

Hochtemperatur- prüfung

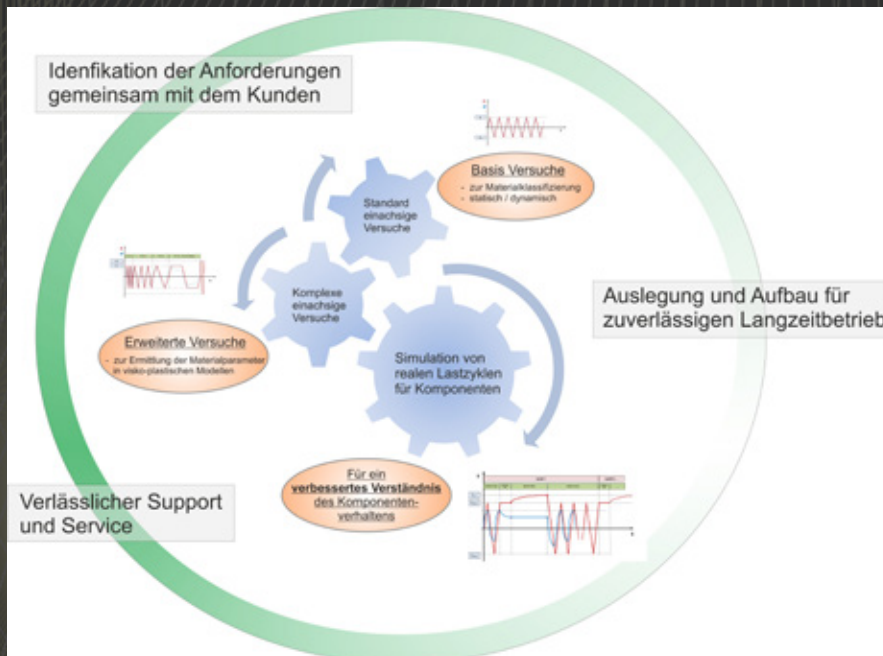
Ermitteln Sie das
Werkstoffverhalten
bei betriebsrelevanten
Temperaturen



Einleitung

Gerade bei der Hochtemperaturbelastung muss das Materialverhalten mittels geeigneter Modelle beschreibbar sein. Dies setzt fundamentale Kenntnisse der Materialeigenschaften voraus - gleichzeitig müssen geeignete Versuche definiert sein, in denen diese bestimmbar gemacht werden.

FORM+TEST erstellt hierfür gemeinsam mit dem Kunden spezifische, an die Aufgabe angepasste Prüflösungen für statische und dynamische Versuche. Neben einer Anlage, die auf einen langzeitigen Betrieb ausgelegt ist, beinhaltet das Leistungsangebot von FORM+TEST verlässlichen Support und Service für die relevanten Anlagenteile.



Assessment Konzept für erweiterte Materialprüfung

Kalibrierung

Die Prüfmaschinen werden nach DIN EN ISO 7500-1, geltend für Materialprüfmaschinen, kalibriert, i.d.R. nach Klasse 1 oder besser. Kraftmesszellen sowie Längen- und Dehnungsmessgeräte können wiederum gesondert kalibriert werden.

Alle Zertifikate entsprechen den DAkkS-Richtlinien und können nach Inbetriebnahme vor Ort ausgestellt werden. FORM+TEST hält hier entsprechende Kapazitäten bereit - in einem eigenen Kalibrierlabor, aber auch in langjährigen und bewährten Partnerschaften mit namhaften Kalibrierdienststellen. Dadurch kann FORM+TEST alle relevanten Prozesse organisieren und eine optimale Dokumentation garantieren.

