



# framatome

## 60 Jahre Framatome- Standort Karlstein:

Erfahrung, Kompetenzen und  
Innovationen für den sicheren und  
wirtschaftlichen Betrieb kerntechnischer  
Anlagen in aller Welt





# Inhalt

Grußwort der Geschäftsführung	4
Grußwort des Bürgermeisters	6
Alles begann vor 60 Jahren	7
Der Standort Karlstein Seligenstädter Straße heute	12
GAP – Der größte Armaturenprüfstand der Welt	14
INKA-Tests und Passive Sicherheitstechnik	15
KATHY – Untersuchungen zur kritischen Wärmestromdichte von Brennelementen	16
Fertigung von Heizleitern zur Simulation des thermodynamischen Verhaltens von Brennelementen	17
KADYSS – Qualifizierung der Umwälzpumpen	18
Fertigung von Abstandhaltern für Brennelemente	20
Fertigung moderner Neutronenflussinstrumentierungen für EPR-Reaktoren weltweit	22
Typ- und Wiederholungsprüfungen von Kraftwerkskomponenten	24
Hersteller- und Gerätequalifizierung am Standort Karlstein	25
Full-Scale Test der Komponenten des Reaktorkühlkreislaufes eines Siedewasserreaktors	26
Beherrschung von Störfällen – Sicherheitstechnik aus Karlstein für die Kernkraftwerke der Welt	28
Radioaktive Abfälle – Der Umwelt verpflichtet	30
Innovative Reaktor-Regelung – Unser Beitrag zur Energiewende	32
Geräte für eine zerstörungsfreie Prüfung	34
Kernkraftwerk-Simulatoren am Standort Karlstein	35
SWR Krisenstab und Systemkompetenz	36
Softwarefreie Leistungselektronik für den sicheren Betrieb	37
Analyse, Berechnung und Auslegung elektrotechnischer Systeme	40
Überwachung und Diagnose von Armaturen und Stellantrieben	41
Strukturdynamik von Bauwerken – weltweit einzigartiges Spitzen-Know-how	42
Training Center Karlstein	44
Blick in die Zukunft	46

# Grußwort der Geschäftsführung

Mit dem Framatome-Standort Karlstein existiert seit nunmehr 60 Jahren eine der am längsten bestehenden Einrichtungen für kerntechnische Entwicklung, Planung, Qualifizierung und Fertigung in Deutschland. Und auch noch heute, im Jubiläumsjahr, sind die auf jahrzehntelanger Erfahrung basierenden Fachkompetenzen und besonderen Einrichtungen genauso international nachgefragt und anerkannt wie die weltweit einzigartigen Versuchs- und Testanlagen.

## Schulterchluss mit der Gemeinde

Als sich die Kernenergieversuchsanlage von AEG im Jahr 1960 in Großwelzheim ansiedelte, waren Gemeinde und Bürger gleichermaßen fasziniert – wie auch vom zeitgleichen Bau des Versuchsreaktors Kahl. Die Zustimmung ging so weit, dass das Atomsymbol seit 1965 fester Bestandteil des Karlsteiner Gemeindewappens ist. Gemeinde und Unternehmen pflegen seit sechs Jahrzehnten einen regen Austausch, das Verhältnis ist von gegenseitiger Unterstützung geprägt.

Im selben Jahr verselbstständigte sich die Fertigung von Brennelementen für Siedewasserreaktoren und das heutige Karlsteiner Werk der Framatome-Tochter Advanced Nuclear Fuels GmbH – kurz ANF – für Brennelement-Komponenten entstand. Fortan gab es in Karlstein zwei Unternehmen mit eigenen Aufgabenbereichen.

## Internationale Entwicklung

Noch in den 1960er Jahren entwickelte sich der Standort Karlstein vom internen Entwicklungs- und Versuchszentrum zum gefragten Dienstleister für die kerntechnische Industrie in Deutschland, die damals noch im Aufbau war. Auf die stürmische Pionierzeit von 1960 bis 1975 folgte eine lange Phase, in der sich der Standort weit über die Grenzen Deutschlands hinaus mit seinen kerntechnischen Kompetenzen auch international einen guten Ruf aufbaute. →



Abb. 1  
**Carsten Haferkamp**  
Geschäftsführer  
Framatome GmbH

### Immer wieder neu ausgerichtet

Auf diesem Erfolg hat sich das Unternehmen aber nie ausgeruht: Die heutige Framatome GmbH hat das Portfolio über die Jahrzehnte hinweg immer wieder an die Marktanforderungen angepasst und neue Themenfelder etabliert. Schon von Beginn an war die Qualifizierung von Komponenten für den Einsatz in kerntechnischen Anlagen eine wesentliche Kompetenz, die bis heute weltweit von Herstellern sämtlicher Reaktortypen genauso nachgefragt wird wie von Betreibern und ihren Lieferanten. Heute nehmen zudem die Produktentwicklung und die hochqualifizierte Fertigung verschiedenster Spezialkomponenten einen großen Raum ein. Dazu zählen unter anderem die Instrumentierung zur Neutronenflussmessung, Ultraschall-Prüfsysteme für Sonderanwendungen, Diagnose- und Überwachungssysteme für Ventilantriebe, aber auch nuklear qualifizierte elektrotechnische Baugruppen sowie Systeme zur radioaktiven Abfallbehandlung. Darüber hinaus werden spezielle Lösungen für die Sicherheit von Kernkraftwerken und zum Schutz der Umwelt entwickelt. Die Framatome GmbH betreibt außerdem vor Ort ein Schulungszentrum.

Seit dem Reaktorunglück von Fukushima in Folge des Tsunami im März 2011 sind diese besonderen Kompetenzen in puncto Sicherheitstechnik international besonders gefragt, so dass die Entwicklung weiter vorangeht.

Gleichzeitig markierte dieses Ereignis auch den Beginn einer Neuorientierung für die kerntechnische Industrie in Deutschland. Im Sommer 2011 entschied die damalige Bundesregierung den endgültigen Ausstieg der Bundesrepublik aus der Kernenergie. Zugleich steigt in anderen Regionen der Welt die Nachfrage nach klimafreundlich produziertem Strom aus Kernkraftwerken. Framatome in Karlstein hat sich darauf eingestellt und durch die Neuausrichtung ihrer Kompetenzen die Vorreiterrolle als Experte für den sicheren Betrieb von Kernkraftwerken noch weiter ausgebaut.

### Blick in die Zukunft

Aufgrund der besonderen Kompetenzen und der einzigartigen Infrastruktur sieht sich der Standort im Hinblick auf die Herausforderungen der Zukunft gut aufgestellt. Er ist als wichtiger Teil von Framatome weltweit und innerhalb des EDF-Konzerns anerkannt. Somit wird die langjährige Erfahrung in der Sicherheitstechnik „Made in Karlstein“ auch weit über 2022 hinaus wichtige Impulse in der ganzen Welt setzen.

Diese sechs Jahrzehnte voller Erfolge hätte es ohne die Motivation, die besonderen Anstrengungen und das Engagement mehrerer Generationen von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern nicht gegeben. Ihnen allen gebührt höchste Anerkennung und großer Dank im Namen des gesamten Unternehmens!

**Carsten Haferkamp**  
Geschäftsführer



# Grußwort des Bürgermeisters

Die Firma Framatome GmbH betreibt seit nunmehr 60 Jahren in Karlstein zwei Standorte: Seligenstädter Straße und Am Kieswerk. An beiden Standorten sind ca. 450 Mitarbeiter beschäftigt. Somit ist Framatome einer der größten Arbeitgeber in unserer Gemeinde.

Mit der Entwicklung von Sicherheitstechnik für Kernkraftwerke, ihren Testeinrichtungen und einem Training Center bietet Framatome High-Tech-Lösungen für Brennelemente zur friedlichen Nutzung von Atomenergie.

Die entwickelten Systeme und hergestellten Bauteile „Made in Karlstein“ sind weltweit im Einsatz und erhöhen sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die Sicherheit von Kernkraftwerken.

Trotz aller mittlerweile kritischen Diskussionen zu dieser Technologie in Deutschland ist die Gemeinde Karlstein stolz auf ihre Atomgeschichte, was sich auch im Gemeindewappen widerspiegelt.



Abb. 2  
**Peter Kreß**  
1. Bürgermeister von  
Karlstein am Main

In Karlstein, vielmehr in der damals noch selbständigen Gemeinde Großwelzheim, wurde Ende der 1950er Jahre als erstes Kraftwerk dieser Art das Versuchsatomkraftwerk Kahl (VAK) gebaut und 1960 in Betrieb genommen. Mit dem Start dieser Anlage siedelten sich weitere Unternehmen der damals noch jungen Atomtechnologie in Karlstein an.

Nach 25 Jahren wurde das VAK im November 1985 stillgelegt. Dort, wo es einst stand, ist heute grüne Wiese. Mit der Stilllegung des Betriebes sind in den Folgejahren auch Aktivitäten von Firmen, die in Geschäftsbeziehungen zum VAK standen, aufgegeben worden.

Framatome aber ist bis zum heutigen Tage an ihren angestammten Betriebsstätten geblieben, worüber ich mich als Bürgermeister unserer Gemeinde sehr freue.

Ich gratuliere ganz herzlich zum 60-jährigen Standortjubiläum, auch im Namen von Gemeinderat und Verwaltung, und wünsche den beiden Standorten und der Belegschaft für die kommenden Jahre alles erdenklich Gute und weiterhin hervorragende Entwicklungsmöglichkeiten in Karlstein – auch zum Wohle der Gemeinde.

Seit vielen Jahren unterstützen uns die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter jährlich mit einer Weihnachtsspende, die wir für soziale Zwecke innerhalb unserer Gemeinde nutzen. In den letzten drei Jahren kamen die Spenden unseren drei Kindertageseinrichtungen zugute. An dieser Stelle ein großes Dankeschön von mir persönlich für diesen Beitrag an die Belegschaft.

Herzliche Grüße

**Peter Kreß**  
1. Bürgermeister

# Alles begann vor 60 Jahren

Zum 1. Januar 1957 gründete AEG die Abteilung Kernenergieanlagen. Bereits ein Jahr später, am 13. Juni 1958, wurde die Ausschreibung für das erste deutsche Kernkraftwerk, das Versuchsatomkraftwerk Kahl VAK mit einer Leistung von 16 Megawatt, gegen die Konkurrenz der Siemens-Schuckertwerke gewonnen.

Im Unterauftrag der AEG lieferte General Electric neben der Auslegung der Reaktoranlage auch die Brennelemente, die Steuerstäbe samt Antrieben, die übrigen Reaktoreinbauten sowie einen Teil der Kerninstrumentierung.

AEG war klar, dass sie nur dann ein gleichberechtigter Partner der General Electric werden konnte, wenn sie eine eigenständige Weiterentwicklung des Siedewasserreaktors betrieb. Dazu waren allerdings

eigene Versuchsanlagen zur experimentellen Absicherung der Rechenprogramme und zur Erprobung aller wesentlichen Komponenten notwendig.

Diese Kernenergieversuchsanlage sollte ursprünglich im Forschungsinstitut der AEG in Frankfurt errichtet werden. Als eines der Herzstücke war ein Prüfreaktor vom Typ Argonaut vorgesehen, der als PR-10 bezeichnet wurde. Für den PR-10 konnte AEG aber am Standort Frankfurt keine Genehmigung erhalten. So suchte sie in der Nähe des im Bau befindlichen Kernkraftwerks Kahl ein geeignetes Gelände und wurde in Großwetzheim, Seligenstädter Straße 100, fündig.

## Erste Arbeiten in der Seligenstädter Straße

Im Januar 1960 begann dort der Bau der Kernenergieversuchsanlage. Schon am 1. Oktober desselben Jahres konnte in der Technikumshalle mit zunächst 35 Mitarbeitern die Arbeit aufgenommen werden. Gleichzeitig wurde 1960 die Errichtung des Prüfreaktors PR-10 in Angriff genommen. Am 27. Januar 1961 wurde der PR-10 erstmals kritisch. →

Abb. 3  
Das **Versuchsatomkraftwerk Kahl** nahm Anfang 1961 den Betrieb auf

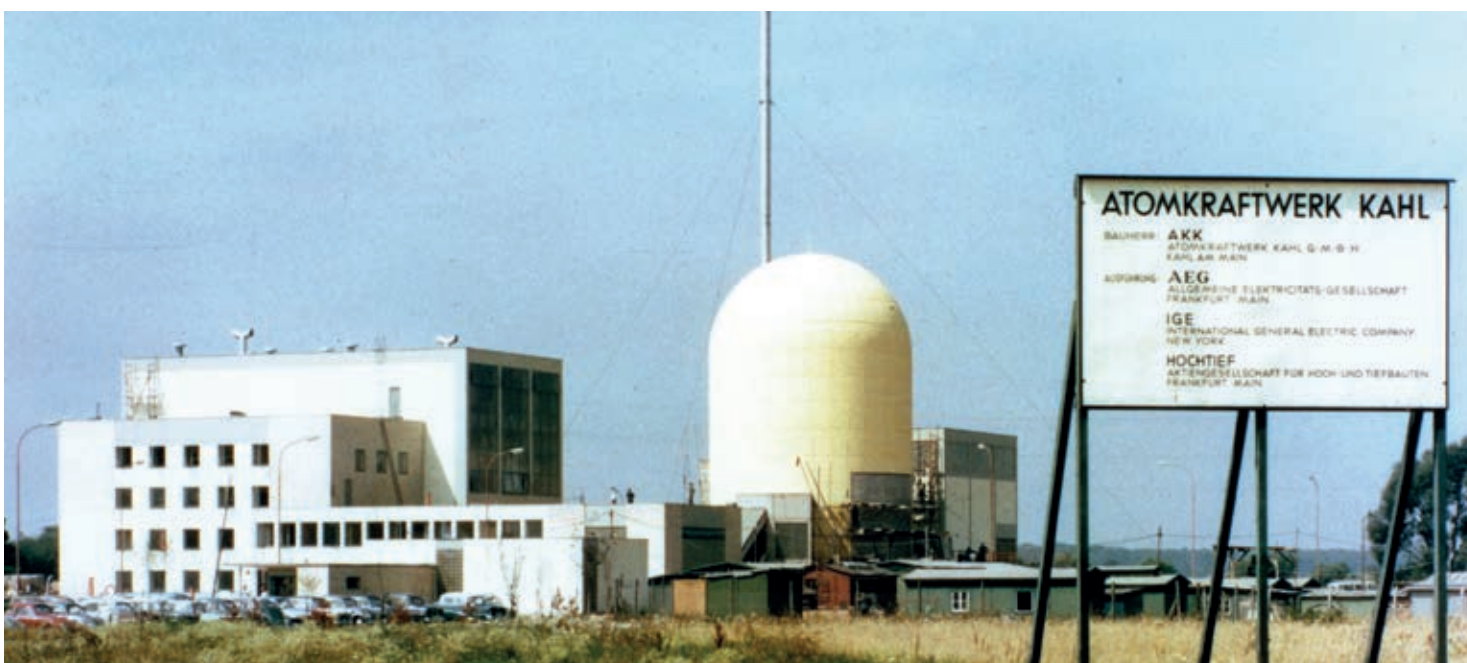


Abb. 4

Mit dem Bau der **Maschinenwerkstatt JH1 und TH1** in Großwelzheim begann 1960 die Geschichte der heutigen Framatome GmbH



Besonderer Schwerpunkt der Arbeiten wurde in der ersten Hälfte der 1960er Jahre die Entwicklung des Heißdampfreaktors. Als Versuchsanlage dieses neuartigen Konzeptes ging der Heißdampfreaktor Großwelzheim 1965 mit einer thermischen Leistung von 100 Megawatt in unmittelbarer Nachbarschaft des VAK in Bau und erreichte am 14. Oktober 1969 erstmals Kritikalität.

Für den Standort Karlstein Seligenstädter Straße bedeutete der Abschluss des erfolgreichen Projekts zugleich eine Umorientierung, da die frei werdenden Forschungskapazitäten für die Weiterentwicklung des Siedewasserreaktors dringend benötigt wurden: Die anstehenden Arbeiten erstreckten sich auf die Unterstützung von Komponentenentwicklungen durch wärmetechnische Versuche und Nachbestrahlungsuntersuchungen, Komponentenprüfungen (Steuerstabantriebe, interne Umwälzpumpen), Sonderprobleme im Zusammenhang mit Werkstoffen, der Kreis-

laufchemie und der Messtechnik sowie die Montage der Steuerstabantriebe und die Fertigung von Brennelement-Prototypen und Geräten der Inkern-Instrumentierung.

