten untersucht und entsprechende Anwenderprogramme zur Analyse der Kriech- und Ermüdungsschädigung sowie zur Lebensdauerabschätzung entwickelt [8]. Entsprechende Forschungsvorhaben wurden zunächst an Schmiedestählen vom Typ 1%CrMoNiV bis heute zu modernen 10%CrMoWVNbN-Stählen durchgeführt. Aktuelle Programme betreffen die Simulation von schnellen Anfahrvorgängen von Turbinen sowie die Weiterentwicklung rechnergestützter Verfahren auf Basis konstitutiver Werkstoffbeschreibungen

**Projektgruppe W11.** Die Projektgruppe ging aus dem damaligen Unterausschuss für ferritische Stähle hervor und begann mit der Durchführung und Auswertung von gemeinschaftlichen englisch-deutschen Zeitstandversuchen an 10CrMo9-10. Ein weiterer Schwerpunkt war der Vergleich von Prüfverfahren zur Ermittlung des Entspannungsverhaltens. Experimentelle Ergebnisse aus zahlreichen Relaxationsversuchen an bauteilähnlichen Proben werden mit Finite-Elemente-Rechnungen abgeglichen. Die Arbeit an diesem Thema ruht zurzeit, wird aber bei Bedarf wieder aufgenommen.

**Projektgruppe W12.** Für die Kraftwerksbetreiber ist die Beurteilung der mit hohen Temperaturen und Drucken beaufschlagten Komponenten während des Betriebes von hoher Bedeutung. Im Vordergrund standen zunächst die Restlebensdauerbeurteilung und Schädigungsentwicklung von niedriglegierten ferritischen Stählen, wie 14MoV6-3 und 13CrMo4-4. Im Rahmen von Forschungsvorhaben werden heute die Entwicklung der zeitabhängigen Schädigung der neuen 9-12%Cr Stähle untersucht. Außerdem werden Schadensfälle im Expertenkreis diskutiert. Aktuelle Forschungsvorhaben betreffen die Anwendung neuronaler Netze, also selbst lernender Software, die anhand der Angaben aus Zusammensetzung, Wärmebehandlung und Langzeitdaten eine Aussage über die reale Zeitstandfestigkeit eines Bauteils treffen kann.

**Projektgruppe W13.** Sie erarbeitet und pflegt Empfehlungen zur Durchführung und Auswertung von Hochtemperaturversuchen. Diese Empfehlungen sind in den Richtlinien der Arbeitsgemeinschaften verankert und tragen zur Ermittlung verlässlicher und vergleichbarer Kennwerte der verschiedenen deutschen Prüfstellen bei. Weiterhin werden auch Fragen der Harmonisierung von Prüf- und Auswertungsverfahren auf internationaler Ebene behandelt. Die Projektgruppe beschäftigt sich auch mit dem Datenmanagement und dem Datenaustausch mithilfe anwenderfreundlicher Datenaustauschformate, wobei eine Langzeitarchivierung mithilfe des selbst entwickelten Datenbanksystems LAMBDA die wertvollen Langzeitdaten den Mitgliedern jederzeit online zur Verfügung stellt. Damit stellt die Projektgruppe W13 ein wichtiges Bindeglied zwischen Forschung, Prüfung und Auslegung innerhalb der Arbeitsgemeinschaften dar.

**Projektgruppe W14.** Zur Untersuchung von Kriechrissinitiation und Kriechrissfortschritt wurde vor mehr als 25 Jahren diese Projektgruppe gebildet. Weil das Rissverhalten bis in die 70er Jahre nicht berechnet werden konnte, wurden Bauteile aufgrund von Erfahrungswerten ausgelegt, was einen erhöhten Materialeinsatz zur Folge hatte. Die Projektgruppe befasst sich mit Konzepten zur Bewertung von Kriechrisseinleitung und -fortschritt. Als wichtige Konzepte seien hier das Zwei-Kriterien-Diagramm (**Bild 1**) zur Bewertung von Kriechrisseinleitung und der Parameter  $C^*$  zur Bewertung des Kriechrissfortschritts genannt. Ein weiteres wichtiges Ergebnis dieser Art ist das Programm HT-RISS [9]. Dort stehen sowohl Bewertungskonzepte als auch die entsprechenden langfristig abgesicherten Kennlinien für Risseinleitung und Rissfortschritt wichtiger warmfester Stähle dem Anwender benutzerfreundlich zur Verfügung. Nach Untersuchung verschiedener Fragestellungen zu warmfesten Stählen in Forschungsvorhaben befassen sich aktuelle Forschungsvorhaben mit der Beschreibung des Rissverhaltens von Nickelbasislegierungen.