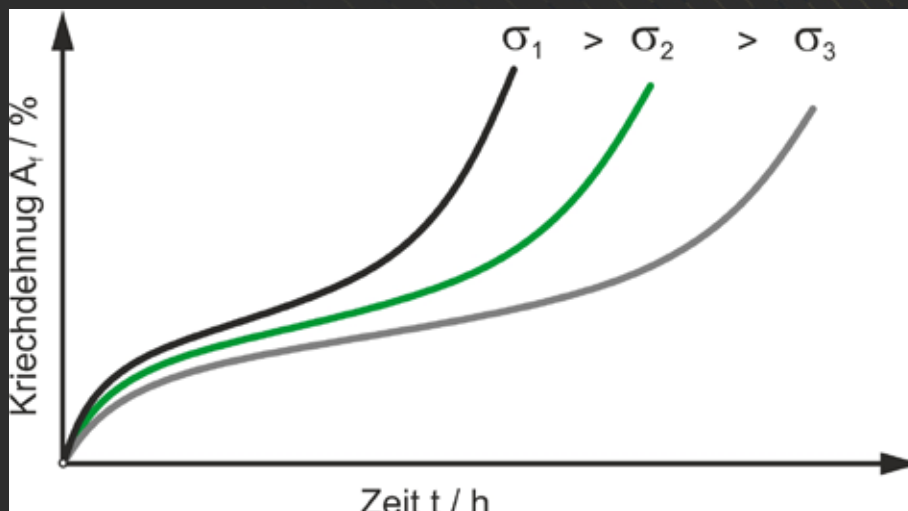
Hochtemperaturprüfung Teil I

Quasistatische Kriechbeanspruchung

Eine zuverlässige Auslegung von Hochtemperaturkomponenten basiert auf belastbaren Materialkennwerten, die in langzeitigen, meist isothermen Zeitstandversuchen bei konstanter Last ermittelt werden.

Die Prüfsysteme von FORM+TEST bieten zuverlässige, stabile und hochgenaue Lösungen für Langzeitkriechprüfung in perfekter Übereinstimmung mit den gültigen Normen. Diese umfassen beispielsweise DIN EN ISO 204 oder ASTM E 139 oder zur Ermittlung der Kerbzeitstandversprödung ASTM E 292-01 (andere Prüfnormen lassen sich auf Anfrage ebenfalls berücksichtigen). Zusätzlich sind Relaxationsversuche nach DIN EN ISO 10319 und ASTM E 328 möglich.

Für diese anspruchsvollen Prüfungen wird neben unterschiedlichen Maschinenkonzepten auch verschiedenes Zubehör bereitgestellt, das Ihr Prüflabor mit dem vollen Umfang der benötigten Prüfkapazität ausstattet.



Das Maschinenkonzept

- Hebelarm-Maschinen mit Totgewicht bis 100 kN
- aktiv geregelte Ein- oder Zweispindel elektromechanische Systeme bis über 250 kN

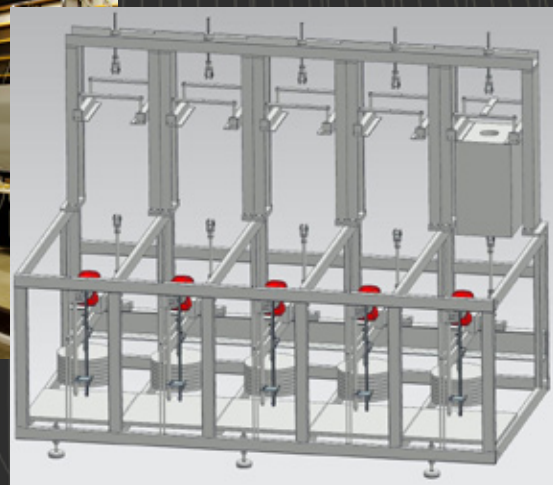
Temperaturregelung

Um die geforderte Probentemperatur in langzeitigen Versuchen aufzubringen, müssen zuverlässige Heizsysteme verwendet werden. Die dabei garantierte maximale Betriebstemperatur kann dauerhaft aufrechterhalten werden, ohne die Lebensdauer der Heizelemente nennenswert zu beeinträchtigen. Sollte es im unwahrscheinlichen Fall dennoch zum Versagen eines Heizelementes kommen, lässt sich dieses einzeln austauschen, was Kosten und Zeit spart. Gleiches gilt für die Mess- und Regelthermoelemente des Ofens. Auf Anfrage stellt FORM+TEST ein Temperaturprofil des Laststrangs bereit - dieses wird bei den Vorabnahmeversuchen erstellt. Je nach Maximaltemperatur werden unterschiedliche Heizsysteme verwendet.

- a) Klimakammern bei niedrigen bis mittleren Temperaturen bis 350°C
- b) 3-Zonen Strahlungsöfen bei Temperaturen bis 1700°C



Beispiel für Zeitstandprüfungssystem mit integrierten Öfen



Mess- und Regelsystem mit Software

Zur sicheren und zuverlässigen Messdatenspeicherung der Temperaturverläufe und anderer Messgrößen bei nicht aktiv geregelten Totgewichtsmaschinen ist ein flexibles Datenerfassungssystem integriert. Bei aktiv geregelten Maschinen, zum Beispiel im Relaxationsversuch, wird der FORM+TEST Regler **DIGIMAXX**[®] mit einem passenden Softwarepaket eingesetzt.