### Fertigung von Brennelementen

Zwischen 1966 und 1995 wurden am Kieswerk in Karlstein auch Brennelemente für Kernreaktoren hergestellt. Angesichts der wachsenden Zahl der in Auftrag genommenen Siedewasserreaktor-Kernkraftwerke in Europa sah AEG 1965 den Zeitpunkt gekommen, eine industrielle Fertigung von Brennelementen in Deutschland aufzubauen. General Electric (GE) als Technologiepartner der AEG war an einer Ausweitung ihres eigenen Engagements auf dem europäischen Markt interessiert und bereit, ihr Know-how einzubringen. →

Abb. 5

Die **Kernenergieversuchsanlage** 1962: links die Technikumshalle, rechts das Gebäude des PR-10





So gründeten die beiden Unternehmen am 31. Mai 1965 die Kernreaktorteile GmbH, die im Kieswerk Großwelzheim ein Werk für SWR-Brennelemente sowie für Steuer- und Absorberelemente aufbaute.

### Erster Auftrag aus Lingen

Das Werk nahm im Oktober 1966 die Brennelementfertigung mit einer Jahreskapazität von 50 Tonnen Uran (in Form von UO<sub>2</sub>) auf. Erster Auftrag war der Erstkern für das Kernkraftwerk Lingen bestehend aus 296 Brennelementen.

1970 wurde ein besonderer Auftrag bei KRT abgewickelt: Im Konsortium mit Fiat wurde der zweite Kern für das nuklear angetriebene Frachtschiff „Otto Hahn“ gefertigt.

Bis 1995 wurden 13.500 Brennelemente für Siedewasser-Reaktoren in Karlstein gefertigt, die in allen Ländern (Deutschland, Finnland, Japan, Mexiko, Spanien, Schweden, Schweiz, Taiwan und den USA),

die SWR-Kernkraftwerke betreiben, zum Einsatz kamen. Seit 1995 fertigt Karlstein keine Brennelemente mehr, dafür aber alle Typen von mechanischen Brennelementkomponenten, insbesondere Abstandhaltern für Framatome. Hier spielt der Standort insbesondere bei der Einführung neuer Produktlinien eine zentrale Rolle.

Seit Anfang 2001 gehörte der Firmensitz an der Seligenstädter Straße zu Framatome NP (als Teil des Framatome-Konzerns), die als Gemeinschaftsunternehmen von der Siemens AG und der Framatome SAS gegründet wurde. 2012 verkaufte Siemens schließlich seine Anteile an der (in der zwischenzeitlich in der AREVA integrierten) AREVA NP. Seit 2016 ist Framatome im Besitz von EdF (75,5 %), MHI (19,5 %) und Assystem (5 %). Der Standort Kieswerk gehört heute zur Framatome-Tochter Advanced Nuclear Fuels (ANF). →



Abb. 6  
**Kernreaktorteile GmbH**  
 in Großwelzheim.  
 Hier wurden seit 1966  
 Brennelemente für die  
 Kernkraftwerke auf der  
 ganzen Welt produziert

In den folgenden Jahren erfreute sich Karlstein ständig wachsender Nachfrage und Auslastung. Dabei kam zum Tragen, dass Framatome (bzw. AREVA) eine wesentlich breitere Kundenbasis hat als seinerzeit Siemens / KWU und dass Karlstein auf seinen Arbeitsgebieten an beiden Karlsteiner Betriebsstätten ein Kompetenzzentrum innerhalb der Framatome Gruppe darstellte. Hinzu kommt, dass die Kernenergie im Zusammenhang mit Maßnahmen zur CO<sub>2</sub>-Einsparung einen wichtigen Beitrag liefert und sich international im Aufwind befindet, wodurch die Leistungen von Karlstein verstärkt nachgefragt werden.

#### Zerstörungsfreie Prüfungen

In Karlstein war damals auch ein Bereich der AREVA-Tochtergesellschaft, die intelligenteNDT Systems & Services GmbH, tätig. Ihr Arbeitsgebiet war die zerstörungsfreie Prüfung von sicherheitsrelevanten Bauteilen von Kernkraftwerken. Das Unternehmen fand für seine Prüfsysteme auch außerhalb der Kerntechnik immer mehr Kunden. Mittlerweile wurde intelligenteNDT in die Framatome integriert und Mitarbeiter entwickeln am Standort Karlstein zur Ultraschallprüfung.



Abb. 7  
Heißdampfreaktor  
Großwelzheim







# Der Standort Karlstein Seligenstädter Straße heute

Der Ausstiegsbeschluss der Bundesregierung im Jahr 2011 führte zu einer Neuorientierung für die Kerntechnik in Deutschland und erhöhte die internationale Nachfrage deutscher Kompetenzen und Fähigkeiten, insbesondere im Hinblick auf Sicherheitstechnik. Vor diesem Hintergrund wurden ab 2015 die Arbeitsplätze vieler Mitarbeiter von Offenbach an den Standort Seligenstädter Straße verlegt. Die Belegschaft hat sich dadurch auf knapp 300 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verdoppelt.

Im Jahr 2020 ist die Seligenstädter Straße 100 in Karlstein mit ihrem 60-jährigen Bestehen neben den staatlichen Großforschungseinrichtungen einer der ältesten Standorte der Kerntechnik in Deutschland. Über sechs Jahrzehnte wurden viele einzigartige Kompetenzen und Einrichtungen aufgebaut und weiterentwickelt.

## Lösungen und Produkte für die Sicherheit

Hochqualifizierte Ingenieurinnen und Ingenieure am Standort entwickelten von Beginn an innovative, neue Lösungen und Produkte für Sicherheitssysteme und -komponenten. Zusammen mit den Spezialisten für Qualifizierung, Fertigung,

Test und Service existiert in Karlstein eine einzigartige Kombination von Kompetenzen in Verbindung mit einer leistungsstarken Infrastruktur. Komponenten und Systeme aus dem Exzellenzzentrum Karlstein sind weltweit erfolgreich in Betrieb.

## Schutzsysteme zur Rückhaltung radioaktiver Stoffe

Karlstein ist unter anderem auf Systeme und Einrichtungen zum Schutz der Containments bei schweren Störfällen von der Entwicklung bis hin zur Auslieferung spezialisiert. Passive autokatalytische Wasserstoff-Rekombinatoren, Systeme für die gefilterte Druckentlastung des →

Abb. 8  
Standort **Karlstein** 2016



Containments, Überwachungssysteme zur Abgabe radioaktiver Stoffe u. v. m. definieren den aktuellen Stand der Technik.

### Qualifikation von Komponenten

In Karlstein werden seit der Standortgründung Tests für Sicherheitskomponenten durchgeführt. Durch die Zusammenführung der darauf spezialisierten Testingenieure mit der Facheinheit zur Qualifikation von sicherheitsrelevanten Komponenten (z. B. Pumpen, Ventile, Sensoren, elektrische Ausrüstung) hat das Unternehmen eine einzigartige komplette Abdeckung für diesen Themenkomplex am Standort erreicht.

### Einzigartige Messsysteme

Ein weiteres wichtiges Tätigkeitsfeld ist die Kerninstrumentierung, die auf Basis der langjährigen Expertise speziell für die von Framatome entwickelten EPR-Reaktoren in Karlstein konsolidiert wurde. Die Kerninstrumentierung umfasst die Messungen für Neutronenfluss, Temperatur und den Füllstand im Reaktorkern. Die Experten unterstützen ebenso die Weiterentwicklung und Optimierung der Kerninstrumentierung für künftige Reaktoren wie z. B. EPR2.

### Überwachung der Betriebssicherheit

Neben der Entwicklung der Soft- und Hardware für modernste Ultraschallprüfsysteme, beispielsweise für Reaktor-druckbehälter, entstehen am Standort einzigartige Module zur Überwachung von Sicherheitsarmaturen und Antrieben für laufende, aber auch zukünftige Kernkraftwerke der neuesten Generation 3+. Aufgrund der besonderen Anforderungen der Sicherheitsleittechnik an elektrische Komponenten wurden in Karlstein verschiedene Module mit sogenannter softwarefreier Elektronik entwickelt. Diese befinden sich weltweit im Einsatz.



Abb. 9  
**Sicherheit und Integrität**  
sind auch im Jahr 2020  
die Grundlage des  
Handelns am Standort  
Karlstein

### Praxisnahe Schulungen

Das deutsche Schulungszentrum für Mitarbeiter und Kunden aus aller Welt ist in Karlstein angesiedelt. In den eigens dafür hergerichteten Schulungsräumen werden alle technischen Aspekte von Siedewasser- und Druckwasserreaktoren sowie deren Mess- und Automatisierungseinrichtungen vermittelt.

Die hier vorhandenen einzigartigen Systeme, Erfahrungen und Kenntnisse, insbesondere zu allen möglichen Aspekten der kerntechnischen Sicherheit, sind weltweit anerkannt und werden uneingeschränkt nachgefragt.

In den letzten zehn Jahren wurden viele der früher aufgebauten Kompetenzen an die internationale Entwicklungen der Kerntechnik angepasst und weiterentwickelt. Durch die Internationalisierung sowie die besondere Mischung und bereichsübergreifende Kooperation im Framatome-Verbund ist der Standort besser denn je in der Lage, auf neue, zukünftige Herausforderungen zu reagieren. Das Karlsteiner Exzellenzzentrum hat einen guten Ruf und alle Voraussetzungen, um auch nach dem Abschalten des letzten deutschen Kernkraftwerks eine wesentliche Rolle zur sicheren Entwicklung der Kerntechnik überall auf der Welt beizutragen.

# GAP – Der größte Armaturenprüfstand der Welt

Die Qualität der eingesetzten Komponenten ist für die Sicherheit der Gesamtanlage ebenso wie für den zuverlässigen und wirtschaftlichen Betrieb von ausschlaggebender Bedeutung. Sicherheitsrelevante Komponenten bedürfen deshalb einer Typzulassung. Eine besondere Rolle spielen dabei die Armaturen.

Abb. 10  
Großarmatur im  
Test-Setup im GAP



Seit 1976 stand ein Ventilprüfstand zur experimentellen Qualifikation von Armaturen unter den Bedingungen des Normalbetriebs und denen von Störfällen zur Verfügung. Ergänzend dazu wurde 1981 der Großarmaturenprüfstand (GAP) als weltweit größter Armaturenprüfstand in Betrieb genommen. Der Grund für den Bau des GAP war eine neu ergangene TÜV-Vorschrift, wonach die Frischdampf-Sicherheits- und Abschlussarmaturen der Druckwasserreaktoren unter Druck- und Temperaturbedingungen in Normalbetrieb und Störfällen zu prüfen sind.

Jede einzelne dieser Armaturen wurde vor ihrem Einbau in ein Vorkonvoi- oder Konvoi-Kernkraftwerk auf dem GAP getestet.

## Weltweites Interesse

Der Großarmaturenprüfstand wird nach wie vor zur Qualifizierung von Großarmaturen wie Frischdampf-Abschlussventilen diverser Hersteller des In- und Auslands eingesetzt. Solche Typprüfungen sind Voraussetzung für den Einsatz in Kernkraftwerken. Das Technical Center kann derartige Typprüfungen nach allen einschlägigen international gebräuchlichen Normen durchführen.

Mit seinem Speichervolumen von über 120 Kubikmetern, einem Leitungsdurchmesser von 700 Millimetern und der Dampfversorgung durch den mit 20 Megawatt sehr leistungsstarken Benson-Dampferzeuger ist der 1981 errichtete Großarmaturenprüfstand (GAP) die weltweit größte Versuchsanlage ihrer Art.

Der Teststand ist heute international zur Qualifizierung von Großarmaturen wie Frischdampf-Abschlussventilen, Sicherheitsventilen, Regelarmaturen diverser Armaturenhersteller oder Anlagenbetreiber des In- und Auslands etabliert. Solche Prüfungen sind Voraussetzung für deren Einsatz in bzw. zum Weiterbetrieb von Kernkraftwerken.



# INKA-Tests und passive Sicherheitstechnik

Eine besondere Rolle spielte Karlstein bei der Weiterentwicklung des fortschrittlichen Siedewasserreaktor-Kraftwerks KERENA (früher als „SWR-1000“ bezeichnet), das über eine Vielzahl passiver Sicherheitseinrichtungen verfügt.

Das Konzept von KERENA wurde von Siemens in den 1990er Jahren im Rahmen eines Planungsauftrags deutscher Betreiber von SWR-Kernkraftwerken unter Beteiligung internationaler Partner entwickelt. Dieser Reaktor der sogenannten Generation III+ ist durch ein hohes Maß an passiv wirkenden Sicherheitssystemen gekennzeichnet. Einzelne, passive Komponenten wurden seit 1995 in Karlstein und in externen Forschungseinrichtungen in kleinem Maßstab oder in voller Größe geprüft. 2008 vereinbarten Framatome (vormals AREVA) und PreussenElektra GmbH (vormals E.ON Kernkraft GmbH) die gemeinsame Weiterentwicklung des KERENA. Im Rahmen der Entwicklung von KERENA wurde der GAP 2009 zum Integral-Teststand Karlstein (INKA) erweitert, mit welchem das Gesamtsystem der Beherrschung eines Störfalls mit und ohne Kühlmittelverlust demonstriert werden kann.

## Weltweit größte Versuchsanlage

Mit einer Höhe von ca. 30 Meter simuliert INKA die Verhältnisse des KERENA im Maßstab 1:1. Die Volumina entsprechen dem Verhältnis 1:24. Aufgrund dieser Skalierung und zusammen mit der Verfügbarkeit des Benson Dampferzeugers mit 20 Megawatt zur Simulation von Nachzerfallsleistung ist INKA die größte integrale Versuchsanlage weltweit.

Die am INKA erzielten Versuchsdaten dienen sowohl der Entwicklung des KERENA-Reaktors als auch weiterhin internationalen Partnern zur Validierung von thermohydraulischen Rechen-codes.

Links, Abb. 11

**INKA** Versuchsstand

Rechts, Abb. 12

Erfolgreicher Test der **passiven Sicherheitssysteme** von KERENA am INKA



# KATHY – Untersuchungen zur kritischen Wärmestromdichte von Brennelementen



Abb. 13

**KATHY-Versuchsstand**, modular anpassbar für verschiedenste Versuche mit Brennelementensimulatoren

Am Standort Karlstein betreibt Framatome den KATHY-Versuchsstand und unterstützt damit die Kollegen der Geschäftseinheit „Fuel“ beim Design von Brennelementen hinsichtlich des Beginns der sogenannten kritischen Wärmestromdichte („DNB“ oder „Dryout“).

Dabei werden die Brennelemente durch elektrisch beheizte Simulatoren implementiert. Diese haben dieselbe Geometrie wie die richtigen Brennelemente bzw. eine Sektion davon. Auch wichtige Strukturkomponenten wie Abstandhalter, Wasserkanal (SWR) bzw. Führungsrohre (DWR) werden im Brennelementensimulator eingebaut bzw. simuliert. Im Unterschied zu echten, mit Uran-Pellets beladenen Brennelementen, werden die verwendeten Brennelementensimulatoren ausschließlich elektrisch beheizt. Dabei werden sowohl radiale als auch axiale Leistungsprofile nachgebildet. Um den Energieeintrag entsprechend der echten Brennstabündel realisieren zu können,

steht eine gesonderte Stromversorgung von bis zu 20 MW zur Verfügung.

## Fertigung und Betrieb von Brennelementensimulatoren zur Qualifizierung

Die in eigener Fertigung am Standort produzierten Brennelementensimulatoren sind mit Thermoelementen ausgestattet, um den raschen Temperaturanstieg bei Erreichen der kritischen Wärmestromdichte zu detektieren.