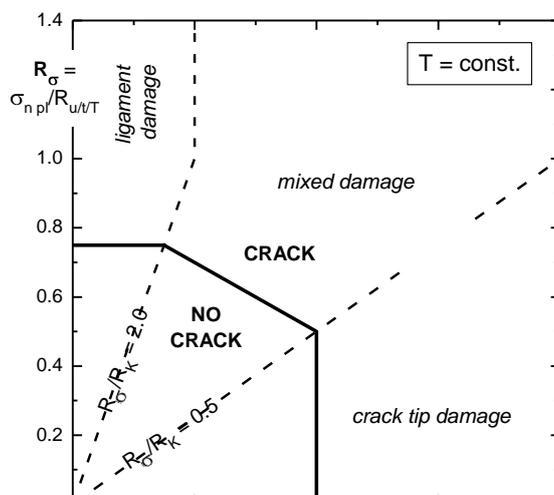


Bild 1. Zwei-Kriterien-Diagramm für Kriechrisseinleitung warmfester Stähle [9]

**Projektgruppe W15.** Gegründet als Arbeitsgremium für die Untersuchung von warmfesten Stählen auf dem Gebiet der damaligen DDR, formierte sich der Fachausschuss 1990 neu und widmet sich seitdem dem Erfahrungsaustausch von Stahlherstellern, Energieanlagenbau und Energieversorgungsunternehmen. Vortragssitzungen werden bei regionalen Unternehmen der Energietechnik durchgeführt. Fachlich ist der Ausschuss der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle zugeordnet, organisatorisch ist er jedoch völlig selbstständig und wird von der Prüfstelle Dresden geführt.

### 3.2 Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe

Anfangs lagen die Schwerpunkte bei Langzeituntersuchungen zum Kriech- und Zeitstandbruchverhalten von Hochtemperaturwerkstoffen sowie zur Zunderbeständigkeit. Fortschritte in der Prüftechnik erlaubten ungefähr ab 1960 auch Untersuchungen zur Langzeit-Temperaturwechselbeständigkeit. Das Ziel war die Ermittlung von Werten der Zeitstandfestigkeit und der 1-%-Zeitdehngrenzen.

Bei Werkstoffen für Gasturbinen-Laufschaufeln wurde im Hinblick auf konstruktionsbedingte Kerben in den Schaufelfüßen ein besonderer Wert auf die Bewertung des Kerbzeitstandverhaltens gelegt. Nach Klärung verlangten auch Fragen zum Einfluss des Herstellungsprozesses, zum Schweißen sowie zum Aufbringen von Schutzschichten gegen Hochtemperaturkorrosion.

AGHT-PG	Gründung founded	Titel Title	Schwerpunkte subject
H1	1966	Hitzebeständige Stähle	Prüfprogramme für austenitische Turbinen- und Triebwerkswerkstoffe
H2	1966	Hochwarmfeste Werkstoffe	Prüfprogramme für Turbinen- und Triebwerkswerkstoffe aus Nickel- und Cobaltbasislegierungen
H3	1975	Beschichtungen	Forschungsprogramme zur Bewertung des Einflusses von Oberflächenschutzmaßnahmen auf die Zeitstandfestigkeit von Turbinenwerkstoffen (ruht zurzeit)

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die seit Gründung der AG Hochtemperaturwerkstoffe geprüften Werkstoffe.