Klimakammer

Bei mittleren Temperaturen und der Kombination der Prüfung unter Nicht-Luftatmosphäre bietet FORM+TEST die Möglichkeit, entsprechende Prüfkammern zu integrieren. Diese können ein Sichtfenster sowie entsprechende Durchführungen für Laststrang und Messequipment beinhalten.

Die Abmessungen lassen sich kunden- und anwendungsspezifisch erstellen und anpassen.

Wichtige Punkte zusammengefasst:

- Abmessungen (BxTxH) : kundenspezifisch
- max. verfügbare Temperatur: 350°C
- max. Betriebsdruck: 1.5 MPa
- Durchführungen für Zugstangen und Messleitungen



Beispielfoto Klimakammer

Kontinuierliche Dehnungsmessung

Aktuelle Untersuchungen neuer Konzepte für die Auswertung der Zeitstandfestigkeit, die vor allem durch die ECCC (European-Collaborative-Creep-Committee) erfolgten, zeigen die Wichtigkeit von kontinuierlicher Dehnungsmessung bei der oft notwendigen Extrapolation der Zeitstandfestigkeit auf.

FORM+TEST bietet dafür geeignete kontaktierende Extensometer mit keramischen Komponenten für den Einsatz bei höchsten Temperaturen und einer verlässlichen Dehnungsmessung.

Wichtige Punkte zusammengefasst:

- max. Temperatur (aktuell): 1100°C
- max. Temperatur (nach Abklärung): 1700°C
- Langzeiterfahrung im Betrieb

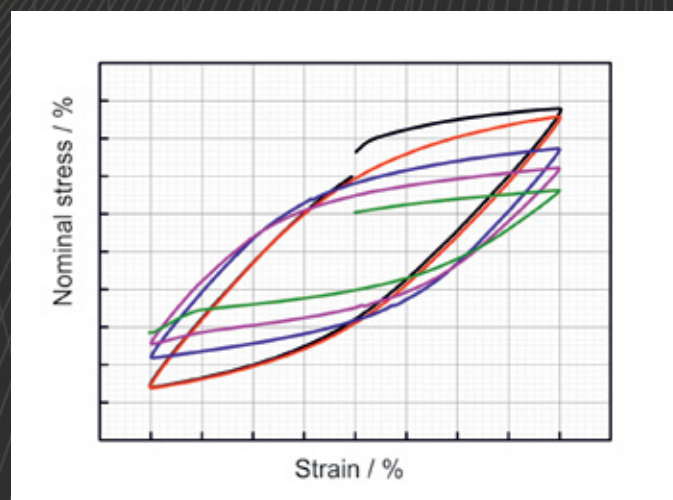


Extensometer zur kontinuierlichen Dehnungsmessung

Hochtemperaturprüfung II

Ermüdungsversuche (LCF / HCF)

Durch die flexible Fahrweise der Kraftwerke müssen die Grenzen der Ermüdungsbelastung für einen sicheren Betrieb bekannt sein. Materialeffekte bei elastisch-plastischer Wechselbeanspruchung sind von herausragender Bedeutung bei der Formulierung von modernen und präzisen Materialmodellen. Dazu bietet FORM+TEST geeignetes Prüfequipment an, um die gängigen Versuche nach Norm, wie etwa ASTM E606 oder ASTM E2714, verlässlich durchzuführen.



Das Maschinenkonzept

- a) elektromechanische Antriebe bei geringeren Prüffrequenzen
- b) hydraulische Prüfsysteme für höchste Prüffrequenzen

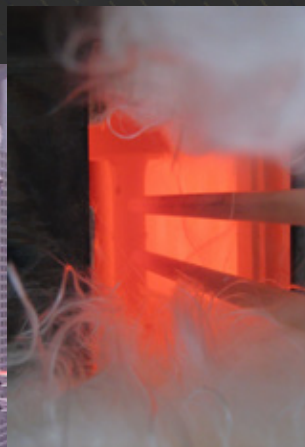
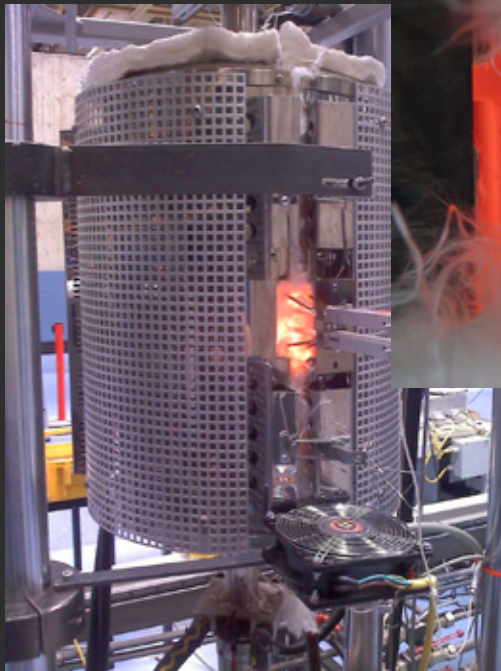