Der Versuchsstand ist für 185 bar und 360 °C ausgelegt und deckt somit das volle Spektrum für mögliche Kraftwerkbetriebsbedingungen ab. Die Hauptkomponenten der Anlage sind die Testbehälter für DWR- bzw. SWR-Versuche, in denen die Brennelementensimulatoren eingebaut werden, eine Umwälzpumpe zur Bereitstellung des erforderlichen Massenstroms, ein elektrisch beheizter Druckhalter, der den Systemdruck aufprägt, sowie zwei 10-Megawatt-Wärmetauscher, die die eingebrachte Leistung wieder aus dem Kreislauf abführen. Durch den multifunktionalen und modularen Aufbau des KATHY-Versuchsstandes können Versuche für alle unterschiedlichen Brennelementtypen und -geometrien gefahren werden.

## Sicherheit und Leistung stetig verbessern

Die thermodynamischen Bedingungen in der Versuchsanlage werden entsprechend den Bedingungen im Reaktor realisiert. Die Parameter Druck, Temperatur und Massenstrom werden zu Versuchsbeginn eingestellt, anschließend wird die elektrische Leistung erhöht, bis die kritische Wärmestromdichte erreicht ist. Im Rahmen der jeweiligen Versuchskampagnen werden verschiedene Versuchsbedingungen gemessen, die sowohl das Betriebskennfeld des Reaktors im Leistungsbetrieb, als auch Störfallbedingungen abdecken. Die Versuchsergebnisse fließen zurück in Designanpassungen bzw. in die Qualifizierung der Brennelemente und liefern damit einen wertvollen Beitrag für deren weitere Optimierung in puncto Sicherheit und Leistung.

# Fertigung von Heizleitern zur Simulation des thermodynamischen Verhaltens von Brennelementen

Vor der Einführung eines neuen Brennelementdesigns zur Nutzung in einem Kernkraftwerk ist es nötig, den Wärmeübergang vom Brennstab in das vorbeiströmende Primärwasser experimentell zu untersuchen, um sicherzustellen, dass sich in der Kühlströmung nirgends Heißstellen bilden, an denen die Brennstabhüllen beschädigt werden könnten.

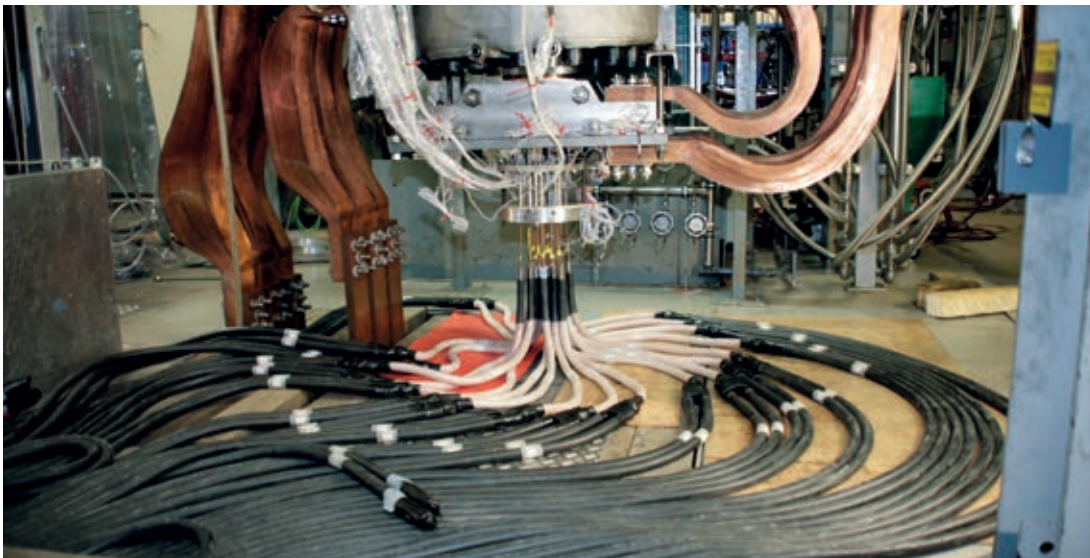


Abb. 14  
Elektrische Anschlüsse  
am KATHY Teststand

Zu diesem Zweck werden in der Fertigung Karlstein Brennstabsimulatoren (ohne Uran) gebaut, die die gleichen äußeren Abmessungen wie echte Brennstäbe besitzen, ihre Wärme jedoch durch elektrische Beheizung erzeugen.

Hierbei fließen bei etwa 200 V Gleichspannung bis zu 1000 Ampere durch einen einzelnen elektrischen Heizstab (entspricht etwa 100 eingeschalteten Haartrocknern). Da in einem Brennelement jeder Brennstab unterschiedlich viel Wärme abgibt und jeweils seine Mitte die höchste Leistung entwickelt, sind die Dummy-Heizstäbe individuelle Einzelanfertigungen aus Rohren, deren Wandstärken über die Längen variieren.

## Hochspezialisierte Fertigungskompetenzen

Zur Messung der Temperatur in der Rohrwandung werden manuell von geübten

Feinmechanikern bis zu 12 Thermoelemente elektrisch isoliert in jedes Rohr eingelötet und, damit sie durch den hohen Druck im Versuchsstand nicht kollabieren, mit Keramik gefüllt, die in einem Ofen ausgehärtet wird.

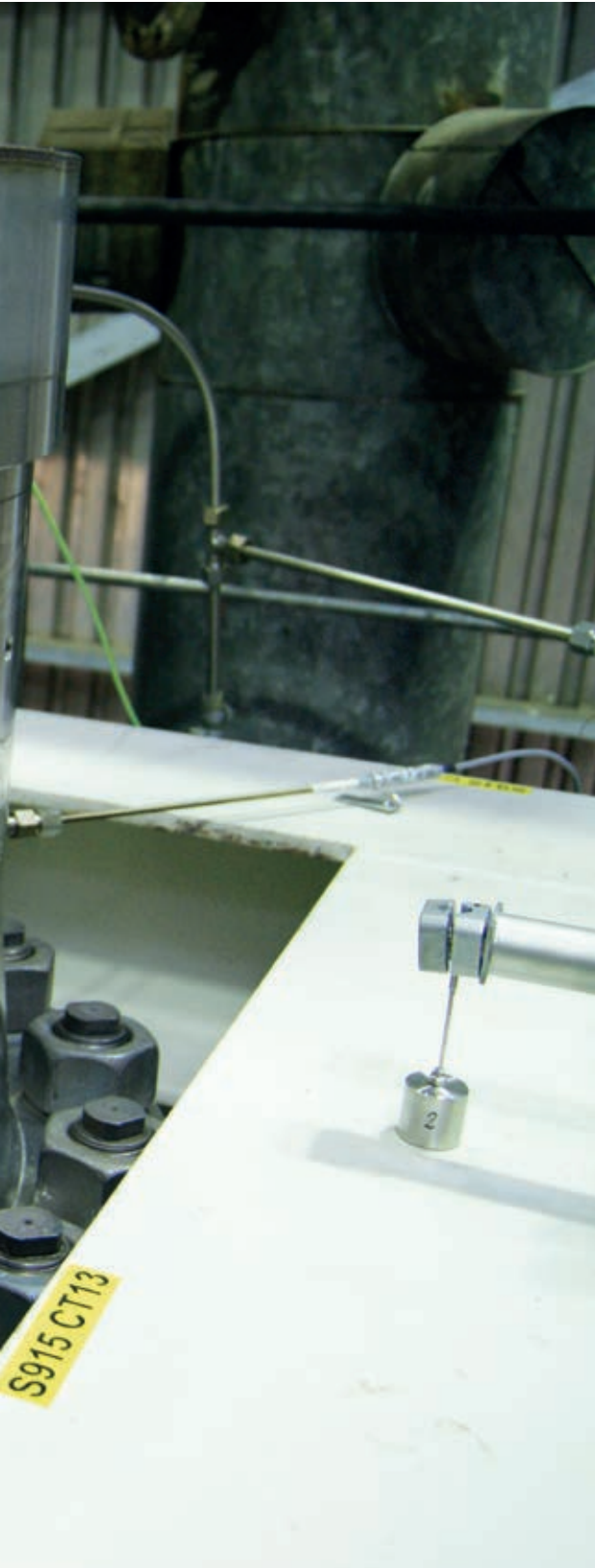
Aus bis zu 144 sorgfältig geprüften Dummy-Heizstäben assembliert das Fertigungsteam dann eine komplett elektrisch beheizbare Brennelementattrappe des zu prüfenden Brennelementdesigns. Diese wird dann in den KATHY-Versuchsstand eingebaut, mit bis zu 20 MW elektrisch beheizt und so auf ihre thermohydraulischen Eigenschaften untersucht.

Sind diese Versuche erfolgreich verlaufen, bildet das Ergebnis die Basis für das Design der nächsten Generation der in den Werken von Framatome zu fertigenden EPR-/DWR-/SWR-Brennelementen.



## KADYSS – Qualifizierung der Umwälzpumpen





KADYSS (Karlstein DYnamic Shaft Seal Test Facility) simuliert die Wirkung eines vollständigen Stromausfalls, dem sogenannten Station Blackout (SBO), auf die Wellendichtungssysteme der Hauptkühlmittelpumpen bzw. Umwälzpumpen von Kernkraftwerken.

Die Simulation von SBO-Bedingungen in einem Langzeittest der Wellendichtung der Umwälzpumpe erfordert Speisewasser unter DWR-Bedingungen, um den Leckgestrom des Dichtungssystems auszugleichen. Die Nachahmung der Wärmeausdehnung der Welle aufgrund der internen thermischen Transienten erfordert eine präzise Steuerung der Wellenverlagerung.

Die Anlage arbeitet unter vollen DWR-Bedingungen. Die thermohydraulischen Bedingungen wie Druck und Temperatur werden stabil gehalten, während die KADYSS den Leckstrom des Wellendichtungssystems ausgleicht.

Das Herzstück von KADYSS ist ein Wellenverschiebungssystem, das entwickelt wurde, um sehr präzise axiale Bewegungen bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten zu realisieren. KADYSS ist mit umfangreicher Instrumentierung für Druck, Temperatur und Massenstrom ausgestattet.

Abb. 15

**KADYSS** – Qualifizierung der Wellendichtungssysteme



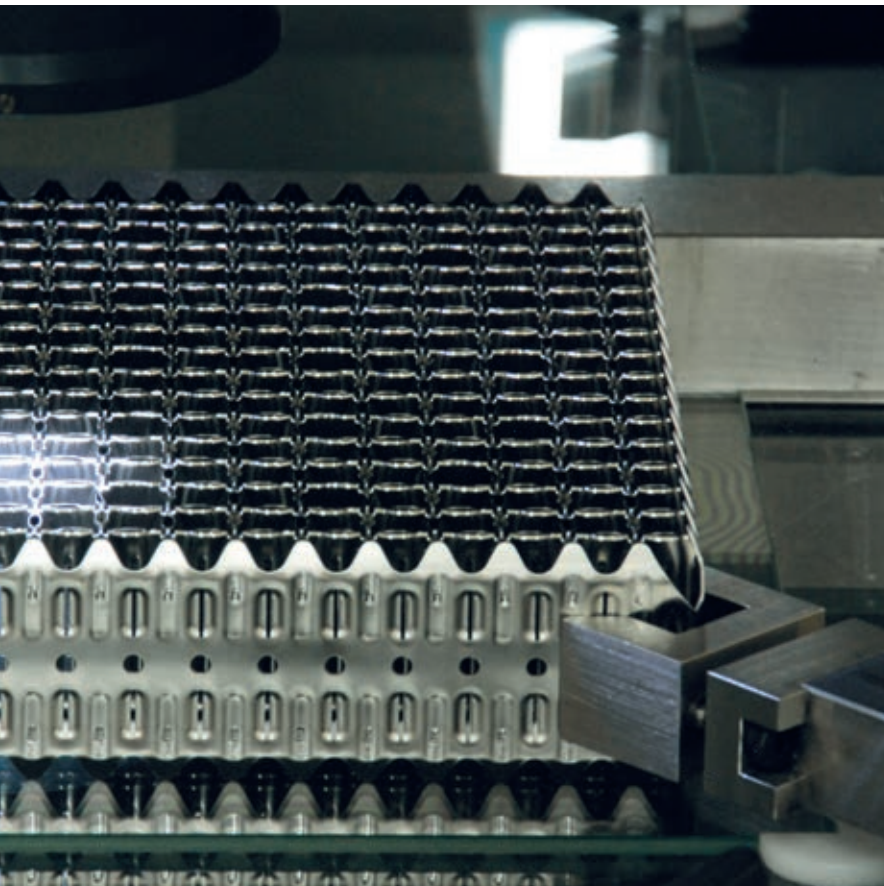
## Fertigung von Abstandhaltern für Brennelemente

Seit 1995 werden in Karlstein keine Brennelemente mehr hergestellt. Dafür wurde die Fertigung für alle Typen von Brennelemente-Abstandhaltern ausgebaut.

Der Abstandhalter ist eine der Komponenten, für die die allerhöchsten Anforderungen gelten. Beim Herstellen muss deshalb mit „Uhrmacherpräzision“ vorgegangen werden.

Das liegt an der wichtigen Aufgabe dieses Strukturteiles: Der Abstandhalter muss die Brennstäbe im Brennelement so fixieren, dass diese stets gleichmäßig mit dem Kühlwasser umströmt werden. Er sorgt dabei für die exakte Einhaltung der Abstände der Brennstäbe im Brennelement, und das unter den extremen Bedingungen des Reaktorbetriebes und über die gesamte Abbrenndauer. Warum ist das so wichtig?

Die Brennstäbe werden in den Zellen der Abstandhalter durch Federn und gegenüberliegende Noppen so fixiert, dass sie – trotz unterschiedlicher Ausdehnung durch hohe Temperaturen – zur Brennelementstruktur hin beweglich bleiben und sich anpassen können. Auch das verwendete Material ist entscheidend: Bei der Fertigung der Abstandhaltereinzelteile wie Federn und Stege kommen Materialien wie Inconel und Zirkaloy zum Einsatz. Das Schweißen von Zirkaloy- und Inconel-Abstandhaltern mit Toleranzen im Hundertstel Millimeterbereich stellt höchste Anforderungen an das verwendete technische Equipment, das angewendete →





Schweißverfahren, die Schweißvorrichtungen, die Vormaterialqualität sowie den Anlagenbediener dar.

### Leistungsstarkes Schweißzentrum

2004 wurde das erste Schweißzentrum in Betrieb genommen. Es verfügte über kleine Schweißkammern, schnelle Evakuierungs- und Flutzeiten, integrierte Prüfsysteme (Weld-Watcher) sowie ein optisches Messsystem zur automatischen Korrektur der Schweißposition. Durch das Zweikammersystem konnten die Rüstzeiten parallel in den Hauptzeiten durchgeführt werden. Ein weiterer Vorteil war die Möglichkeit, unterschiedliche Abstandhaltertypen gleichzeitig im Schweißzentrum bearbeiten zu können. So wurde die Anlage nicht nur technisch, sondern auch betriebswirtschaftlich ein großer Erfolg: Massiv reduzierte Zykluszeiten führten

zu einer hohen Produktivität sowie zu einer Reduzierung der Stückkosten, denn die Schichtleistung konnte auf 60 SWR-AH und 30 DWR-AH gesteigert werden. 2007 wurde die alte Laserschweißanlage LSA2 rückgebaut, damit wir den Platz für ein zweites Schweißzentrum schaffen konnten. Nach einjähriger Bauzeit, Inbetriebnahme und Qualifikationstätigkeiten konnte Anfang 2009 das Schweißzentrum 2 der Fertigung übergeben werden. Die letzte Altanlage wurde kurz danach demontiert. Heute ist ANF Karlstein führend in der Herstellung von Abstandhaltern und in der Lage, den Bedarf aller Abstandhaltertypen der Framatome abzudecken.

