

International Journal for Nuclear Power

atw

2026 **1**



**Pragmatismus, Deregulierung und schutz-
zielorientierte Betreiberverantwortung
als Erfolgsfaktoren für erfolgreichen Rückbau**

Stellungnahme zur beabsichtigten Festlegung
der allgemeinen Netzentgeltsystematik

Digitale Lösungen für Kompetenzentwicklung und
Genehmigungsmanagement im Rückbau



Werkstoffprüfung für die Nuklearindustrie

Zugversuch unter Kontrolle: Prüfmaschine nach RCC-M aufgerüstet

› Nadja Müller, Michael Müller

Zugproben und Kerbschlagversuche im Rahmen der Werkstoffprüfung gehören zu den Anforderungen eines französischen Kernenergiespezialisten, der diese von akkreditierten Prüflaboren durchführen lässt. Er stellt höchste Anforderungen an die Versuche, die genau überwacht und bis ins Detail dokumentiert werden müssen. Dafür ließ ein deutsches Prüflabor in Zusammenarbeit mit einem Prüfmaschinenspezialisten im Zuge einer Neuanschaffung eine Universalprüfmaschine so aufrüsten, dass sie die geforderten Daten generiert, die Versuche kleinteilig überwacht und reproduzierbar macht.

FRAMATOME, ein französisches Unternehmen, das Kernkraftwerke entwickelt, baut und instand hält, beauftragt Prüflabore mit mechanisch-technologischen sowie metallographischen Untersuchungen sowie der klassischen Werkstoffprüfung mit Zug- und Kerbschlagbiegeversuchen. Der Zugversuch ist einer der wichtigsten Versuche in der mechanisch-technologischen Werkstoffprüfung, da er es erlaubt, zahlreiche Kenngrößen auf einmal zu ermitteln: Daten zu Streckgrenze, Zugfestigkeit oder Dehnung fließen alle in die statistische Bewertung eines Bauteils ein.

In den Verfahren werden die verschiedensten Stahlgüten (Ferrit, Austenit und Duplex Werkstoffe), die im Nuklearbereich Anwendung finden, für die jeweiligen Gefahrenbereiche Q1 bis Q3 geprüft. Generell werden im Nuklearbereich nicht nur die Prüf- und Versuchsdaten, sondern auch das Restmaterial inklusive der geprüften Proben für mindestens 30 Jahre aufbewahrt: Die Bruchflächen der Proben werden speziell verpackt, vakuumiert und in einem Spezialdepot beim Kunden eingelagert. Hintergrund ist, dass im Falle von Störungen oder Problemen diese Rückstellmuster sowie Prüf- und Versuchsdaten zur Findung herangezogen werden.

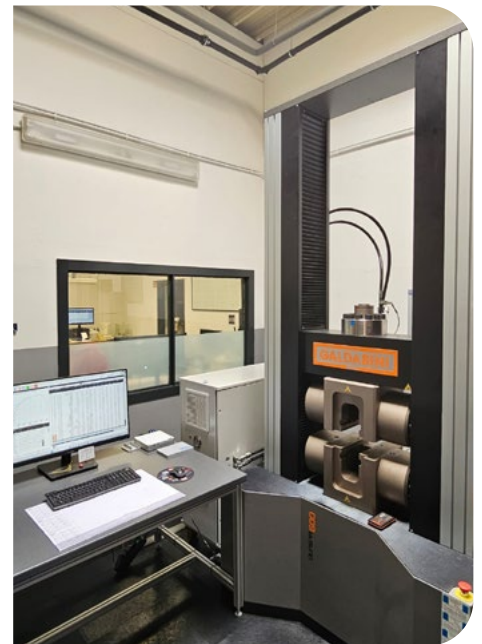
Schärfere Anforderungen an die Werkstoffprüfung und ihre Dokumentation

Nun wurde in der Vergangenheit bei internen Nachprüfungen seitens FRAMATOME sowie EDF Energy (Électricité de France) festgestellt, dass Zug- und Kerbschlagbiegeversuche nicht normkonform bzw. korrekt