Beispiel für elektromechanische Prüfmaschine

Temperaturregelung

Es sind die gleichen Systeme geeignet wie für quasistatische Prüfungen, die bereits im ersten Teil beschrieben sind:

- a) Klimakammern bei niedrigen bis mittleren Temperaturen bis 350°C
- b) 3-Zonen Strahlungsofen bei Temperaturen bis 1700°C
- b) Vakuum-Heizsysteme bis 2000°C



Beispiel Verwendung eines 3-Zonen-Ofens zur Probenbeheizung (*)

Mess- und Regelsystem mit Software

Zur Messung und Regelung bei jedweder Anforderung sind hochauflösende 64-bit **DIGIMAXX**[®] Digitalregler verfügbar, die sich je nach Anforderungen für Mehrkanalprüfungen erweitern lassen (beispielsweise bei kombinierter Tension+Torsion Prüfung). Die Datenaufzeichnung erfolgt hierbei in allen zur Verfügung stehenden Kanälen synchron. Alle angeschlossenen Messgeräte lassen sich dabei sowohl zur Messung als auch zur Regelung verwenden. Mit der eingesetzten **PROTEUS**^{PRO A} Software können völlig flexible Prüfabläufe erstellt werden – vom einfachen Ermüdungsversuch bis hin zu komplexen bauteilähnlichen Beanspruchungsabläufen.



Siehe Prospekt DC 100.01

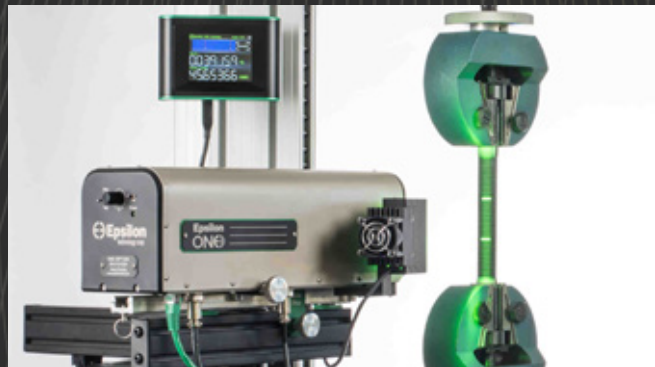
(*) Bilder mit freundlicher Unterstützung der MPA Stuttgart

Bestimmung der Verformung und Dehnung

Für die Bestimmung des Materialverhaltens im viskoplastischen Bereich sind zuverlässige Dehnungsmessungen selbst bei kleinsten Verformungen von zentraler Bedeutung - dazu werden die Öfen und Klimakammern mit entsprechender Zugänglichkeit ausgestattet, für berührende als auch berührungslose Extensometer.

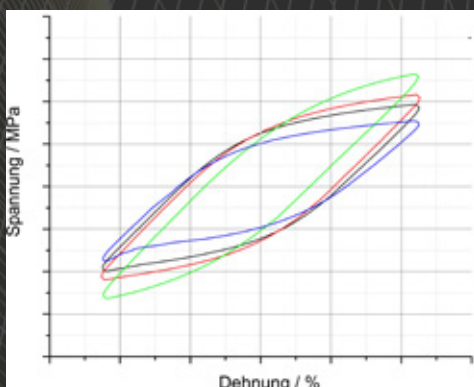


Berührende Messung

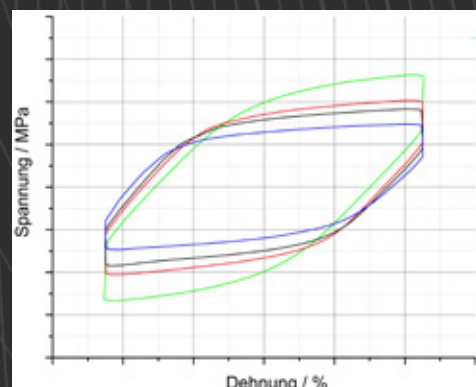


Berührungslose Messung (*)