Links, Abb. 16

**Automatische Prüfung** eines DWR-Brennelemente-Abstandhalters „Made in Karlstein“

Mitte, Abb. 17

**Sichtprüfung der Tragstruktur** für ein ATRIUM® Brennelement für Siedwasserreaktoren

Rechts, Abb. 18

**Abstandhalter-Schweißzentrum:** Sorgfältige Handarbeit ist das Geheimnis für hohe Qualität in der Fertigung



# Fertigung moderner Neutronenflussinstrumentierungen für EPR-Reaktoren weltweit

Seit jeher wurden in Karlstein in feinmechanischen Werkstätten Messfühler (Neutronendetektoren) und Instrumentierungen für Siedewasserreaktoren gefertigt. Diese bis zu 15m langen rohrförmigen Trägerstrukturen für Detektoren werden ihrer Form wegen „Lanzen“ genannt. Diese mechanischen Werkstätten wurden seit 1971 in der „Fertigung Karlstein“ zusammengeführt, die seit Beginn der 1980er Jahre auch Instrumentierungslanzen für Druckwasserreaktoren baut. Bei diesen sind mehrere, sogenannte Messfinger mittels eines gemeinsamen Jochs zur Lanze kombiniert, was die Handhabung beim Brennelementwechsel im Kraftwerk vereinfacht und beschleunigt.

Vorteil der Fertigung in Karlstein ist, dass alle Instrumentierungen direkt vor Ort in den Versuchsständen des Technical Centers auf ihre Funktion unter Druck und Temperatur geprüft werden können.

In der Anfangszeit wurden die Detektoren für die DWR-Instrumentierung von kleineren Zulieferern zugekauft, die diese Detektoren in manueller Einzelfertigung bei variierender Qualität herstellten.

Um auch bei der Fertigung von DWR-Instrumentierung von Detektorzukaufen unabhängig zu werden, entwickelten die Mitarbeiter der Fertigung einen Neutronendetektor mit verbesserten Qualitätsmerkmalen, der in arbeitsteiliger Vorfertigung teilautomatisiert in Kleinserie hergestellt werden kann.

## Einzigartige Messung des Neutronenflusses

Diese bleistiftgroßen Detektoren, genannt SPND, erzeugen unter Neutronenstrahlung ohne eine fremde Stromversorgung einen sehr kleinen eigenen Signalstrom. Das stellt an die Fertigungsverfahren, Präzision, Reinheit der verwendeten Werkstoffe, Sauberkeit, Qualitätssicherung und vor allem an die Ausbildung und Geschicklichkeit der Feinmechaniker höchste Anforderungen, etwa wenn es darum geht, die Einzelteile unter dem Mikroskop zu assemblieren, mit Laser zu verschweißen und unter Hochvakuum bei bis zu 1100 °C induktiv druck-

dicht zu löten, so dass sie über zehn Jahre sicher im Reaktor betrieben werden können.

Durch intensive Zusammenarbeit zwischen Physikern, Ingenieuren und Technikern der Fertigung und den Materialwissenschaftlern des Technical Centers konnte dieser Detektor in die Serienreife überführt und unter Begleitung des TÜV in Kraftwerken über mehrere Jahre auf Funktion und Zuverlässigkeit geprüft werden.

Aufgrund der positiven Betriebserfahrungen mit diesem SPND hinsichtlich seiner Signalstabilität fiel 2010 die Entscheidung, diesen Detektor auch in den EPR-Instrumentierungslanzen einzusetzen und zu qualifizieren.

Während bei Siemens-DWR im Reaktorkern eine Instrumentierung mit 8 DWR-Lanzen ausreichend ist, muss der EPR-Reaktorkern, der wesentlich größer ist, zur Leistungsregelung und Überwachung viel dichter mit fest eingebauten Detektoren im Kern instrumentiert werden.

Dazu wurde ein neues mechanisches Design für dessen Instrumentierungslanzen gewählt und die dazu nötigen Fertigungsprozesse und deren Prüfung dem aktuellen Stand der Technik angepasst. Trotzdem verlangt seine Fertigung erfahrenes, geschultes Personal, das geschickt und präzise mit den langen, fragilen und empfindlichen Komponenten umgehen kann. →



### Fertigung der Instrumentierungslanzen für den EPR

Je EPR werden 12 Instrumentierungslanzen von je 12,5 Metern Länge und etwa 120 Kilogramm Gewicht eingesetzt. Insgesamt besitzen diese Lanzen 40 Messfinger zur Kalibrierung und 12 Neutronenmessfinger mit 72 SPND und 36 Thermoelementen zur Temperaturmessung. Hinzu kommen noch 4 Füllstandsonden, die bei einem Störfall die Höhe des Kühlmittelstands anzeigen.

Mit der Serienfertigung dieser EPR-Instrumentierungen, bei denen Framatome von Detektor-Zukäufen bei externen Herstellern unabhängig ist, wurde ein neues, in

die Zukunftweisendes Reaktor-Instrumentierungsprodukt in Karlstein geschaffen.

Es hat mittlerweile seine Leistungsfähigkeit dank der Anstrengungen vieler Arbeitsteams bereits in den EPR-Reaktoren Taishan 1+2 unter Beweis gestellt und wird zukünftig auch in allen folgenden Reaktoren dieses Typs zum Einsatz kommen. An seiner Weiterentwicklung für die nächste Generation von EPR-Reaktoren, genannt EPR2, wird ebenfalls bereits am Standort in einem Team aus Entwicklern, Designern, Fertigung, Qualifizierung und Produktmanagement gearbeitet.

Abb. 19

**Qualitätssicherung** der Montagehalle der Incore Instrumentierungsfertigung





## Typ- und Wiederholungsprüfungen von Kraftwerkskomponenten

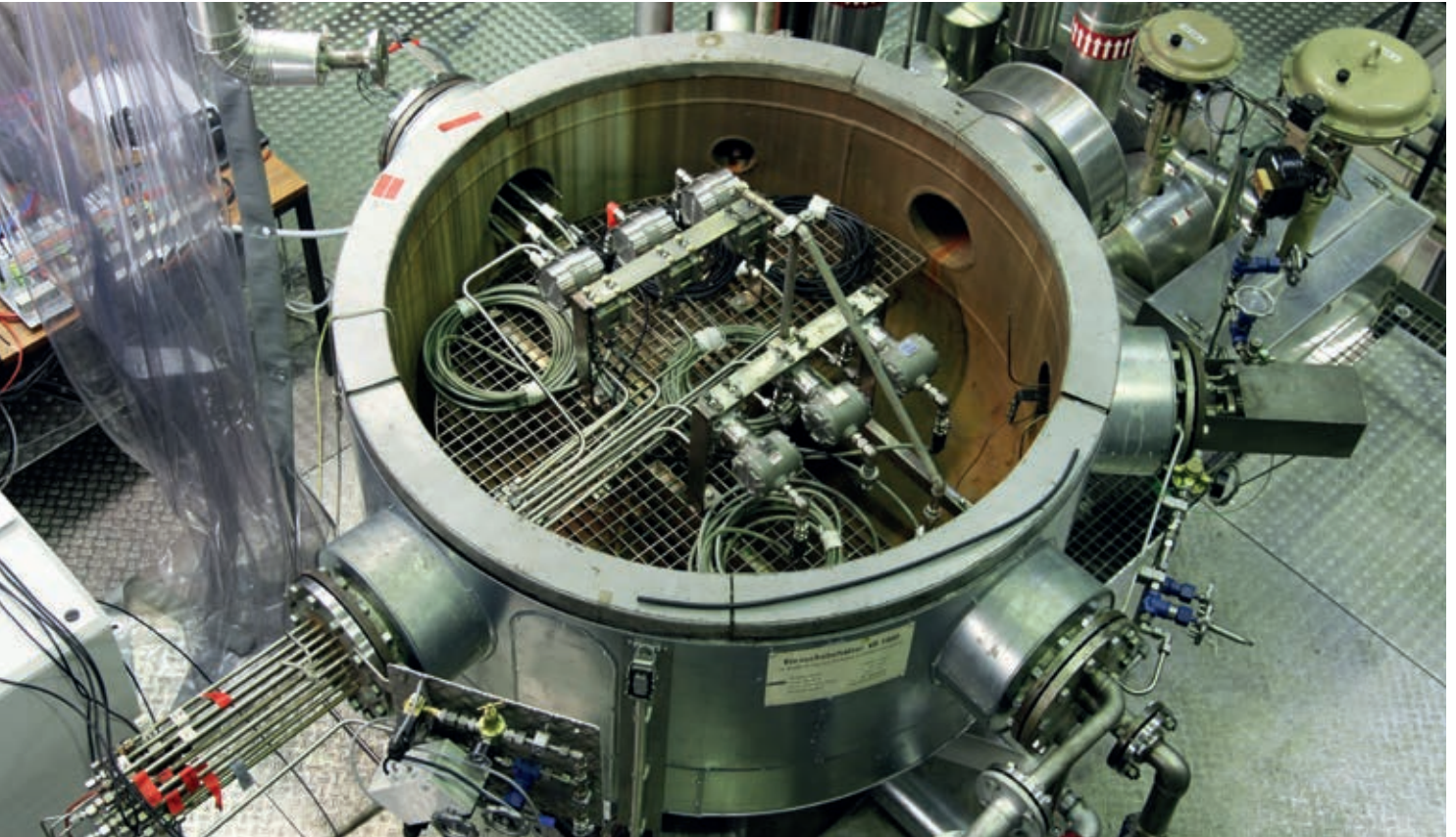


Abb. 20  
Typprüfung von mehreren  
Drucksensoren

Der Standort Karlstein gehört zu den bestausgerüsteten Einrichtungen für die Komponentenqualifizierung weltweit. Als akkreditiertes Labor nach DIN EN ISO/IEC 17025 und Inspektionsstelle vom Typ C nach DIN EN ISO/IEC 17020 führen wir hier die einschlägigen sicherheitstechnischen Prüfungen und Inspektionen kerntechnischer Komponenten und Systeme, wie z. B. Sensoren, Kabel und Kabeldurchführungen, Antriebe für Armaturen oder Steckverbindungen durch.

Dabei ist nachzuweisen, dass diese Komponenten im Anforderungsfall auch unter Störfallbedingungen und am Ende ihrer jeweiligen erwarteten Lebensdauer noch einwandfrei funktionieren. Durch Zeitrafferversuche werden die Komponenten zunächst gealtert, um eine Betriebslebensdauer von bis zu 60 Jahren nachzubilden.

Die Alterung besteht aus einer Sequenz von thermischen, radiologischen sowie mechanischen Belastungen. Anschließend müssen die Komponenten unter simulierten Störfallbedingungen wie beispielsweise hoher Feuchtigkeit, hohem Druck, hoher Temperatur sowie chemischer Belastung einwandfrei funktionieren.

In den letzten 10 Jahren haben die Testexperten vom Framatome Technical Center mehr als 50 Typ- und Wiederholungsprüfungen in Karlstein ausgeführt.

# Hersteller- und Gerätequalifizierung am Standort Karlstein

Für alle Strukturen, Systeme und Komponenten mit sicherheitstechnisch relevanten Funktionen oder Eigenschaften in einem Kernkraftwerk muss der Nachweis geführt werden, dass ihre Sicherheitsfunktionen unter allen gegebenen Umständen erfüllt werden. Diese Nachweisführung erfolgt gemäß nationalen und internationalen kerntechnischen Regelwerken und bedarf der Genehmigung durch die zuständigen technischen Gutachter und Behörden. Die Durchführung der technischen Eignungsnachweisführung der Komponenten und Geräte bezeichnet man als Qualifizierungsprozess. Dies schließt die Sicherstellung der Eignung des Fertigungsprozesses mit ein.

In Karlstein konzentriert sich Framatome dabei auf die Durchführung von Qualifizierungsmaßnahmen von Komponenten des Reaktorschutzsystems (Komponenten der Elektrotechnik, elektronische Module zur Signalverarbeitung und deren Sensorik, nukleare Instrumentierungen und Feldgeräte) wie auch für andere sicherheitstechnisch relevante elektromechanische Systeme. Dabei werden Synergien zu den benachbarten Fachbereichen am Standort genutzt, insbesondere zu den Testlaboren, zum Engineering und zur am Standort ansässigen Fertigung. Dies ermöglicht eine sehr effiziente Ausarbeitung von gerätespezifischen Qualifizierungsstrategien am Standort.

Die Arbeitsgruppen bei Framatome sind entweder direkt in die nationalen oder internationalen Lieferprojekte eingebunden und in F&E-Projekte zu Neu- oder Weiterentwicklung von Geräten für spezifische Umgebungsbedingungen involviert. Darüber hinaus bietet Framatome die Qualifizierungsleistung auch direkt externen Komponentenherstellern an.

## Qualifizierung zum Einsatz in Kernkraftwerken

Die Gerätequalifizierung in Karlstein umfasst daher ein großes Spektrum verschiedener Kompetenzfelder von der Kenntnis der Geräte und deren Fertigung bis hin zu den einzelnen Methoden der Nachweisführung. Die Experten haben beson-

dere Kenntnisse der Geräte, für die Bewertung des Fertigungsprozesses, für die Durchführung praktischer Tests, sowie in einer Vielzahl verschiedener Analysemethoden, wie z. B. Analogievergleiche, Berechnungen, Betrachtung von Materialeigenschaften und deren Alterungerscheinungen, Auswertung von Betriebserfahrungen.

Alle gewonnenen Erkenntnisse und die erfolgten Qualifizierungsnachweise werden in einer zentralen Datenbank gesammelt („EQDB“ – Equipment Qualification Data Base). Dadurch können künftige Qualifizierungsaussagen effizienter erfolgen und existierende Qualifizierungen mehrfach in den verschiedenen Projekten von Framatome genutzt werden.

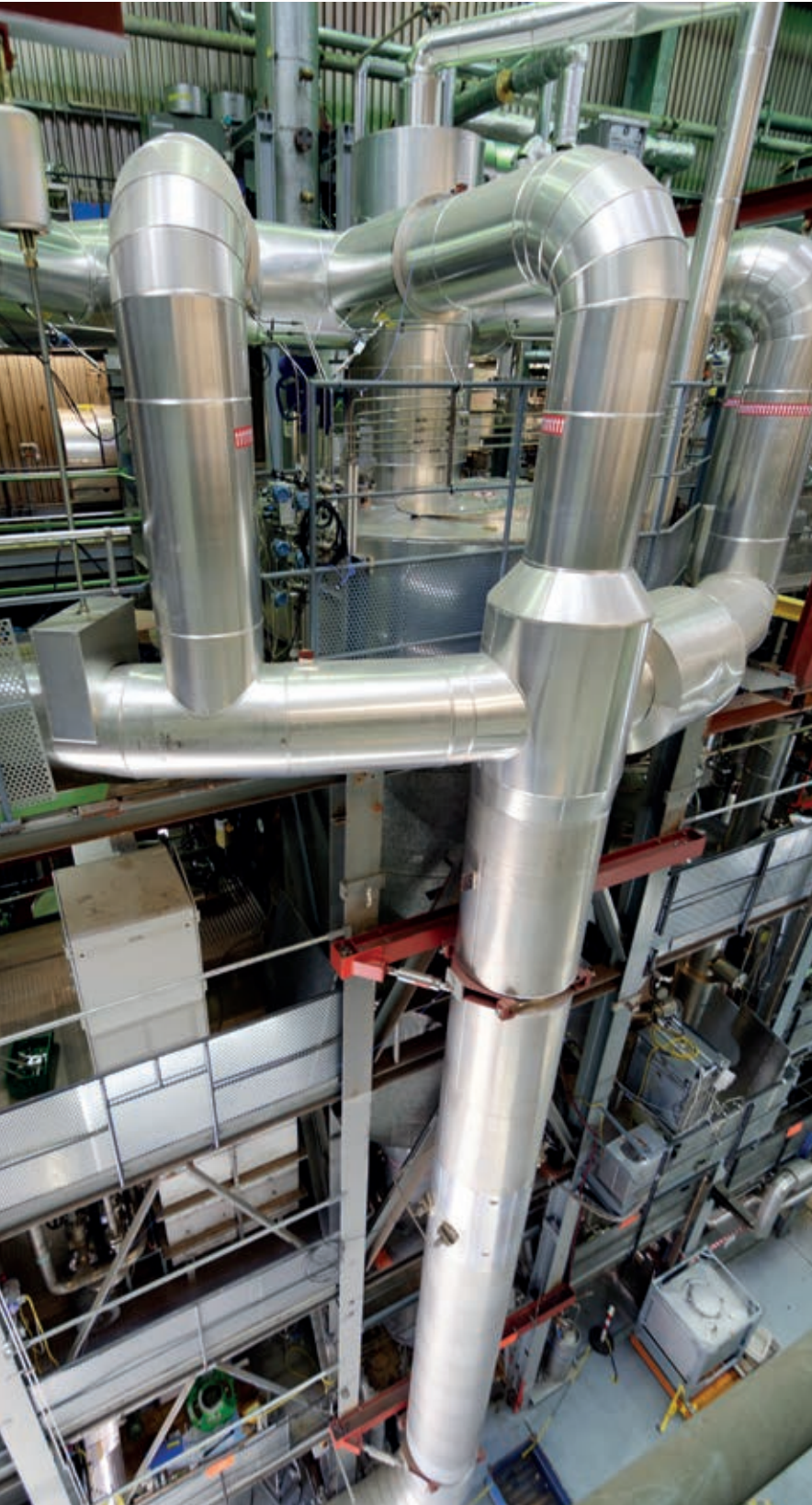
Abb. 21

**Beschleunigtes Altern in Klimakammern** – Zuverlässigkeit für mehrere Jahrzehnte muss für viele Komponenten gewährleistet sein. (links: Kammer für Temperaturschocks; rechts: Kammer für Langzeittests)





# Full-Scale-Test der Komponenten des Reaktorkühlkreislafes eines Siedewasserreaktors



Das Kernkraftwerk Leibstadt (KKL) ist ein Siedewasserreaktor der GE vom Typ BWR-6 mit einer Leistung von 1200 MWel. Die Anlage wurde 1984 in Betrieb genommen. Seit Anfang der 2000er Jahre verzeichnete KKL einen immer höheren Instandhaltungsaufwand am Rohrleitungssystem und an den Komponenten der beiden externen Reaktorkühlmittelumwälzkreisläufe (System YU).