durchgeführt worden waren. FRAMATOME bzw. das Regelwerk RCC-M, die französische Richtlinie für die Konstruktion von Komponenten für Druckwasserreaktoren, hat deswegen die Anforderungen an die Werkstoffprüfung insgesamt massiv erhöht: Von den durchführenden akkreditierten Prüflaboren werden nun genauere Ergebnisse verlangt. In der Vergangenheit wurden bei Zugversuchen XY-Diagramme erzeugt, um zum Beispiel Kraft und Weg oder Spannung und Dehnung abzubilden. Diese Daten erlaubten aber keine Kontrolle der Versuchsgeschwindigkeit: Man konnte nicht live nachvollziehen, wie schnell ein Zugversuch stattfand und es gab auch keine Sensorik, um das einzusehen. Auch die korrekte Funktion der Maschine ließ sich daraus nicht ableiten – etwa, ob es zu Verwindungen beim Versuch oder Reibung wegen einer verrutschten Probe gekommen war. Der Versuch wäre dann nicht normkonform abgelaufen – und dennoch würde der Probe ihr Zertifikat ausgestellt, weil die ermittelten Werte logisch sind. Entsprechend wurden nun die Anforderungen an die Dokumentation der Versuche erhöht: Nicht veränderbare Versuchsdaten aller Maschinen und Ergebnisparameter, die Rohdaten, müssen erzeugt werden und in verschiedenen Diagrammen vorliegen, um damit den reibungslosen Ablauf des Versuchs nachvollziehen zu können.

Für das GWQ GmbH & Co. KG Prüflabor stellte diese Anforderung eine besondere Herausforderung dar. Das Labor ist im Bereich der zerstörenden Werkstoffprüfung auf spezielle Anwendungsbereiche spezialisiert und unter anderem für Prüfungen im Bereich der Schweißtechnik (u. a. AD 2000); NORSOK-Standards

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
Testname	Testverfahren	Testart	GWQ No.	Bediener	Standard	Versuch	Test Temp.	Maschine	Kunde						
RCC-M	DIN EN ISO 6892-1	Zugversuch	1425-2023-4	Müller	MC1211	17.06.2025	25,1 Q600	xxx							
Probenart	Serie Nr.	LOG Nr.													
Flachprobe	1	1													
Name	Extensometer	Anfangsmess													
Einheit	mm	mm	mm	mm	mm	mm	EOK	curve OK							
	3,51	40	40				yes	yes							
Name	Breite														
Einheit	mm														
	12,51														
Name	E-Modul	Reh	Rp 0,2	Rt 0,5	Rp1,0	Fm	Rm	A5,65							
Parameter															
Einheit	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	kN	MPa	%							
	182.591		815	762	909,4	42,8	974,8	11,9							
Kraft	Deformation	Deformation	Traverse	Dauer	Phase	Gleichmaß-	Deformation	Spannung	Dehnung	Wahre	Wahre	Wahre	Länge L0	Länge Le	Länge Lc
	n Dehnung	Einschnürung	Versuch	Versuch		Deformation	%	MPa	%	MPa	mm/mm	mm/mm	mm	mm	mm
	kN	µm	µm	mm	s	mm/mm	%	MPa	%	MPa	mm/mm	mm/mm	mm	mm	mm
0,515	0,0	5	0,00	0,67	1	0,000	0,000	11,7	0,00	11,72	0,000	0,000	40,00	40,00	100,00
0,516	0,0	5	0,00	0,68	1	0,000	0,000	11,8	0,00	11,76	0,000	0,000	40,00	40,00	100,00
0,518	0,0	4	0,00	0,69	1	0,000	0,000	11,8	0,00	11,80	0,000	0,000	40,00	40,00	100,00
0,520	0,0	4	0,00	0,70	1	0,000	0,000	11,8	0,00	11,83	0,000	0,000	40,00	40,00	100,00
0,521	0,0	4	0,00	0,71	1	0,000	0,000	11,9	0,00	11,87	0,000	0,000	40,00	40,00	100,00
0,523	0,0	5	0,00	0,72	1	0,000	0,000	11,9	0,00	11,91	0,000	0,000	40,00	40,00	100,00
0,524	0,0	5	0,00	0,73	1	0,000	0,000	11,9	0,00	11,94	0,000	0,000	40,00	40,00	100,00
0,526	0,0	4	0,00	0,74	1	0,000	0,000	12,0	0,00	11,98	0,000	0,000	40,00	40,00	100,00
0,528	0,1	4	0,00	0,75	1	0,000	0,000	12,0	0,00	12,03	0,000	0,000	40,00	40,00	100,00
0,530	0,1	5	0,00	0,76	1	0,000	0,000	12,1	0,00	12,07	0,000	0,000	40,00	40,00	100,00
0,533	0,1	4	0,00	0,77	1	0,000	0,000	12,1	0,00	12,13	0,000	0,000	40,00	40,00	100,00



(Offshore-Anwendungen), Gashochdruckanwendungen DVGW (z.B. Verfahrensprüfung der Schweißnähte für Wasserstoffanbindungen und LNG-Terminals). Die Rohdaten mussten im Nachgang jedes Versuchs manuell erzeugt werden, da eine Automatisierung nicht durchgängig möglich war: Aus Exceldateien mit den Versuchsdaten wurden Ergebnisse gefiltert, Daten formatiert und Diagramme erzeugt; der Export der Zahlenkolonnen des Diagramms und der Graphen musste manuell angestoßen werden. Eine solche Bearbeitung war aufwändig und fehleranfällig.