In Langzeit-LCF- oder Relaxationsversuchen sowie bei Versuchen mit großen Anfangsmesslängen weist das FORM+TEST Prüfsystem große Vorteile hinsichtlich der Zuverlässigkeit auf. Da das Extensometer die Probe umschließt, wird ein Abrutschen der Extensometerstäbe verhindert. Besonders bei Langzeitprüfungen wird durch die kombinierte Anwendung von induktiven Wegsensoren und der keramischen Einspannteile eine Temperaturdrift deutlich minimiert. Dies konnte in Langzeitversuchen mit Laufzeiten bis über 1000 h nachgewiesen werden.



a)



b)

Reale LCF-Versuchsdaten mit Messgestänge, a) ohne, b) mit Haltezeit.

Neben dem von FORM+TEST entwickelten Messgestänge für stabile Langzeitversuche werden unterschiedliche Lösungskonzepte verwendet, je nach Anforderung mit folgenden Eckdaten:

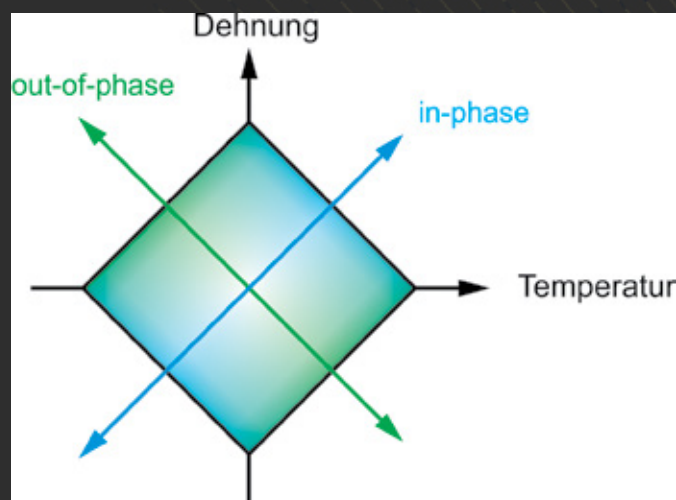
- max. verfügbaren Temperatur: 1650°C
- bei Prüffrequenzen bis 200 Hz
- bei korrosiven Medien
- für Biaxialprüfung
- für Prüfungen bruchmechanischer Proben

(*) Bild mit freundlicher Unterstützung von Epsilon

Hochtemperaturprüfung III

Thermo-Mechanical-Fatigue (TMF) Prüfung

Während des Betriebs von warmgehenden Komponenten kann sich neben einer veränderlichen mechanischen Belastung eine Transiente in der Temperatur ergeben. Diese Temperaturschwankungen führen in der Regel zu zusätzlichen mechanischen Spannungen im Bauteil. Zur Analyse der Interaktion von überlagerter, zeitlich veränderlicher, mechanischer und thermischer Belastung, muss das temperaturabhängige Materialverhalten bekannt sein, um das Komponentenverhalten numerisch zu beschreiben und die Lebensdauer zu berechnen. Dafür bieten die Prüfsysteme von FORM+TEST geeignete Möglichkeiten, um speziell thermomechanische Ermüdungsversuche nach ISO12111 oder ASTM E 2368 durchzuführen.



TMF-Prüfung, schematisch

Das Maschinenkonzept

- a) elektromechanische Antriebe bei geringeren Prüffrequenzen
- b) hydraulische Prüfsysteme für höchste Prüffrequenzen



Beispiel für servohydraulische Prüfmaschine

Temperaturregelung

Um die Temperatur auf die Probe aufzubringen, werden in TMF-Prüfungen typischerweise Induktivheizsysteme verwendet. Diese bieten höchste Flexibilität und ausreichend hohe Temperaturtransienten. Die Probe kann zusätzlich aktiv gekühlt werden.