Framatome wurde im Rahmen des Projekts YUMOD beauftragt, große Teile des Rohrleitungssystems sowie die darin enthaltenen Komponenten (Pumpen, Motoren sowie Absperrschieber) auszutauschen. Die Regelventile, welche den Massenstrom des Reaktors kontrollierten, sollten entfallen und durch drehzahlgeregelte Motoren, versorgt durch Frequenzumformer, ersetzt werden.

## Originale Betriebsbedingungen simulieren

Framatome konnte sich vor allem deswegen bei der Auftragsvergabe durchsetzen, weil sie in der Lage war, alle Hauptkomponenten auf dem Versuchsgelände in Karlstein unter originalen Betriebsbedingungen und im Zusammenspiel zu testen. →

Abb. 22

**YUMOD-Versuchsstand:**  
 Alle Komponenten des Antriebsstrangs sind im geschlossenen Dampf-Wasser-Kreislauf eingebunden. So können die Zustände im KKL 1:1 nachgestellt werden



So ließ sich das Risiko von Stillstandsverlängerungen während des Umbaus minimieren. Ein weiterer Vorteil war, dass der Teststand für die Abnahmeversuche der Pumpen zur Verfügung stand.

Für diesen Auftrag hat der Standort Karlstein Einiges investiert: Der Versuchsstand wurde stark modifiziert und für die Tests optimiert. Für die Frequenzrichter wurde extra eine neue Halle errichtet und ein auf den Versuchsbetrieb zugeschnittener Anlagentransformator installiert.

Im Jahr 2018 war es dann soweit: Der erste Satz der Komponenten des Antriebsstrangs (Pumpe, Motor und Frequenzrichter) sowie die Schaltanlage und die Leittechnikschränke wurden installiert und getestet. Im Jahr 2019 erfolgte dann der Test des zweiten Satzes sowie eines Absperrschiebers. Der Versuchsbetrieb wurde vom Kunden intensiv begleitet und auch zur Ausbildung seines Service- und Betriebspersonals genutzt.

Abb. 23

**Schaltanlagen; Frequenzrichter und Leittechnikschränke** im YUMOD-Testfeld



# Beherrschung von Störfällen – Sicherheitstechnik aus Karlstein für die Kernkraftwerke weltweit

Karlstein hat sich international als Top-Standort für Systeme zum Schutz der Containments von Kernkraftwerken etabliert. Seit den 1980er Jahren werden am Standort Karlstein Komponenten zur Beherrschung von Störfällen in Kernkraftwerken entwickelt und getestet. Ursprünglich auf die weitere Erhöhung der Sicherheit der deutschen Kernkraftwerke ausgerichtet haben diese Produkte in den vergangenen Jahrzehnten Einzug in Kernkraftwerke weltweit gehalten.

## Automatischer Abbau von Wasserstoff

Einen großen Exporterfolg können dabei die katalytischen Wasserstoff-Rekombinatoren (Passive Autocatalytic Recombiner – PAR) verzeichnen. Diese Geräte dienen dem Abbau brennbarer Gase, insbesondere von Wasserstoff und Kohlenmonoxid, die bei Kernschmelzunfällen im Reaktorsicherheitsbehälter freigesetzt werden. Der Unfall von Fukushima Daiichi hat deutlich gemacht, welche Gefahr der Wasserstoff für die Sicherheitshülle, auch Containment genannt, darstellt. Der Reaktorsicherheitsbehälter ist bei einem schweren Störfall die letzte Barriere zum Einschluss von Radioaktivität und verhindert deren Freisetzung in die Umwelt. An der Oberfläche des sich im PAR befindlichen Katalysators werden die brennbaren Gase ohne weitere Zufuhr von Energie, das heißt auch ohne Strom, zu nicht brennbarem Wasserdampf bzw. Kohlendioxid umgewandelt, so dass die Explosionsgefahr gebannt und die Integrität des Reaktorsicherheitsbehälters gewährleistet bleibt. Nach der erstmaligen Ausrüstung eines belgischen Kernkraftwerks im Jahr 1995 wurden diese Framatome PARs in mehr als 160 Kern-

kraftwerken in 22 Ländern installiert. Damit ist dieses Produkt, das seinen Ursprung in Karlstein hat, ganz klar der Weltmarktführer in diesem Bereich. Nicht zuletzt konnten die Framatome-PARs ihre überragende Eignung in mehreren internationalen Versuchskampagnen auch im Vergleich zu Konkurrenzprodukten namhafter Mitbewerber demonstrieren.

Im Bereich Wasserstoffbeherrschung umfassen die Neuentwicklungen der letzten Jahre unter anderem den passiven Wasserstoffzünder CATI sowie die neue Generation von Wasserstoffsensoren WS85 PLUS, die im Jahr 2019 erstmals in einem Kernkraftwerk installiert wurden. Die Messung der Zusammensetzung der Reaktorsicherheitsbehälteratmosphäre, insbesondere des Wasserstoffanteils, spielt eine wesentliche Rolle bei der Beurteilung der Gefährdungssituation des Reaktorsicherheitsbehälters im Unfallverlauf.

## Führend im Schutz des Reaktorsicherheitsbehälters

Ein weiteres Erfolgsprodukt, das am ehemaligen Standort Offenbach entwickelt und in Karlstein erprobt und qualifiziert wurde, ist die gefilterte Druckentlastung des Reaktorsicherheitsbehälters. Die Karlsteiner Versuchs- und Testeinrichtungen mit Dampferzeuger, Druckspeicher, etc. erlauben die Erprobung von Komponenten und Systemen im Großmaßstab für höchste Zuverlässigkeit und Sicherheit. Kernschmelzstörfälle sind unweigerlich mit Druckaufbau im Reaktorsicherheitsbehälter verbunden. Diese letzte Barriere vor der Freisetzung von radioaktiven Spaltprodukten in die Umwelt gilt es zu erhalten, indem ein Überdruckversagen vermieden wird. Folgerichtig wird die Gasatmosphäre aus dem Behälter abgeleitet, um den Druck zu senken. Die radioaktiven Substanzen, insbesondere Jod und Cäsium, müssen jedoch sicher und in hohem Maße zurückgehalten werden. Die gefilterte Druckentlastung aus Karlstein ist die erste Wahl der Kraftwerksbetreiber in bereits über →

100 Reaktoren in 16 Ländern der Welt und garantiert die Sicherheit der Umwelt und Bevölkerung in der Umgebung der Kraftwerke, so dass großräumige Evakuierungen und langjährige, aufwändige Arbeiten zur Folgenbeseitigung wie in Fukushima nicht zu befürchten sind.

### Probenahmesysteme für extreme Umgebungsbedingungen

Weiterhin wurden in Karlstein Systeme zur Entnahme von Proben aus dem havarierten Containment im Fall eines Kernschmelzunfalls zur Serienreife entwickelt, die jetzt Bestandteil der EPR-Reaktorlinie geworden sind. Da das Reaktorunglück infolge des Tsunamis in Fukushima gezeigt hat wie wichtig es ist, auch während eines Kernschmelzunfalls verlässliche Messdaten aus dem Containment zu erhalten, werden diese Systeme zunehmend auch in bestehenden Kernkraftwerken nachgerüstet.

Neben dem Bau von Prototypen für die Erprobung werden heute auch Bauteile für eigenentwickelte Produkte in Karlstein hergestellt. Hier sind kurze Lieferzeiten und Flexibilität unter Beibehaltung hoher Qualität gefragt – eine Herausforderung für die Kollegen in der Präzisionsteilfertigung Karlstein.

Auf diese Weise tragen Sicherheitssysteme „Made in Karlstein“ auch nach dem politisch motivierten Ausstieg Deutschlands aus der Erzeugung von Elektrizität durch Kernenergie zum sicheren Betrieb von Kernkraftwerken weltweit bei. Diese Kompetenz gilt es zu erhalten.

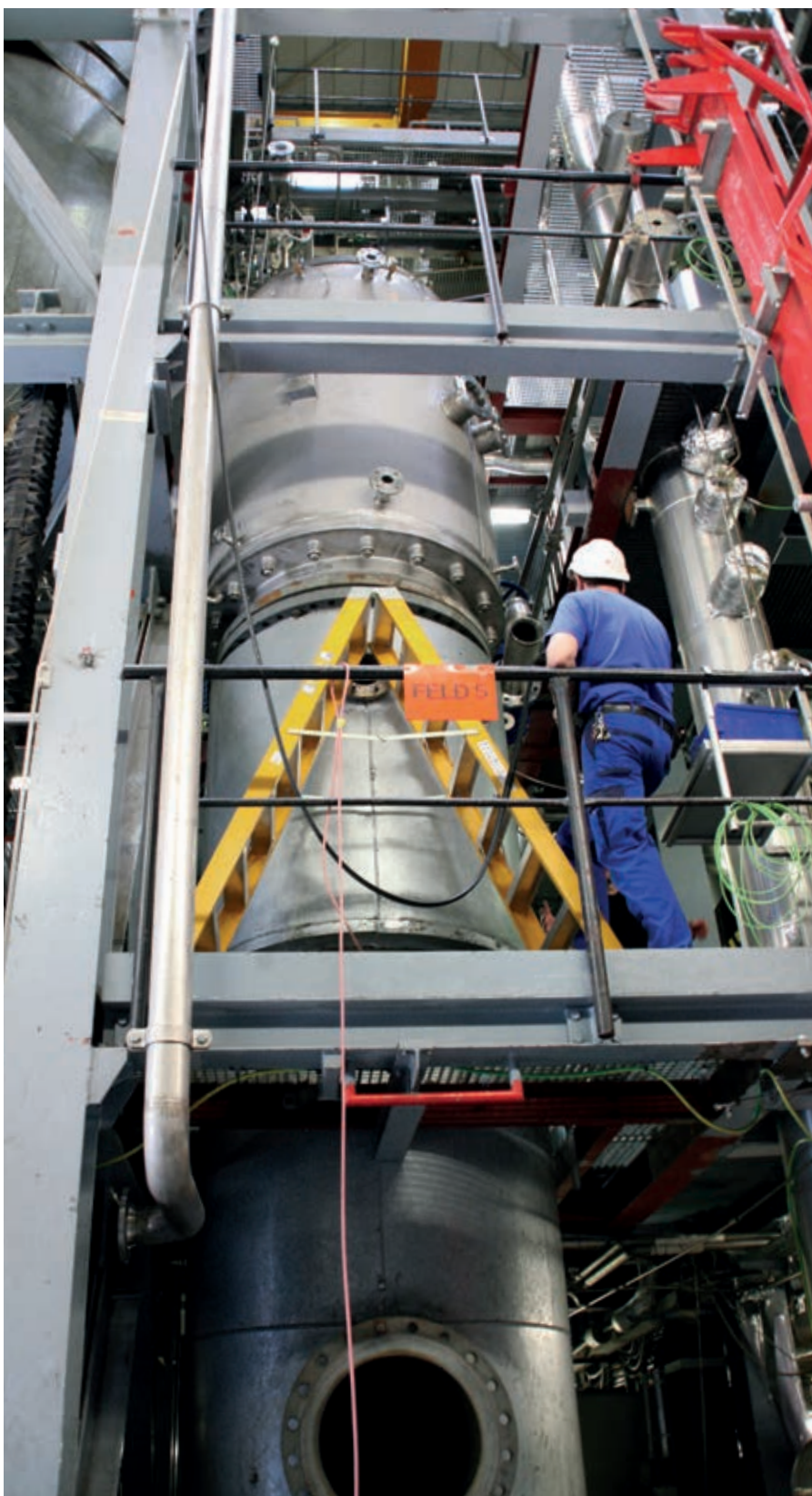


Abb. 24  
Full-Scale-Testeinrichtung für die gefilterte Druckentlastung.



# Radioaktive Abfälle – Der Umwelt verpflichtet

Beim Betrieb und im Lebenszyklus von kerntechnischen Anlagen entstehen alle Arten von radioaktiven Abfällen, die sicher behandelt und aufbereitet werden müssen. Mit dem Ziel, so wenig Radioaktivität wie möglich in die Umwelt abzugeben, werden in Karlstein Systeme und Komponenten für Abfall- und Abwasseraufbereitung geplant.

Erste Entwicklungen im Bereich Abfallaufbereitung gab es in Karlstein schon seit dem Betrieb der eigenen Abfallbehandlungseinrichtungen in den frühen 1960er Jahren. Im Rahmen der Eigenentwicklungen zur Konditionierung der Abfälle aus den damals neu gebauten Kernkraftwerken in Deutschland wurde bereits in den 80er Jahren ein Zementierungsteststand und später dann auch eine komplette mobile Zementierungsanlage aufgebaut. Im Jahr 1999 wurde in Karlstein sogar ein Verdampfer für das zu dem Zeitpunkt noch im sicheren Einschluss befindliche Kernkraftwerk Lingen zusammengebaut und getestet.

Mit der Zusammenlegung der beiden Standorte Offenbach und Karlstein im Jahr 2016 entstand ein einzigartiges Kompetenzzentrum für die Auslegung, Genehmigungsbegleitung und Abwicklung der Systeme und Komponenten.