Geprüfte Werkstoffe in PG H1	Anzahl Schmelzen	Geprüfte Werkstoffe in PG H2	Anzahl Schmelzen
GNiCr28W	1	Alloy B-1900	1
GX10NiCrNb32-20	17	Alloy 247LC-DS (long.)	2
GX10NiCrNb32-20, E-Hand	2	Alloy 247LC-DS (trans.)	1
GX15CrNi25-20	3	ECY-768	1
GX30CrNiSiNb24-24	6	Alloy FSX-414	2
GX45CrNiSi34-24, Einfl. Pb, Se, Tl, Bi, Te, Zn	13	Gamma-TiAl	1
GX40CrNiSi25-20	36	Alloy X Guss	1
GX40NiCrNb35-25	10	Alloy 214	1
GX40NiCrNb35-25+ 2% W	1	Alloy 230 Guss	1
GX40NiCrNb35-25+ 5% W	3	Alloy 6203-DS	4
GX6CrNi18-9	6	NiCr22Mo9Nb (Typ 625)	3
GX12CrCoNi21-20 (Typ N-155)	105	Alloy 706	1
GX30CrNiSiNb24-24	6	Alloy 738LC	17
GX40NiCrNb35-25	7	Alloy 738LC (Hohlproben)	1
GX45NiCrNbTi35-25	1	Alloy 792CCF	1
GX45NiCrNbSiTi45-35	1	Alloy 792mod	1
X10CrAl7	3	NiCr13Mo6Ti3 (Typ 901)	1
X10CrAl24	9	NiCr23Co12 Mo (Typ 617)	2
X10NiCrAlTi32-20 (Alloy 800)	19	NiCr23Co12 Mo (Typ 617), MAG	1
X10NiCrAlTi32-20 (Alloy 800), MIG und E-Hand	10	NiCr19Fe18Nb (Typ 718)	2
X15CrNiSi20-12	7	LEK 94 (SX)	1
X10CrNiSiNCe21-11	1	Alloy 247	1
X8CrNiSiNCe21-11	1	Alloy 509	1
X40CoCrNi20-20 (Typ S-590)	88	NiCr20TiAl (Typ 80A)	210
		NiCr20Co18Ti (Typ 90)	81
		Nimonic 101	2
		NiCo20Cr15MoAlTi (Typ 105)	1
		NiCo15Cr15MoAlTi (Typ 115)	1
		Alloy R-80	2
		Alloy U-500	2
		Alloy U-520	1
		Alloy U-720	4
		Waspaloy	1
Anzahl der geprüften Schmelzen	356	Anzahl der geprüften Schmelzen	353

**Projektgruppe H1.** Den Anfang machten Untersuchungen an hitzebeständigen Schmiede- und Gusswerkstoffen für Strukturbauteile in der erdölverarbeitenden Industrie. Für hitzebeständige Legierungen für Anwendungstemperaturen um 1000 °C und darüber wurde ab etwa 1966 vordringlicher Bedarf gesehen. Untersucht wurden unter anderem:

- Legierungen vom Typ 25Cr20Ni und 30Ni20Cr,
- Nickelbasis-Knetlegierung NiCr25FeAlY (Typ Nicrofer 6025 HT),
- Schleudergusswerkstoffe für Anwendungen im Industrieofenbau,
- das LCF-Verhalten verschiedener hochwarmfester Legierungen
- Werkstoffe vom Typ N-155 – eines der umfangreichsten Prüfprogramme, später in einer separaten Auswertung zusammengefasst,
- der Werkstoff Alloy 800 H, u.a. Schweißverbindungen,
- das Verzunderungsverhalten verschiedener Werkstoffe (in den 1980er Jahren),

Aktuelle Prüfungen sind an modernen Austeniten (304 HCu, etc.) geplant.

**Projektgruppe H2.** An den Werkstoffen NiCr20TiAl (Typ 80A), NiCr20Co18Ti (Typ 90), Typ S-590 und Typ N-155 wurden umfangreiche Streubanddatensammlungen angelegt sowie Streubandauswertungen durchgeführt. Untersucht wurden unter anderem:

- das Zeitstandverhalten verschiedener Schmiedelegierungen (u.a. Scheibenwerkstoffe), um dieses langfristig abzusichern,
- konventionell erstarrte, gerichtet erstarrte und einkristalline Feingusswerkstoffe aus Nickel- und Cobaltbasislegierungen für Turbinenlaufschaufeln,
- das LCF-Verhalten von Schmiede- und Gusslegierungen,

Aktuelle Prüfungen laufen an den neuen Werkstoffen Alloy 617 mod. (anwendungsbezogen mit der Projektgruppe W1) und dem neuen Werkstoff Allvac 718 plus.