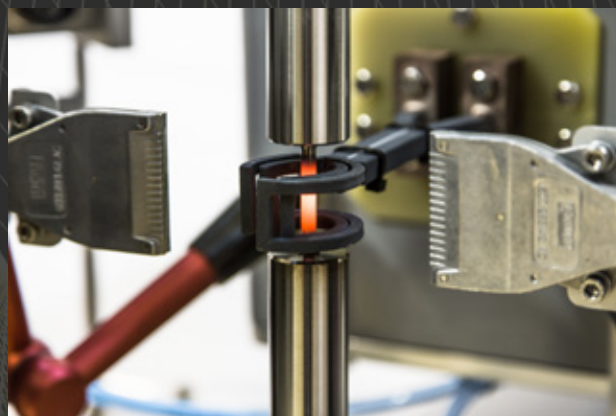
FORM+TEST stellt bei Bedarf ein Temperaturprofil über dem Laststrang bereit, welches in einem Vorabnahmeversuche standardmäßig erzeugt wird. Mit dieser Vorabnahme ist jedoch nicht der „Kraft-0“ Versuch gemeint, bei dem die reine thermische Dehnung ermittelt wird. Die Bestimmung des (temperaturabhängigen) Ausdehnungskoeffizienten ist notwendig, um während des Versuchs die Anteile von thermischer und mechanischer Dehnung zu bestimmen. Mit den üblicherweise verwendeten Hochtemperaturextensometern kann in der Regel nur die Gesamtdehnung als Summe aus thermischer und mechanischer Dehnung gemessen werden.

Sind nur langsame Temperaturtransienten gefordert, kann die TMF Prüfsoftware auch in Kombination mit gewöhnlichen 3-Zonen Strahlungsöfen verwendet werden, wie beispielsweise an LCF- oder HCF-Prüfmaschinen.

Induktionsheizsystem

Für höchste Temperaturtransienten bietet FORM+TEST ein ins Prüfsystem integriertes induktives Heizsystem mit unterschiedlichen Leistungsstufen an. Das System wird dabei an die Probenform, die Materialeigenschaften und die Anforderungen an die Temperaturgradienten angepasst. Zur geregelten Probenkühlung kann zusätzlich Pressluft, Schutzgas oder bei Thermoschockversuchen Wassernebel eingesetzt werden.

Die Temperaturregelung kann dabei sowohl über kontaktierende Thermoelemente als auch über berührungsfreie Pyrometer erfolgen und ist im **DigiMaxx**[®] Regler integriert.



Probenbeheizung (*)

(*) Bild mit freundlicher Unterstützung von iew

Wichtige Punkte zusammengefasst:

- Adaption der Induktoren für besondere Anforderungen an Material und Geometrie
- variabler Leistungsinput
- Betrieb nur in nicht-leitenden Atmosphären

Kalibrierung Temperaturfeld

Neben der Homogenität des Temperaturfeldes muss vor allem die korrekte Messung der Temperatur bei induktiver Erwärmung gewährleistet sein. Dazu muss die Anlage mit unterschiedlichen Messmitteln validiert und überprüft werden. Dies kann vor der Auslieferung durch uns oder mittels beratender Unterstützung erfolgen.

Dehnungsmessung

Bei einem TMF-Versuch müssen die einzelnen thermischen und mechanischen Anteile der Gesamtdehnung immer bekannt sein, um eine korrekte Bewertung des Materialverhalts zu ermöglichen. Durch die auch im LCF-Bereich eingesetzten robusten und hochgenauen Dehnungsaufnehmer kann dies auch für die TMF-Versuche ermöglicht werden. Die Bestimmung der thermischen Dehnungsanteile erfolgt, wie bereits beschrieben, in einem Vorversuch.

Mess- und Regelsystem mit Software

Auch bei TMF-Versuchen setzt FORM+TEST auf Digitalregler der **DIGIMAXX**[®]-Serie. Mit der eingesetzten PROTEUS^{PRO A} Software können völlig flexible Prüfabläufe erstellt werden – vom klassischen in-phase und out-of-phase TMF-Test hin zu komplexen komponentenähnlichen Belastungszyklen.

Zusätzliche Prüffunktionen und Zubehör

Um die vorhandenen Standardprüfabläufe zu erweitern und weitere Möglichkeiten zu bieten, ist unterschiedliches Zubehör mit passenden Softwarepaketen und Integration in die Regelkreise verfügbar.

- a) Risswachstumsmessungen zum Beispiel nach ASTM E1457 oder ASTM E647 mit Anwendung der Potentialsondentechnik
- b) Ausrüstung und Adapter für unterschiedliche Bruchmechanikversuche (statisch und dynamisch)
- c) Klimakammern für unterschiedliche Fluidatmosphären (Schutzgas, korrosive Medien) bis hin zu überkritischem Dampf
- d) Dehnungsmessung mit berührenden und nicht-berührenden Extensometern

Potentialsonde

Mittels der Messung des elektrischen Potentials kann ein Rissfortschritt online während des Versuchs zuverlässig gemessen werden.