## **Zurückhaltung von radioaktiven Stoffen zum Schutz der Umwelt**

Ein Schwerpunktthema in der Behandlung von flüssigen und festen radioaktiven Betriebsabfällen ist heute die Planung der →

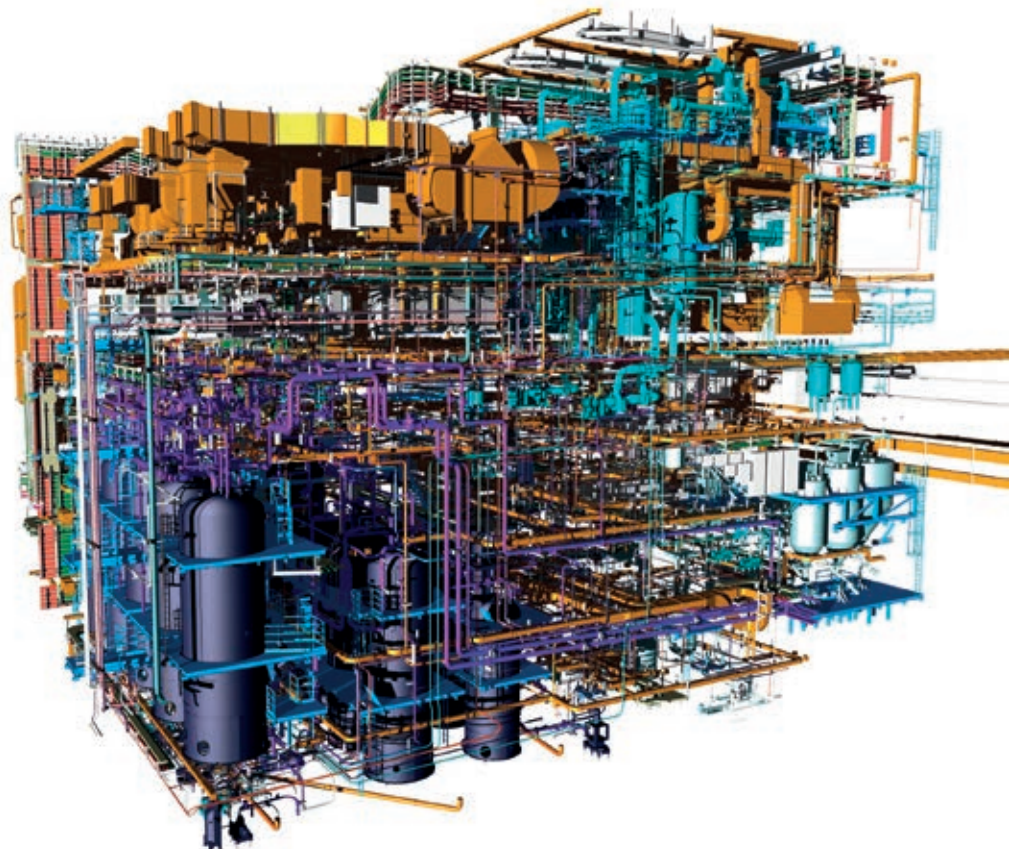


Abb. 25  
3D-Modell der  
Abwasseraufberei-  
tungsanlage in einem  
EPR-Reaktor

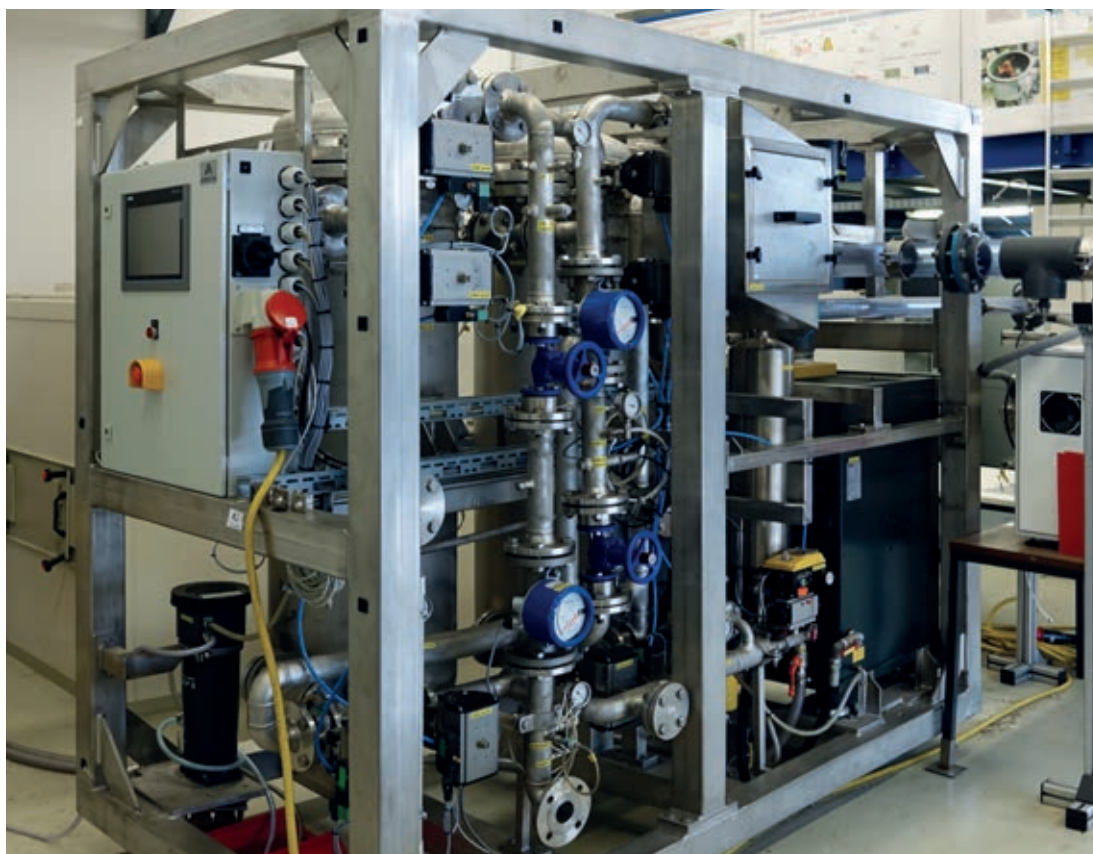


Abb. 26

**CRAFT** – Patentiertes Filtersystem zur Edelgasrückhaltung

Abfallbehandlungseinrichtungen für die neueste Generation von Kernkraftwerken (EPR Gen 3+) bzw. die Fertigstellung der aktuell laufenden Neubaufträge. Für die Kernkraftwerke Olkiluoto 3 in Finnland und Taishan in China erfolgte jeweils die Planung für die Abfall- und Abwasseraufbereitungsgebäude sowie die Systemauslegung und die Abwicklung spezifischer Anlagenteile und Komponenten. Meilensteine waren der erfolgreiche Abschluss der Inbetriebnahme der Abwasseraufbereitung im Juni 2018 in Taishan und im Oktober 2019 in Olkiluoto 3.

Schon in den 1970er Jahren wurde in der KWU ebenso intensiv an den Möglichkeiten zur Rückhaltung radioaktiver Gase geforscht und die erforderlichen Behandlungseinrichtungen für die damals im Bau befindlichen Kernkraftwerke geliefert.

Heute wird von Karlstein aus diese in vielen älteren Kernkraftwerken, aber auch in allen EPR weltweit eingesetzte Technologie fachlich weiterentwickelt und betreut.

2019 erhielt Framatome den Auftrag zur Lieferung von zwei ebenfalls, weltweit einzigartigen in Karlstein neu entwickelten sogenannten CRAFT (Control Room Accident Filtration System) Modulen. Diese Module wurden auf der Grundlage der oben erwähnten Rückhalteverfahren entwickelt und sind in der Lage, kontaminierte Luft aus der Umgebung, einschließlich potentiell vorhandener Edelgase, im Falle eines nuklearen Unfalls zu filtern. Im speziellen Projekt sollen in einem unterstellten Störfallszenario bis zu 250 Personen in einem gesondert gesicherten Gebäude mit gereinigter Luft versorgt werden.



# Innovative Reaktor-Regelung – Unser Beitrag zur Energiewende

Die volatile Energieeinspeisung ins europäische Stromnetz durch Wind- und Sonnenenergie nimmt immer mehr zu. Da Energie nicht im Stromnetz gespeichert werden kann, müssen Stromverbrauch und Stromerzeugung immer ausgeglichen sein.

Mit der innovativen, vollständig automatisierten, digitalen Reaktorregelung (engl. Advanced Load Following Control = ALFC) für Druckwasserreaktoren aus Karlstein ist es möglich, auf die verschiedenen Netzregelmodi vollautomatisch, ohne Handeingriffe optimal zu reagieren.

Hierbei werden die folgenden Netzregelmodi unterschieden:

## Primärfrequenzregelung

Mit der Primärfrequenzregelung wird auf die Schwankungen im Netz mit sofortigen, schnellen und kurzen Leistungsänderungen innerhalb weniger Sekunden zur Netzfrequenzstützung reagiert.

Abb. 27  
Beispielsverlauf der  
**Netz-Sekundärregelung**  
über einen Monat



## Netz-Sekundärregelung

Die Netz-Sekundärregelung reagiert auf nicht vorhersehbare, stochastische Generatorleistungsänderungen (teilweise mehrere Stunden). Dabei muss sichergestellt werden, dass die Anlagenleistung jederzeit auf eine anwählbare maximale Zielleistung erhöht werden kann. Mit ALFC wird dabei über eine geeignete Reaktivitätsbilanz der zeitlich komplexe Xenon-Betrag in der Leistungsänderung zyklisch berücksichtigt.

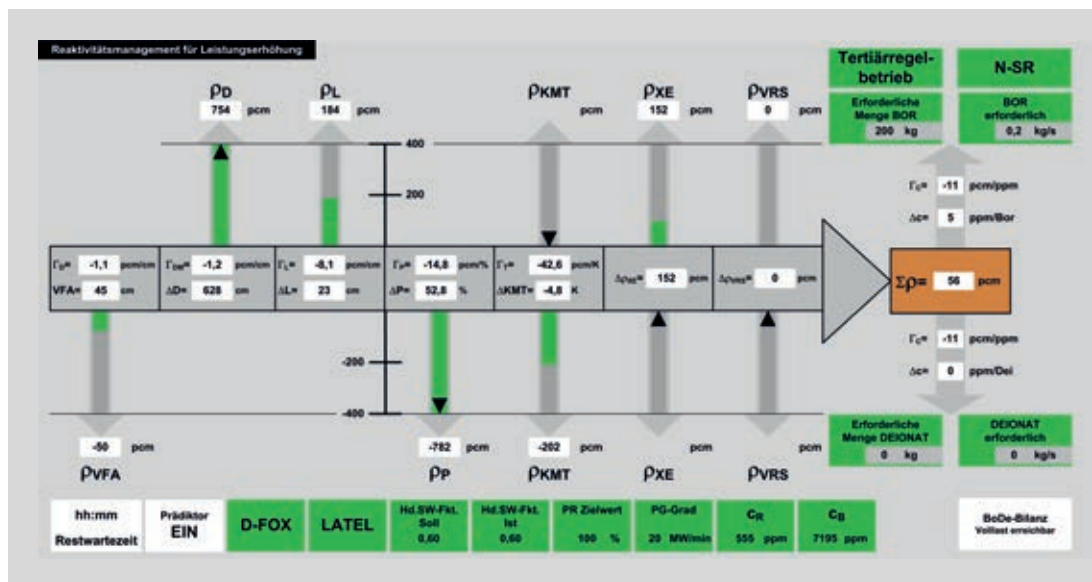


Abb. 28

Zur Unterstützung des Schichtpersonals wird die **vorausschauende Reaktivitätsbilanz** in einem Anlagenbild visualisiert

### Netz-Tertiärregelung

Die Netz-Tertiärregelung bedient mittel- bis langfristige Generatorleistungsänderungen. Abhängig von der Dauer der Teillast, die mehrere Stunden beträgt, werden automatisch die betrieblich sinnvollen Zielvorgaben angewählt. Das ALFC-Zusatzmodul „Predictor“ berücksichtigt über eine vorausschauende Xenonberechnung die Teillastdauer in der Reaktivitätsbilanz.

Mit diesem einzigartigen Produkt ALFC leistet Framatome einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende hin zu einer CO<sub>2</sub>-freien Stromerzeugung, einer stabilen Netzfrequenz und somit einer gesicherten Stromversorgung.



# Geräte für zerstörungsfreie Prüfung

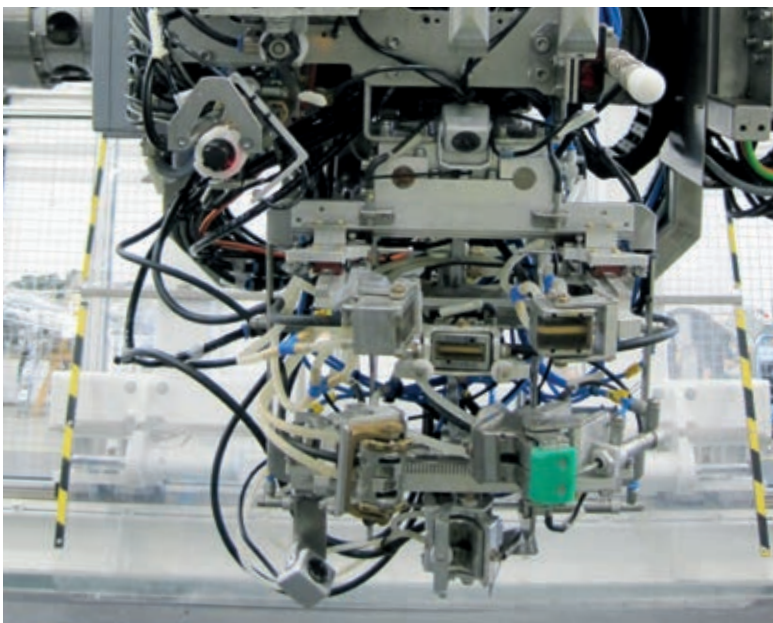
Schon AEG trat als Anbieter von Produkten und Dienstleistungen rund um die Kernenergie auf. Um den sicheren Betrieb der selbst errichteten Kraftwerke, aber auch von Fremdanlagen zu gewährleisten, werden zyklisch Prüfungen der sicherheitsrelevanten Komponenten durchgeführt. Während der regelmäßigen Revisionen zum Brennelementwechsel der Kernreaktoren werden die Rohrleitungen des Primärkreises und viele weitere kritische Bauteile mit zerstörungsfreien Prüfverfahren wie Ultraschall, Wirbelstrom oder Röntgen auf Unversehrtheit überprüft.

## Unabhängige Prüfungen

Um dies unabhängig vom Errichter und Betreiber der Anlage zu gewährleisten, wurde die Tochtergesellschaft Siemens NDT gegründet. Nach der Fusion mit Framatome ANP und später unter Areva firmierte diese unter intelligente NDT Systems & Services GmbH. Inzwischen wurde das

Abb. 29

**Ferngesteuerter Ultraschall-Prüfkopf:**  
Gebündeltes Fachwissen aus Mechanik, Elektrotechnik und Messtechnik findet seine Anwendung



Produktportfolio wieder in die Framatome GmbH eingegliedert.

Angeboten wird das komplette Spektrum vom Prüfservice über Ultraschall- und Wirbelstromsensoren mit Verkabelung, kundenspezifischen Manipulatoren, eigenen Prüfgeräten der SAPHIR-Familie bis hin zur Bedien- und Auswertesoftware. Die Ultraschallgeräte, aktuell SAPHIRquantum, werden in Karlstein entwickelt und hergestellt. Sie werden von der Framatome GmbH, der französischen Intercontrôle sowie weiteren internationalen Kunden im nuklearen Service weltweit eingesetzt.

## Für die Kerntechnik entwickelt – in der Industrie gefragt

Auch in der nicht nuklearen Industrie sind die Anlagen zur Qualitätssicherung sehr gefragt. Räder und Achsen von Eisenbahnzügen werden regelmäßig mit den Anlagen der Framatome überprüft. Auch die Fertigungskontrolle großer Schmiedeteile aus Stahl, sowie von Verbundfaserteilen für Flugzeuge und Windkraftanlagen erfolgt mit Framatome-Prüfanlagen. Speziell ausgebildete Inspektoren der Framatome werden aus Karlstein zu Kunden in aller Welt entsandt um qualitätssichernde Überwachungen durchzuführen und die Kunden bei der Einhaltung der umfangreichen Regelwerke zu unterstützen.



Abb. 30

**Ultraschallprüfgeräte** (hier SAPHIRquantum) werden in Karlstein entwickelt, hergestellt und getestet

# Kernkraftwerk-Simulatoren am Standort Karlstein

Die Entwicklung von moderneren Simulatoren für Kernkraftwerke am Standort Karlstein begann 1978 mit der Schulung der Betriebsmannschaft mittels DWR-Simulator.

Neue Arbeitsgebiete wie die Validierung und Verifizierung der Leittechnikarchitektur und des Betriebshandbuches, Schulungsmaßnahmen für Entwicklungsingenieure der Framatome und Kurse im Bereich des allgemeinen Anlagenbetriebes und des Störfallmanagements wurden nun möglich und bilden seither ein wichtiges Werkzeug als Trainingstool, aber auch im Service für neue Projekte oder für bereits laufende Anlagen.

So befindet sich in Karlstein der SWR Close Loop Simulator, der EPR-Engineering-Simulator und Simulatoren der Brennelement-Lademaschine.

## Alle SWR-Kompetenzen gebündelt

Der SWR-Simulator ist als Kopie des Forsmark-3-Entwicklungssimulators mit Bildschirmwarte, Prozessrechner und

OM650 System aufgebaut. Er ermöglicht es aufgrund der Bedienbarkeit über eine sogenannte „Soft-Panels“ bzw. Bildschirmwarte, dass realistische Prüfungen schon während des Designs durch die Reaktorfahrer von Forsmark 3 nach realen Bedienvorschriften und Transienten oder Fehler-szenarien durchgeführt werden können.