**Projektgruppe H3.** Zu Beginn sollte der Einfluss von Oberflächenschutzmaßnahmen auf das Zeitstandverhalten hochwarmfester Nickelbasislegierungen geklärt werden. Untersucht wurden unter anderem:

- verschiedene Grundwerkstoff-Schutzschicht-Kombinationen in Zeitstandversuchen an Voll- und Hohlproben,
- die Auswirkung korrosiver Medien in verschiedenen Programmen,
- gerichtet erstarrte Nickelbasislegierungen im Rahmen des Projekts P195 [5].

Seit einigen Jahren laufen keine gemeinsamen Arbeiten mehr auf dem Gebiet der Schutzschichten.

Ein weiteres Aufgabengebiet der Arbeitsgemeinschaft für Hochtemperaturwerkstoffe war das Relaxationsverhalten von Schraubenverbindungen.

#### **4. Internationale Zusammenarbeit**

Die Mitgliedswerke der Arbeitsgemeinschaften sind nicht nur in Deutschland, sondern auch innerhalb und außerhalb Europas aktiv. Dies spiegelt auch die globale Aufstellung sowohl der Stahlhersteller als auch der Stahlanwender wider. Aus der Mitarbeit in verschiedenen Forschungsprojekten und Fachkreisen bieten sich den Mitgliedern der Arbeitsgemeinschaften mannigfaltige Möglichkeiten zum Erfahrungsaustausch. Zwar werden die Rohdaten der Arbeitsgemeinschaften nicht weitergegeben, doch die ausgewerteten Daten werden den Daten aus anderen Projekten gegenüber gestellt. Dies verbessert die Gültigkeit der gewonnenen Ergebnisse und bietet die Möglichkeit, international abgesicherte Auslegungswerte zu erzielen, die beispielsweise in Europäische Normen einfließen.

#### 4.1 Kooperation mit ECCC

Mit der wachsenden Bedeutung der Europäischen Normung wurde in den 90er Jahren auf Initiative der deutschen Arbeitsgemeinschaft warmfeste Stähle und englischer Fachkollegen die **ECCC (European Creep Collaborative Committee)** gegründet [3]. In ECCC arbeiten die gleichen Gruppen mit wie in der Arbeitsgemeinschaft. Es gibt industriebezogene Arbeitsgruppen, die einzelne Werkstoffe behandeln und deren Arbeit vertraulich ist. Daneben gibt es offene Gruppen, die hauptsächlich von Forschungsinstituten besetzt sind und die sich vorwiegend mit der Erstellung europäischer Richtlinien zur Prüfung und Auswertung beschäftigen. Hierfür wurden drei aufeinander folgende Europäische Förderprogramme genutzt. In den Arbeitsgemeinschaften wurden vielfach Versuche ausgewählt, um sie im Rahmen von ECCC gemeinschaftlich auszuwerten.

Eine wichtige Aufgabe der Projektgruppen der Arbeitsgemeinschaft ist die Spiegelung der Arbeiten in ECCC, zumal verschiedene Mitgliedswerke in beiden Vereinigungen mitarbeiten. Es wird über die Arbeiten in ECCC berichtet, die Auswertungen in den Arbeitsgemeinschaften und in ECCC werden einander gegenübergestellt, und neue Prüfprogramme für ECCC werden initiiert. Die Arbeiten der Arbeitsgemeinschaften und der ECCC sind allerdings nur bedingt miteinander vergleichbar. Zur Veranschaulichung wird die folgende Darstellung gewählt:

<b>Arbeitsgem.</b>		<b>ECCC</b>
<b>Lenkungsausschuss</b>		<b>Management Committee</b>
<b>Projektgruppe</b>		<b>Working Group</b>
AGWS PG W1	Ferritic Steels for boiler tubes and pipings	WG3A
AGWS PG W3	Ferritic Steel Forgings for turbines	
AGWS PG W2	Ferritic Steel Castings	---
AGHT PG H1	Austenitic Stainless Steels	WG3B
AGHT PG H2	Nickel Base Alloys (and Cobalt Base Alloys)	WG3C
AGWS PG W14	Creep crack growth	WG 1.2
AGWS PG W11	Relaxation	---
AGWS PG W12	Residual Life Assessment of Components	WG 4
AGWS PG W13	Creep Data Generation & Assessment Procedures for Serviced Materials	WG 1.1
---	Technology Transfer, Dissemination and Training	WG 2

Beispielsweise gibt es in ECCC keine separate Gruppe über Gusswerkstoffe, so dass Arbeiten an diesen Werkstoffen nur in den Arbeitsgemeinschaften laufen.