Neben den Rohdaten forderte die FRAMATOME außerdem eine präzise Überwachung der Versuche, die live einsehbar sein müssen. Eine weitere Vorgabe, insbesondere beim Zugversuch bei erhöhten Temperaturen (Warmzugversuch), waren eine komplette Aufzeichnung der Aufheizraten.

Universalprüfmaschine für den Maschinenpark

Anfang 2024 wurde innerhalb der GWQ GmbH & Co.KG beschlossen, den Prüfmaschinenpark um eine weitere Universalprüfmaschine zu erweitern. In diese Prüfmaschine sollten die oben genannten Entwicklungsschritte implementiert werden und im Idealfall automatisiert erfolgen. Die Zugprüfmaschine sollte entsprechend modifiziert werden, um die Versuche regelkonform durchführen zu können und gleichzeitig alle relevanten Daten zu erzeugen, die die nuklearen Regelwerke verlangen.

Als Partner, um diese Vorgaben umzusetzen, wurden der Prüfmaschinenhersteller GALDABINI und die SCHÜTZ+LICHT Prüftechnik GmbH ausgewählt. Laborleiter Michael Müller berichtet: „Aus Erfahrung wissen wir, dass andere Prüfmaschinenhersteller diese enge Zusammenarbeit und Umsetzung von Ideen nicht anbieten können, auch weil ihre Maschinen, hinsichtlich Elektronik und Software festgelegt sind.“

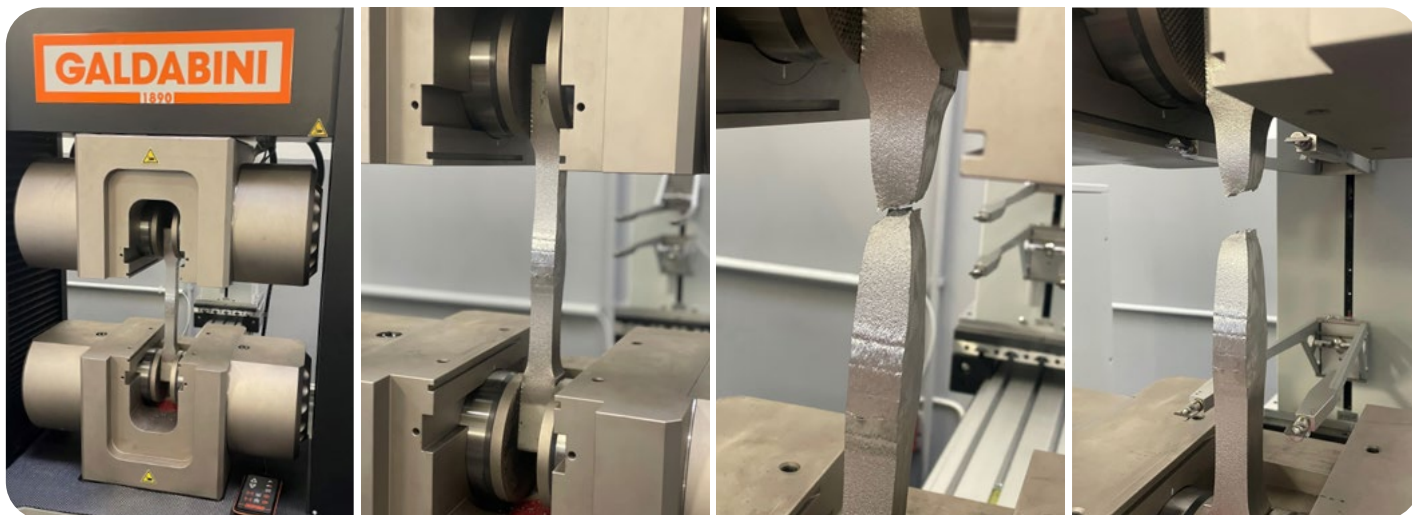
Die Universalprüfmaschine Quasar 600 deckt nun die Werkstoffprüfung in einer besonders hohen Detailtiefe ab – über verschiedene Bauteile und Baugruppen hinweg. Es wurden Sensoren eingebaut, um die Aufheizraten des Ofens zu überwachen, die Software der Maschine angepasst, die ursprünglichen Prüfparameter-Anzeigen im Display von drei auf acht erweitert und die Exportmöglichkeiten für Daten erhöht. Außerdem wurden zusätzlich Features wie Kontrollfenster für „Live“-Geschwindigkeiten, Verfahrenswege und deren jeweiligen Umrechnungen z.B. MPa/min entwickelt, um die Überwachungstätigkeit der Inspektoren zu erleichtern.