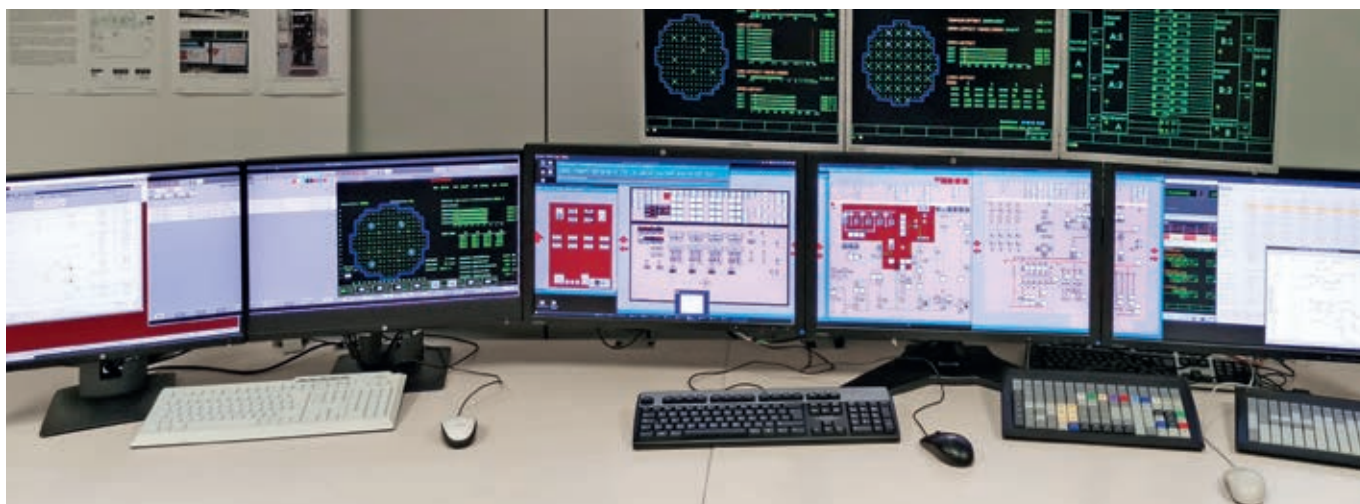
Forsmarks Kraftgrupp AB, der Betreiber der Anlage, betont immer wieder den Einsatz des Simulators in Karlstein als Schlüsselfaktor für eine frühzeitige Risikominimierung für die spätere Integration einer neuen Lösung in die Anlage.

Am Standort Karlstein sind somit alle Kompetenzen der Framatome bezüglich SWR-Technologie gebündelt: von der Verfahrens- und Sicherheitstechnik bis hin zu Leittechnik und HFE. Am EPR Engineering Simulator werden in Zusammenarbeit mit dem Training Center Schulungen für Kunden, Behörden und Framatome-Mitarbeiter angeboten.

Weiterhin befinden sich mehrere Simulatoren der Brennelement-Lademaschine verschiedener Kraftwerke am Standort Karlstein.

Abb. 31

**Bediener-Schnittstelle**  
des Forsmark 3-Close  
Loop Simulator in  
Karlstein





# SWR-Krisenstab und Systemkompetenz

Die Erkenntnisse aus dem Störfall in der Anlage TMI-2 (USA) führten bei KKW-Betreibern und bei Framatome zu der Entscheidung, einen Krisenstab zur Beratung und Unterstützung der Betreiber in Störfallsituationen einzurichten.

Dieser Krisenstab existiert seit März 1980 an den Standorten Erlangen und Karlstein (früher Offenbach) für ursprünglich 14 DWR-Anlagen und 6 SWR-Anlagen sowie einer EPR-Anlage.

Ziel von Framatome und den Betreibern ist es, das bei Framatome vorhandene Potential an Fachwissen schnell und effektiv einzusetzen, wenn in einem Kernkraftwerk eines Vertragspartners ein Störfall eintreten sollte. Unter Berücksichtigung des Fukushima-Ereignisses sowie des sich wandelnden Unterstützungsbedarfs in den Kernkraftwerken stehen die "auslegungsüberschreitenden Ereignisse" mit den sogenannten "schweren Störfällen" im Fokus.

## Krisenstab

Framatome hält für die Beratung und Unterstützung bei Störfallereignissen der Kernkraftwerke im Anforderungsfall und im Rahmen von Notfallübungen ein Krisenstabsteam (KS) vor, das vorrangig auf nachfolgend aufgeführte Fachgebiete konzentriert ist:

- Schwere Störfälle
- Radiologie und Strahlenschutz
- System- und Gebäudetechnik
- Verfahrenstechnik (Störfallbehandlung) und Thermohydraulik

Dieses KS-Team steht rund um die Uhr (24/7) in Rufbereitschaft. Die für die Unterstützung erforderliche Infrastruktur ist in eigens dafür eingerichteten Krisenstabsräumen an den Standorten Erlangen und Karlstein untergebracht.

Im Rahmen dieses Krisenstabprojektes wurde und wird durch den Standort Karlstein schwerpunktmäßig die Expertenunterstützung im Bereich der Siedewassertechnologie, der Gebäudeanalysen und der Radiologie übernommen.

Der reibungslose Ablauf eines Krisenstabeinsatzes wird durch geplante und ungeplante Alarmübungen sichergestellt. Zum Know-How-Erhalt wurde ein umfangreiches, Framatome-internes Trainingsprogramm erstellt, damit die Kompetenzen für die Aufgaben der KS-Mitglieder weiter gestärkt werden.

# Softwarefreie Leistungselektronik für den sicheren Betrieb

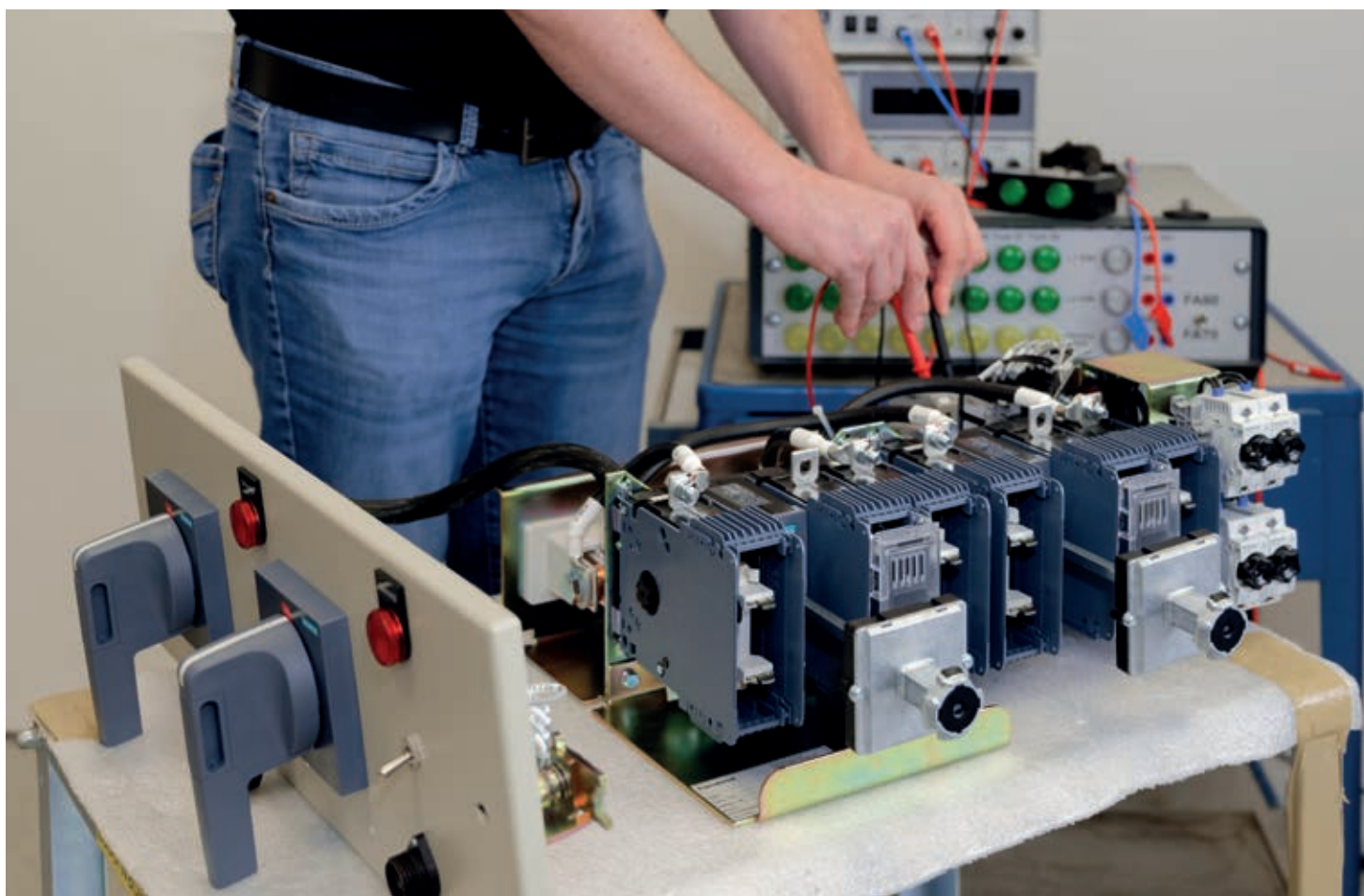
Der digitale Wandel mit dem Einsatz von smarten Systemen in fast allen Bereichen stellen Kernkraftwerke bei Erneuerungen ihrer sicherheitsrelevanten Systeme vor große Herausforderungen. Wie können ihre immer älter werdenden elektrotechnischen Systeme und sicherheitsrelevanten Komponenten durch kompatible, moderne und vor allem kerntechnisch qualifizierbare Technologien nachhaltig und wirtschaftlich ersetzt werden?

Seit April 2016 geht Framatome dieser Frage verstärkt am Standort Karlstein nach. Durch die flächendeckende Zusammenarbeit der elektrotechnischen Fachbereiche findet Framatome zunehmend Lösungen für abgekündigte Produkte und nicht länger verfügbare Technologien.

Somit hilft sie ihren Kunden bei Design, dem Engineering und der Modernisierung von sicherheitsrelevanten Komponenten, die nukleartechnischen und behördlichen Anforderungen weiter zu erfüllen und dabei dem Trend der Industrie hin zu immer kürzeren Produktlebenszyklen entgegenzuwirken. →

Abb. 32

**Prüfung** eines modernisierten Umrüstbausatzes im Prüffeld





### Innovationen in der Elektrotechnik

Am Standort Karlstein ist Framatome Treiber für viele neue und innovative softwarefreie Produkte der Elektrotechnik, die sie eigens entwickelt, fertigt und qualifiziert. Dabei liegt der Fokus stets auf

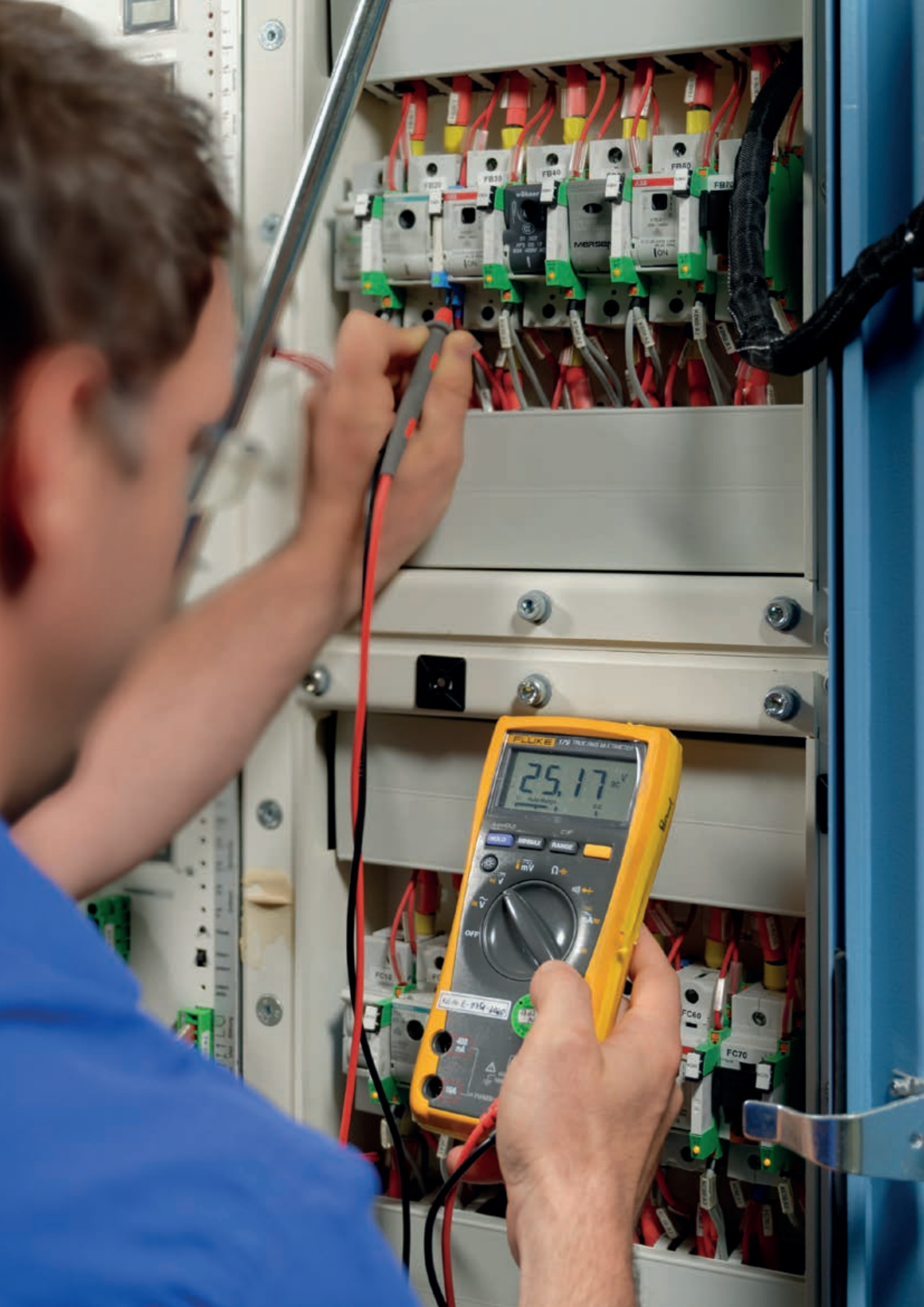
- Sicherheit,
- Qualität,
- Nachhaltigkeit und
- Verfügbarkeit.

So ist es gelungen, Produkte im Bereich Leistungselektronik wie den THORC (Thyristor-Leistungssteller zur sicheren Versorgung und Steuerung von Regelventilen) abschließend weiterzuentwickeln und Kunden weltweit zu bedienen.

Auch im Bereich der unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV) sind Komponenten wie softwarefreie Batterie-Gleichrichter, AC/DC- sowie DC/DC-Schaltnetzteile „MAGIC“ zur sicheren Stromversorgung der Betriebs- und Sicherheitsleittechnik entstanden. Kompatible Retrofit-Lösungen für Niederspannungsschaltanlagen gehören heute ebenfalls zum festen Portfolio der Framatome in Karlstein.

Der Motor des Erfolgs sind unsere hochmotivierten und qualifizierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die aufgrund der engen und fachübergreifenden Zusammenarbeit eine ideale Umgebung zur Entwicklung und Fertigung von innovativen Ideen und Produkten an diesem Standort vorfinden.





# Analyse, Berechnung und Auslegung elektrotechnischer Systeme



Abb. 34  
Ausschnitt eines **elektrischen Schaltplans**

Ein wirtschaftlicher und zuverlässiger Betrieb von Kraftwerken setzt eine sorgfältige Auslegung der elektrotechnischen Systeme und Komponenten voraus. Dabei sind Kenntnisse komplexer Systemstrukturen und der verschiedenartigen funktionalen, verfahrenstechnischen, betriebs- und störfallbedingten Anforderungen an die elektrischen Systeme von Kraftwerken verpflichtend.