Wichtige Ergebnisse der Zusammenarbeit sind

- ECCC Recommendations
- ECCC Data Sheets
- Europäische Auswertemethoden (Bild 2)

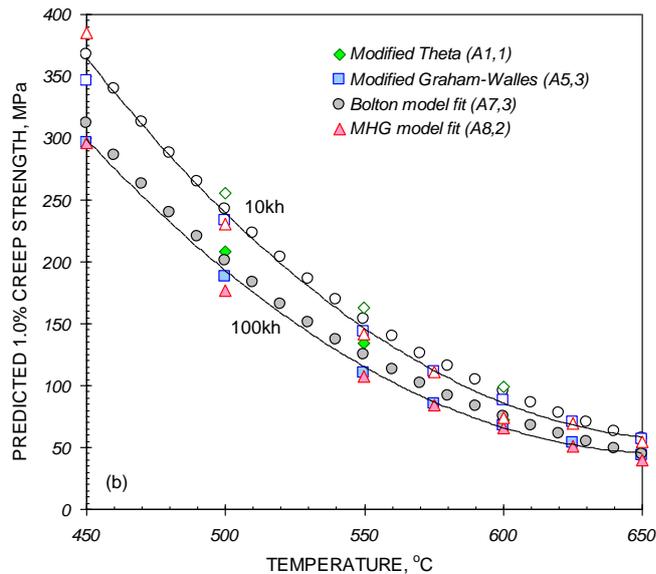


Bild 2. Abschätzung der 1-%-Zeitdehngrenze mithilfe von unterschiedlichen Kriechgleichungen, Werkstoff P91 [10].

Aufgrund des multinationalen Charakters der ECCC wurde die Stahlauswertung auf eine breitere Basis gestellt. Beispiele für kürzlich ausgewertete Stähle sind E911, T/P92 und T/P91.

Im Unterschied zu ECCC gibt es in den Arbeitsgemeinschaften keine separate Gruppe für Technologietransfer und Weiterbildung. Dies bedeutet nicht, dass es diese Aktivität in den Arbeitsgemeinschaften nicht gäbe – der Technologietransfer wird direkt aus den Forschungsvorhaben in die Mitgliedswerke transferiert. Die Weiterbildung wird unter anderem über die Vortragsveranstaltung erreicht, an der jährlich viele Nachwuchswissenschaftler aus Firmen und Instituten teilnehmen.

#### 4.2 Kooperation mit NIMS / Japan

Aktuell besteht ein intensiver Erfahrungsaustausch mit dem National Institute for Materials Science (NIMS) in Tsukuba, Japan. Dort werden Werkstoffe u. a. für den Einsatz im Energemaschinenbau entwickelt. In gemeinsamen Workshops werden regelmäßig aktuelle Erkenntnisse ausgetauscht. Federführend sind hier die Prüfstellen Stuttgart und Darmstadt, die zusammen mit NIMS die Veranstaltungen und den Erfahrungsaustausch organisieren.

#### 4.3 Kooperation mit Verbänden der Druckgerätehersteller

Die Ergebnisse der Arbeitsgemeinschaften fließen nicht nur in die Europäischen Werkstoffnormen ein, sondern auch in Anwendungsnormen für Dampfkessel und unbefeuerte Druckbehälter unter der Europäischen Druckgeräte-Richtlinie, sowie als nationales Pendant in das AD2000-Regelwerk des VdTÜV.

Experten der Arbeitsgemeinschaften arbeiten in der gemeinsamen (Joint working group) JWG „B“ (Werkstoffe für unbefeuerte Druckbehälter und industrielle Rohrleitungen) der Europäischen Normenkomitees CEN/TC 54 mit CEN/TC 267 mit, insbesondere in der Subgroup „Creep“ sowie in der WG „C“ (Design Methods). Hier geht es um die Auslegung von Druckbehälter-Bauteilen, unter anderem aus warmfesten Werkstoffen.