Die Vorteile

Ein Zugversuch erzeugt nun die erforderliche Vielzahl von Diagrammen wie Kraft/Weg, Spannung/Dehnung oder Geschwindigkeitszunahme. Bei Bedarf können auch andere Kombinationen generiert werden. Alle Daten wie Ergebnisse, Versuchsbedingungen, aber eben auch die Zahlenkolonnen aller Kanäle (Kraft, Traversenweg, Dehnungsmesser, Zeit, Geschwindigkeit oder Dehngeschwindigkeit) werden automatisch in die Export-Datei eingefügt. Durch das integrierte Monitoring kann nun nachvollzogen werden, dass im Versuch Regeltechnik und Geschwindigkeit eingehalten wurden.

Die neue Maschine erlaubt es mit ihren acht Kontrollfenstern, alle relevanten Daten live einzusehen. Die Aufzeichnung erfolgt parallel und macht den Versuch jederzeit nachsimulierbar. Bei Bedarf kann jeder Versuchsablauf nachvollzogen werden: Taucht in der Regeltechnik der Maschine ein unerwarteter Peak oder ein Fehlerwert auf, erlauben es die Daten, die Ursache zu finden.

Das Volumen der Rohdaten ist durch das extensive Monitoring massiv angewachsen – auf rund 200.000



Zeilen in einem Excelldokument pro Versuch. Sämtliche Fragen während der Prüfungen können auf Basis dieser umfangreichen Rohdaten beantwortet werden, die den Sachverständigen in vollem Umfang zur Verfügung gestellt werden. Sie können sämtliche relevante Prüf- und Verfahrensdaten einsehen und auswerten. Das wiederum verkürzt die Zeit, die für Fragen anfällt und hilft auch bei Reklamationen, da man auf eine lückenlose Dokumentation verweisen kann.

„Um die Anforderungen des RCC-M Codes zu erfüllen, mussten wir das Konzept des Warmzugversuchs überdenken. Das Monitoring startet normalerweise erst beim Start des Zugversuchs,“ führt Laborleiter Michael Müller weiter aus. Durch den Einsatz von zusätzlichen, externen, kalibrierten Thermoelementen und einer entsprechenden Aufzeichnungsmöglichkeit wurden die Anforderung an den Warmzugversuch umgesetzt. Die Software steuert die Thermoelemente, die Temperaturanzeigen, und stellt sicher, dass sie nicht übergeregelt werden. Die Aufheizrate beim Warmzugversuch kann mittels 100-prozentiger Überwachung den Nachweis erbringen, dass kein Überspringen der Temperatur stattgefunden hat, das heißt, dass während des Aufheizvorgangs die Prüftemperatur nicht überschritten wurde: Gemäß dem RCCM-Code darf ein Warmzugversuch eine maximale Geschwindigkeit von 80 Megapascal pro Minute aufweisen. Die Kraftzunahme pro Zeit kann in der Software eingestellt und im Versuch in einem Live-Diagramm beobachtet werden. Das erlaubt es, auch Ruckler im Millisekundenbereich wahrzunehmen.

Das Monitoring kann auf alle Versuchsarten wie Druck-, Biege und zyklische Versuche adaptiert werden: Dabei wird für eine lückenlose Dokumentation jeder Tastendruck und jeder Versuchspunkt aufgezeichnet.

Ein weiterer Vorteil gerade für die Zusammenarbeit mit der französischen FRAMATOME: Mit einer Taste kann die Sprache der Benutzeroberfläche umgestellt werden. „Der Sachverständige kann dann alle Schritte in seiner Muttersprache nachvollziehen,“ schildert

Müller. Außerdem ist es möglich, die Oberfläche individuell anzupassen.

GWQ erfüllt damit die Anforderungen des RCCM-Codes der Nuklearindustrie: In enger Zusammenarbeit mit den Inspektoren von FRAMATOME und EDF sowie Kunden und Endkunden wurden die Grundlagen der Anforderungen über die vergangenen fünf Jahre entwickelt und umgesetzt.

Fazit

Die französische Nuklearbehörde hat die Zügel für die Werkstoffprüfung angezogen: Zwar sind Methode und die Prüfstrategie unverändert geblieben, aber es müssen während des Versuchs deutlich mehr Informationen in größerer Detailtiefe ermittelt und ein Live-Monitoring gewährleistet werden. Ein Prüflabor schaffte eine neue Zugprüfmaschine an, um die Anforderungen der nuklearen Regelwerke umzusetzen: Sie erzeugt nun alle geforderten Rohdaten und die Aufzeichnung erlaubt es, die Versuche nachzustellen. Eventuelle technische Probleme während des Versuchs werden durch das Monitoring sichtbar.

Autoren

Nadja Müller

freie Texterin und Journalistin

Michael Müller

GWQ GmbH & Co.KG

Wolfram Schütz, SCHÜTZ+LICHT Prüftechnik GmbH