Hierzu kann FORM+TEST eine Potentialsonde integrieren, welche bereits in vielen Langzeit-Hochtemperaturprojekten getestet und validiert wurde. Die Potentialsonde wird mit einer geeigneten Datenaufzeichnungssoftware ausgeliefert, welche auch das Aufzeichnen von benutzerdefinierten Formelberechnungen aus den Messwerten zulässt. Die erzeugten Messwerte können wiederum in den **DIGIMAXX**[®] Reglern von FORM+TEST eingespeist und zur Regelung der Versuche angewandt werden. Der jeweilige Anwendungshintergrund wird speziell beim Aufbau des Systems berücksichtigt. Für ein optimales Verständnis der Anlage wird ein speziell abgestimmtes Benutzertraining empfohlen.

Wichtige Punkte zusammengefasst:

- verfügbar in Gleich- und Wechselstromtechnik
- erweiterbar über Multiplexer
- digitale Datenerfassung und Auswertung



Beispiel Potentialsonde (**)

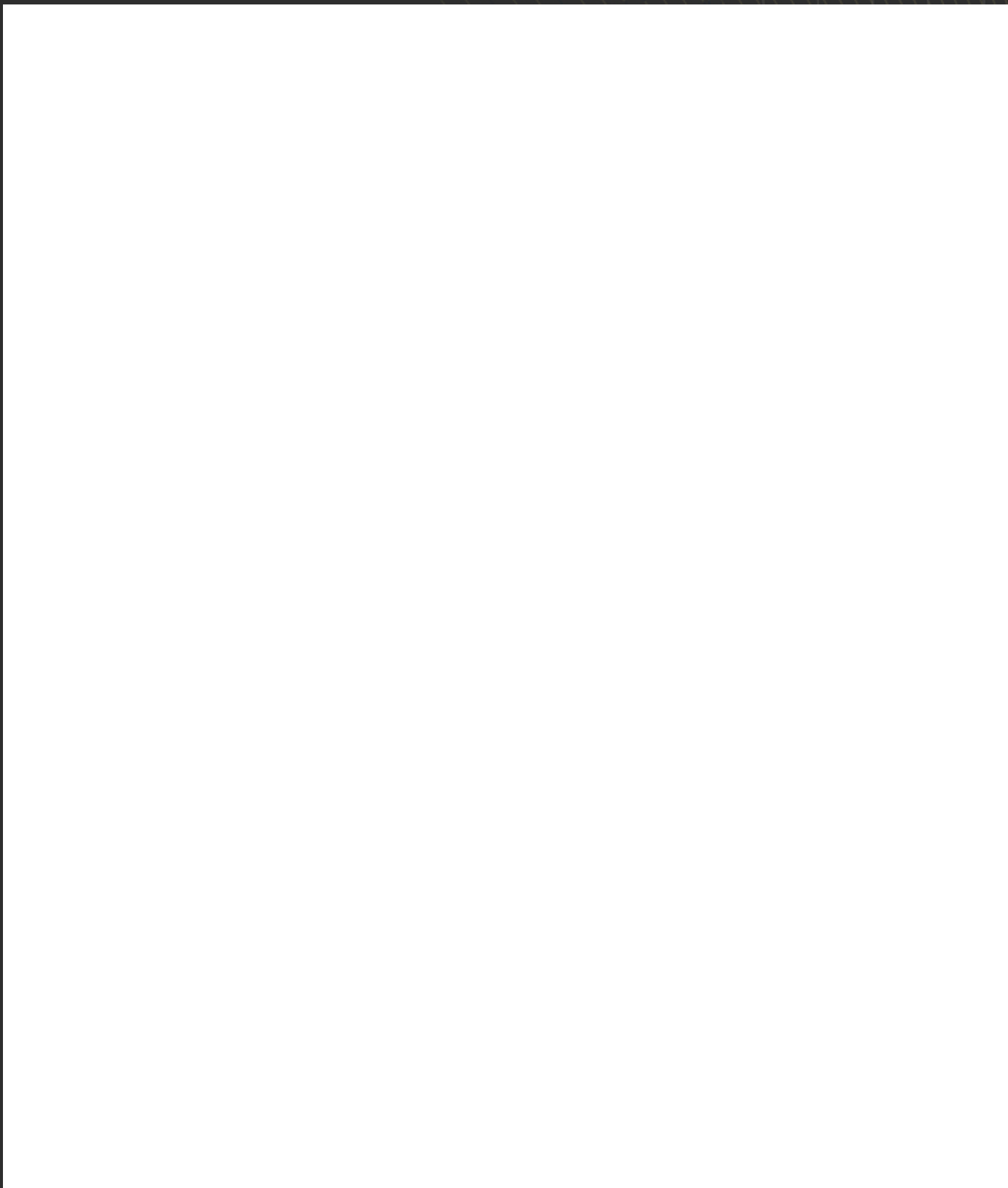


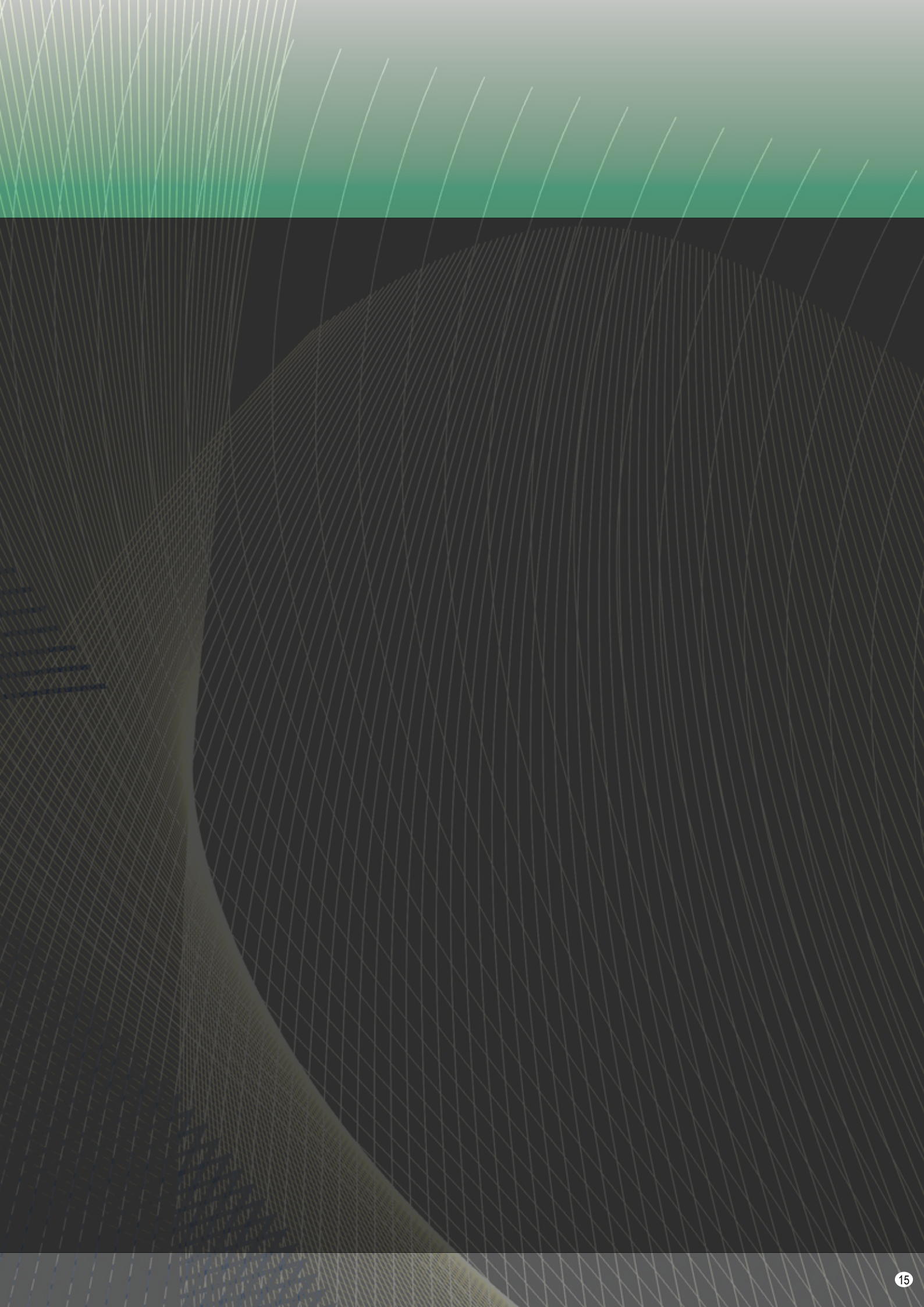
Beispiel Applikation einer Potentialsonde (*)

(*) Bild mit freundlicher Unterstützung der MPA Stuttgart

(**) Bild mit freundlicher Unterstützung von Matelect

Notizen







FORM+TEST Seidner & Co. GmbH
Zwiefalter Str. 20
88499 Riedlingen
Deutschland

Tel.: +49 7371 9302-0
Fax: +49 7371 9302-99

info@formtest.de
www.formtest.de



 made
in
Germany