Zukünftig könnte auch eine Zusammenarbeit mit den internationalen Verbänden der Druckgerätehersteller interessant werden, wie beispielsweise EPERC in Europa oder EPRI. Trotz sehr unterschiedlicher Vorgehensweisen wäre eine engere Kooperation für beide Seiten vorteilhaft.

#### **4.4 Partizipierung an internationalen Forschungsvorhaben**

Im **COST-Programm**, einem grundlagenorientierten Werkstoffforschungsprogramm der Europäischen Union, arbeiten verschiedene Mitglieder der Arbeitsgemeinschaften mit – Stahlhersteller und Anwender – und untersuchen industriennahe Pilotbauteile. Die Entwicklung neuer Werkstoffe wird zwar in den Arbeitsgemeinschaften nicht betrieben, aussichtsreiche Kandidaten-Werkstoffe werden jedoch weiter untersucht, um Langzeitkennwerte zu gewinnen und diese Werkstoffe so früh wie möglich kennen und realistisch einschätzen zu lernen.

Auch im europäischen **RFCS-Programm** beteiligen sich regelmäßig Mitgliedswerke der Arbeitsgemeinschaften. Hier geht es um anwendungsnahe Forschung, für die Institute und Industrieunternehmen aus ganz Europa kooperieren.

Vor dem Hintergrund der Globalisierung gewinnt die internationale Zusammenarbeit zunehmend an Bedeutung. Dies betrifft nicht nur die Forschung, sondern auch den Vergleich von Langzeitkennwerten über Grenzen hinweg, die wiederum in internationale Normen einfließen und den Stand der Technik wiedergeben. Über ihre Langzeiteigenschaften lassen sich international auch unterschiedlichste Werkstoffkonzepte vergleichen, so dass internationale Industriekonsortien für neue Kraftwerke den jeweils verfügbaren und für die entsprechende Anwendung geeigneten Werkstoff auswählen können.

### **5. Nutzen der Arbeitsgemeinschaften**

Im Fokus der heutigen Arbeiten der Arbeitsgemeinschaften stehen Untersuchungen an eingeführten Werkstoffen zur Absicherung ihrer Langzeitkennwerte. Die Daten ergänzen die bestehenden Streubandauswertungen und weisen auf Trends hin, beispielsweise auch für das Langzeitverhalten von Schweißverbindungen. Fallweise werden auch im Rahmen von Werkstoffzulassungen gemeinschaftliche Langzeitprüfungen von Herstellern und Anwendern durchgeführt.

Die erhaltenen, auslegungsrelevanten Kennwerte stehen allen Mitgliedswerken der Arbeitsgemeinschaften zur Verfügung. Zunächst wurden die ausgewerteten Ergebnisse der Versuchsprogramme im sogenannten „Ringbuch“ der Arbeitsgemeinschaften zusammengefasst. Zusätzlich wurden die in der Projektgruppe W2 gewonnenen Daten zu Gusswerkstoffen in der aktuellen Ausgabe Landolt-Börnstein Creep Data Book [11] veröffentlicht.

Eine Veröffentlichung der ausgewerteten Daten in Form von eigenen Werkstoffdatenblättern wurde zugunsten der Normenarbeit zurückgestellt. Die Erkenntnisse flossen in zahlreiche Europäische und Internationale Normen ein. Über den Normenausschuss Eisen und Stahl (FES) werden die darin enthaltenen Langzeit-Kennwerte noch einmal im Rahmen der interessierten Kreise – Stahlhersteller, Stahlverarbeiter, Stahlanwender, Zertifizierungsgesellschaften – abgestimmt. Viele Daten stammen aus den Auswertungen der ECCC, an denen die Mitgliedswerke aus der Arbeitsgemeinschaft maßgeblichen Anteil haben.

Dabei soll nicht unerwähnt bleiben, dass neue Erkenntnisse zur Langzeit-Prüftechnik, die in den Forschungsstellen gewonnen werden, über den Normenausschuss Materialprüfung im DIN in die entsprechenden Prüfnormen einfließen.

Die Modellierung des Werkstoffverhaltens hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Auch hier haben sich die Arbeitsgemeinschaften beteiligt und verschiedenste Forschungsvorhaben durchgeführt. Ein aktuelles Ergebnis betrifft die Entwicklung des spezifischen Anwenderprogramms Programm INCA, welches zur Ermittlung von Parametern für Kriechgleichungen auf bestehende Auswertprogramme abgestimmt ist. Trotz aller Fortschritte bei der Modellierung und Extrapolation von Langzeitdaten bleibt die Auswertung von

Langzeitversuchen das Fundament für die heutige und für die zukünftige Arbeit zur Bereitstellung einer zuverlässigen Technik für unsere Gesellschaft.

Insgesamt wurden in allen bisherigen Prüfprogrammen der Arbeitsgemeinschaften viele wertvolle Werkstoffdaten für die Auslegung von Komponenten aus warmfesten Stählen und Hochtemperaturwerkstoffen gewonnen, die direkt in der Praxis angewendet werden. Nur durch die sichere Auslegung können die Werkstoffe optimal ausgenutzt und Ressourcenschonung und -optimierung betrieben werden.

Ausgewählte Ergebnisse der Gemeinschaftsarbeit aus Forschung und Praxis werden auf den jährlichen Vortragsveranstaltungen der Arbeitsgemeinschaften vorgestellt und mit den Anwendern diskutiert.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

In der heutigen Zeit sind Daten scheinbar jederzeit im Internet verfügbar. Dennoch erfordert es einen gewissen Aufwand, um fundierte Daten zu gewinnen. Die Gemeinschaftsarbeit bietet hierbei auch heute noch viele Vorteile, was exemplarisch die Arbeitsgemeinschaften für warmfeste Stähle und für Hochtemperaturwerkstoffe zeigen. Ihre erfolgreiche Arbeit der letzten 5 Jahrzehnte hat einen entscheidenden Beitrag dazu geleistet, die deutsche Industrie nach dem Ende des 2. Weltkrieges rasch wieder auf den internationalen Stand zu bringen und bis heute eine führende Position zu erreichen. Ergebnisse aus gemeinschaftlichen, praxisnahen Forschungsvorhaben konnten zeitnah umgesetzt werden.

Die umfangreiche Datenbasis der Arbeitsgemeinschaften und die Ergebnisse aus „privaten“ Langzeitversuchen bei einigen Mitgliedswerken ergänzen einander ideal; beide sind zur Absicherung von Streubändern unverzichtbar. Die vertrauensvolle Zusammenarbeit von Werkstoffherstellern und -anwendern von Beginn des Produktionsprozesses an schließt eine falsche Werkstoffwahl aus und stellt sicher, dass nur Werkstoffe mit abgesicherten Langzeitkennwerten zum Einsatz kommen. Somit kann die Arbeit in den Arbeitsgemeinschaften mit Recht als Teil des Qualitätsmanagements angesehen werden, der zusätzliche Prüfungen erspart. Dies alles ermöglicht es den in den Arbeitsgemeinschaften vertretenen Anwendern, international wettbewerbsfähige Energieerzeugungsanlagen herstellen.

Abgesicherte Langzeit-Kennwerte für hochwarmfeste Werkstoffe sind unverzichtbar für neue, fossil befeuerte Kraftwerke, aber auch Hochtemperaturlegierungen für Flugturbinen. Aktuelle Entwicklungen laufen im Bereich Gasturbine, Dampfturbine und Kombikraftwerke GuD. Das „700-Grad-Dampfkraftwerk“ hat zum Beispiel eine noch höhere thermische Effizienz bei gleichzeitig reduzierten CO<sub>2</sub>-Emissionen zum Ziel – ein wichtiges Argument für die aktuelle Klima-Diskussion. Hier leistet die fundierte Arbeit in den Arbeitsgemeinschaften einen entscheidenden Beitrag. Auch die chemische Industrie und der Chemieanlagenbau profitieren von den Ergebnissen der Gemeinschaftsarbeit, um verbesserte und umweltschonende Prozesse zu installieren bzw. neue Produktionstechnologien einführen zu können.

Die Globalisierung stellt die Arbeitsgemeinschaften vor neue Herausforderungen. Werkstoffhersteller und Anwender agieren global, so dass der internationale fachliche Austausch an Bedeutung gewonnen hat. Dies erkannten die Arbeitsgemeinschaften frühzeitig und engagierten sich in europäischen und internationalen Kooperationen. Um die erfolgreiche Arbeit der Vergangenheit fortzuführen, ist das bewährte Konzept der gemeinschaftlichen Finanzierung von Werkstoffherstellern und Anwendern und die Steuerung durch einen Lenkungsausschuss heute umso wichtiger. Ist dies gesichert, wird die Arbeit der Arbeitsgemeinschaften auch in Zukunft zum Vorteil aller ihrer Mitglieder sein.

## 7. Literatur

- [1] Ewald, J.; Bendick, W.; Granacher, J.; Maile, K.; Mayer, K.H.; Melzer, B.; Rohde, W.; Tolksdorf, E.: 50 Years of Joint German Activities in the Area of Creep Resistant Materials, High-Temperature Materials and Design International Colloquium on the Occasion of the 50<sup>th</sup> Anniversary of the German Creep Committee, 23. November 1999, Düsseldorf, Germany
- [2] Thornton, D.V.; Ewald, J.: Future Aspects on Joint Activities – Activities of the European Collaborative Creep Committee, High-Temperature Materials and Design International Colloquium on the Occasion of the 50<sup>th</sup> Anniversary of the German Creep Committee, 23. November 1999, Düsseldorf, Germany
- [3] Ewald, J., W. Bendick, K. Jäger, G. Gnirß, R.-U. Husemann, K.-H. Mayer, B. Melzer und E. Tolksdorf: Fünf Jahrzehnte Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle – Notwendige Auslegungsdaten für den langfristig sicheren Betrieb bei hoher Temperatur-, 21. Vortragsveranstaltung Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe, Tagungsband, Düsseldorf: Stahlinstitut VDEh, 1998, S. 27/38.
- [4] Scholz, A., Schwienheer, M., Müller, F., Linn, S., Schein, M., Walther, C., Berger, C.: *Hochtemperaturprüfung - Ein Beitrag zur Werkstoffentwicklung und -qualifizierung sowie Simulation der Bauteilbeanspruchung*, In: Materialwissenschaften und Werkstofftechnik, 5/2007, S. 372-378
- [5] Bewertung der Langzeitfestigkeit von Stählen für den Einsatz bei erhöhten Temperaturen. Abschlussbericht über das Vorhaben P195, Stiftung Stahlanwendungsforschung, Düsseldorf, 1993.
- [6] Tagungsbände der Vortragsveranstaltungen „Langzeitverhalten warmfester Werkstoffe und Hochtemperaturwerkstoffe“, Stahlinstitut VDEh, diverse Jahrgänge seit 1975.
- [7] Ergebnisse deutscher Zeitstandversuche langer Dauer an den hochwarmfesten Legierungen X40CoCrNi20-20 (Typ S-590) und X12CrCoNi21-20 (Typ N-155) – Bericht FVHT August 1987
- [8] Scholz, A., R. Znajda, A. Simon, A. Samir und C. Berger: Rechenmodelle zur Vorhersage von Verformung und Lebensdauer von warmfesten Stählen unter veränderlicher Beanspruchung in Dampfkraftwerken, 28. Vortragsveranstaltung Langzeitverhalten warmfester Stähle und Hochtemperaturwerkstoffe, Tagungsband, Düsseldorf: Stahlinstitut VDEh, 2005, S. 15/24
- [9] Ewald, J., F. Müller, T. Mao, M. Machalowska-Tracz, A. Klenk: Methoden zur Bewertung rissartiger Fehler betriebsbeanspruchter im Langzeitbereich, Materialwissenschaften und Werkstofftechnik, 5/2007, S. 379-386
- [10] Holdsworth, S. R., M. Askins, A. Baker, E. Gariboldi, S. Holmström, A. Klenk, G. Merckling, R. Sandstrom, M. Schwienheer, S. Spigarelli: Factor Influencing Creep Model Equation Selection, Proceedings Creep & Fracture in High Temperature Components – design & Life Assessment Issues, ECCO Creep Conference, September 12 – 14, 2005, London, UK. Edited by I. A. Shibli, S. R. Holdsworth, G. Merckling. Lancaster, PA: DEStech Publications, 2005, (ISBN 1-932078-49-5)
- [11] Creep Properties of Heat Resistant Steels and Superalloys. Landolt-Börnstein: Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology - New Series Group 8: Advanced Materials and Technologies – Series: Materials, Subvolume B. Yagi, K.; Merckling, G.; Kern, T.U.; Irie, H.; Warlimont, H. (Eds.) Springer Verlag, 2004.