Seit Juli 2016 bedient Framatome von Karlstein aus seine Kunden weltweit mit fundierten Berechnungen zur Auslegung und zum Schutz der elektrotechnischen Systeme und Komponenten von Eigenbedarfsanlagen. Dabei werden Untersuchungen unter allen Betriebsbedingungen des Kraftwerks durchgeführt. Diese sind:

- Anfahrbetrieb
- Abfahrbetrieb
- Leistungsbetrieb
- Störfall

## Entwicklung spezieller Berechnungsprogramme

Mit über 25 Jahren Kraftwerkserfahrung bilden die qualifizierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Karlstein das Backbone der Elektrotechnik. Sie erstellen elektrotechnische Analysen und Berechnungen für Anforderungen des Betriebs und für Belange bei betrieblichen elektrotechnischen Störungen wie z. B. Untersuchungen der Kurzschluss- und Spannungsverhältnisse oder Selektivitätsanalysen.

Als einziger Framatome-Standort verwendet der Fachbereich in Karlstein die eigens hierfür entwickelten Berechnungsprogramme EKB und SEDI, wodurch praxisorientierte Dokumentationen übersichtlich, vollständig und lückenlos mit Eingangsdaten und Berechnungsergebnissen erstellt werden. Damit kann Framatome seinen Kunden und deren Behörden jederzeit die Nachvollziehbarkeit der Berechnungen ermöglichen und die Genehmigungsverfahren bei Modernisierungen oder einem Neubau sicherstellen.



# Überwachung und Diagnose von Armaturen und Stellantrieben

Seit den 1970er Jahren besteht am Standort Karlstein eine Abteilung, die sich auf die spezielle Messtechnik für den Einsatz in Kernkraftwerken spezialisiert hat. Einsatzgebiete waren und sind zum Beispiel Schwingungsmessungen an Rohrleitungen und Komponenten, Erfassung von temperaturbedingten Längenausdehnungen und Verschiebungen sowie Messungen aller Art von Druck-, Temperatur- und elektrischen Signalen.

Den Messtechnikern zugeordnet ist auch das akkreditierte Kalibrierlabor, in dem die eingesetzten Messgeräte und Sensoren gewartet und deren Messgenauigkeiten überprüft und dokumentiert werden.

## Computer erleichtern Datenerfassung

In den 70er und 80er Jahren wurden die Signale noch analog aufgezeichnet und auf Magnetbändern gespeichert. Doch bereits in den frühen 1980er Jahren wurden die Versuchseinrichtungen am Standort durch digitale Datenerfassung und Speicherung ergänzt: Damals noch auf einem mittleren Großrechner der Firma Data General von der Größe mehrerer Kühlschränke, dessen Rechenleistung und Speicherkapazität heute von jedem Smartphone übertroffen werden. Durch die Weitsicht der damaligen Abteilungsleitung, dass die Zukunft in der Rechnertechnik liegt, wurde eine Gruppe „Rechnergestützte Prüf- und Messtechnik“ gegründet, aus der die heutige Überwachung und Diagnose von Armaturen und Stellantrieben hervorgegangen ist.

Seit den 1990er Jahren werden Personal Computer (PCs) zur Datenerfassung eingesetzt und eine eigene spezialisierte Software “ADAM” (Armaturen-Diagnose- und Auswertemethoden) entwickelt. Ebenso wurde eine eigene Datenerfassungselektronik “SIPLUG” entwickelt, die heute bereits in der vierten Generation verfügbar ist. Die fortschrittliche Technik des “SIPLUG4” wurde 2012 durch den dritten Platz beim firmenweiten Innovationspreis belohnt.

Heute wird die SIPLUG-Messtechnik und die ADAM-Software durch 16 Mitarbeiter kontinuierlich weiterentwickelt und kommt bei vielen Neubauanlagen als State-of-the-Art-Technologie zum Einsatz (z. B. Finnland OL3, Taishan in China, Angra3 in Brasilien).

Bis 2019 wurden über 7000 Armaturen weltweit mit der SIPLUG Technik ausgestattet.

Für die nächsten Jahre sichern Großaufträge für Hinkley Point (England, 2 EPR-Anlagen) und auch für Fremdanlagen wie Hanhikivi (Finnland, Russischer WWER-1200-Reaktor) die Zukunft.

Abb. 35  
SIPLUG-Modul im Testaufbau



# Strukturdynamik von Bauwerken – Weltweit einzigartiges Know-how

Hauptsächlich ist das Strukturdynamik-Team am Standort Karlstein für die Bemessung der Baustrukturen einer nuklearen Anlage verantwortlich. Dazu gehört die Untersuchung aller möglichen statischen und dynamischen Beanspruchungen.

Die Arbeit ist vielfältig, da die Beanspruchungen aus natürlichen Phänomenen (z. B. Erdbeben, Tornados), der Anlagenbetriebe (z. B. Schwingungen, Temperatur, Rissbildung) und Schadensfällen (z. B. Leitungsbruch) bestehen oder aber auch einen terroristischen Hintergrund (Flugzeugabsturz oder Explosionen) haben können.

Zu Beginn einer üblichen Untersuchung generieren Framatome-Experten 3D Finite-Element-Modelle der Gebäudestrukturen und bedeutender Komponenten, aber auch Fiat-500-Modelle für Tornadolasten oder ganze Passagier- oder Militärflugzeuge, um Flugzeugabstürze zu simulieren. Für die Simulation der Lastfälle benutzen wir Hochleistungsrechner und bestimmen mit linearen als auch nicht linearen Methoden Ergebniswerte, die bei dem Nachweis der Tragsicherheit benötigt werden.

## **Geologische Bedingungen berücksichtigen**

Diese Ergebnisse werden zum Teil aufbereitet (z. B. Antwortspektren), so dass sie von Kollegen anderer Arbeitsgruppen zur Bemessung verschiedener Systeme und Komponenten benutzt werden können. Ein Großteil unseres Aufgabenbereichs beschäftigt sich mit der Einbeziehung der Boden-Bauwerk-Wechselwirkung. Dabei werden die anlagen- und standortspezifischen geologischen Gegebenheiten in die Berechnung miteinbezogen (Bodeneigenschaften, Erdbebenwellenausbreitung) ebenso die Wechselwirkung bei Spezialbauten, z. B. Pfahlgründungen, Anlagen oder Anlagenteile auf Feder-Dämpfer-Systemen.

Da viele der Eingangsdaten über Streuungen verfügen, benutzen wir ggf. probabilistische Methoden und mathematische Modelle, um die Tragsicherheit der Anlage zu bewerten. Diese Ergebnisse fließen dann in Fragilitätsberechnungen und Seismic Probabilistic Risk Assessments (SPRA) der Gesamtanlage ein.

Unser Hintergrundwissen ist firmenintern weltweit einzigartig und einige unserer Methoden sind in der nuklearen Industrie führend.

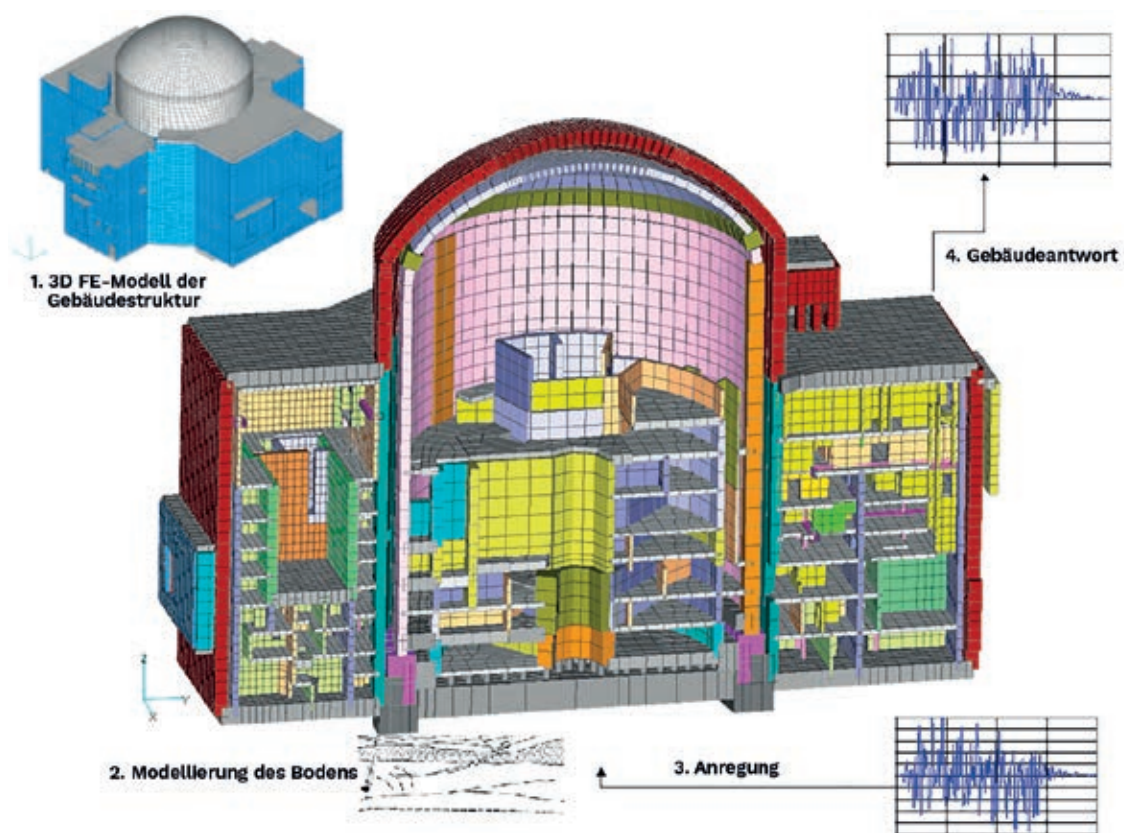


Abb. 36

Die Berechnung der Gebäudedynamik des EPR berücksichtigt die verschiedensten natürlichen und künstlichen Einflüsse auf das Bauwerk



# Training Center Karlstein

Erfolg und Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen hängen wesentlich von der Kompetenz ihrer Mitarbeiter ab. Seit über 40 Jahren schult das Training Center in Karlstein nicht nur internes Personal. Das Angebot umfasst zudem Schulungen für Kunden und deren Mitarbeiter.

Die planmäßige Einweisung von Kraftwerkspersonal begann 1978 mit der Schulung der Betriebsmannschaft für das geplante Kernkraftwerk Bushehr im Iran. Seitdem wurden Kunden aus aller Welt in Karlstein trainiert.

## KKW Biblis steht Modell

Hierfür wurde in Karlstein ein Druckwasserreaktor-Simulator nach dem Modell des Kernkraftwerks Biblis aufgestellt, sodass sich die Kurse nicht auf die Theorie beschränkten, sondern durch praktisches Training am Simulator ergänzt werden konnten. Der

Simulator wurde auch für die Schulung von KWU-Inbetriebsetzungspersonal und ausländischen Interessenten wie zum Beispiel Gruppen der Internationalen Atomenergieorganisation (IAEO) und des chinesischen Energieministeriums eingesetzt. Ein modulares Ausbildungssystem wurde erarbeitet, das es möglich machte, verschiedene Kursbausteine je nach Bedarf zu individuellen Ausbildungsprogrammen zusammenzustellen.

1982 wurde der Simulator durch eine neuere Anlage ersetzt, die für das Ausbildungszentrum der brasilianischen NUCLEBRAS bestimmt war und die Warte des Kernkraftwerks Grafenrheinfeld – die Referenzanlage für die Kernkraftwerke Angra-2 und -3 in Brasilien – nachbildete. An dieser Anlage wurden die brasilianischen Instruktoren sowie die Betriebsmannschaften der Kernkraftwerke Grohnde, Trillo (Spanien) und Brokdorf ausgebildet. Ende 1984 wurde der Simulator nach Brasilien transportiert und im dortigen Ausbildungszentrum neu in Betrieb genommen.

## Anwenderspezifische praxisnahe Schulungen und Ausbildungsprogramme

Das 2016 neu gestaltete Training Center nutzt die Synergien zu den zahlreichen Karlsteiner Fertigungsstätten, wie z. B. die Lanzen- und Komponentenfertigung und die Versuchsstände für Besichtigungen als Anschauungsunterricht innerhalb der Kundensschulungen optimal.

In den modernen Räumen im Bau 33 befindet sich viel Equipment für praktische Trainings. Neben den TXS- und THORC-Schränken sowie den verschiedenen leittechnischen Plattformen und Bauteilen kann man auch am EPR-Trainingssimulator von OL3 (Finnland) unter realistischen Bedingungen betriebliche Szenarien darstellen und üben. →

Abb. 37

Das **Training Center** in Karlstein begrüßt seine Kunden



Die modular aufgebauten Trainingskurse zu Technologie, Leittechnik und Framatome-Produkten sind auf die entsprechenden Bedürfnisse der jeweiligen Anwendergruppen im Kernkraftwerk und seinem Umfeld ausgerichtet.

### Verfahrens- und systemtechnisches Wissen zum Aufbau und Betrieb von Kernkraftwerken

Das Portfolio umfasst Kurse zur Kraftwerkstechnik aus den Bereichen des verfahrenstechnischen Aufbaus und der Auslegung von primär- und sekundärseitigen Systemen, der Reaktorphysik und nuklearen Betriebspraxis, der nuklearen Instrumentierung, des Betriebs- und Störfallverhaltens, der Elektrotechnik sowie der verfahrenstechnischen Anforderungen an die Sicherheitsleittechnik und die Leittechnik am Turbosatz.

### Betrieblicher Einsatz und Funktionen der Sicherheitsleittechnik

Umfangreiche Schulungen auf dem Gebiet der Sicherheitsleittechnik unter Nutzung der digitalen Systemplattform TELEPERM XS werden für verschiedene Teilbereiche angeboten: Systemrechner und Architekturen, Hardware, Software, Engineering und Instandhaltung. Des Weiteren werden Schulungen für analoge Gerätefamilien wie ISKAMATIC und EDM angeboten und durchgeführt.

So werden notwendige Grundlagen sowie Detail- und Hintergrundwissen für den sicheren Betrieb, die effiziente Modernisierung und Instandhaltung von Anlagen vermittelt. Damit leistet das Framatome Training Center einen wesentlichen Beitrag zum Kompetenzerhalt in der Kerntechnik.

Die langjährigen Kontakte zu international agierenden Kraftwerksbetreibern, Behörden und Institutionen sorgen für wichtige Impulse zu nuklearen Sicherheitsaspekten und -lösungen.



Oben, Abb. 38  
Training an der **Leittechnik-Trainingsplattform TXS**

Unten, Abb. 39  
**Papierreduzierte Nutzung** digitaler Trainingsunterlagen





## Blick in die Zukunft

Aufgrund der besonderen Kompetenzen und der einzigartigen Infrastruktur sieht sich der Standort im Hinblick auf die Herausforderungen der Zukunft gut aufgestellt. Er ist in seiner heutigen Aufstellung als wichtiger Teil von Framatome weltweit und innerhalb des EDF-Konzerns anerkannt. Und so wird die langjährige Erfahrung in der Sicherheitstechnik „Made in Karlstein“ auch weit über 2022 hinaus wichtige Impulse in der ganzen Welt setzen.





Framatome ist ein international führender Hersteller in der kerntechnischen Industrie. Dank seiner internationalen Expertise, durchgängig hoher Qualität und innovativer Technologien genießt das Unternehmen seit vielen Jahren einen ausgezeichneten Ruf und steht für Zuverlässigkeit und exzellente Leistung. Auf dieser Basis entwickelt, fertigt und installiert Framatome Komponenten und Brennstoffe sowie Leittechniksysteme für Kernkraftwerke und bietet umfassende Serviceleistungen für Reaktoren. Rund 14.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in aller Welt tragen jeden Tag dazu bei, die Sicherheit und Wirtschaftlichkeit kerntechnischer Anlagen stetig weiter zu verbessern, um sauberen, mit geringem CO<sub>2</sub>-Ausstoß erzeugten Strom bereitzustellen.

Besuchen Sie uns auf: [www.framatome.com](http://www.framatome.com), und folgen Sie uns auf Twitter: @Framatome\_ und LinkedIn: Framatome.

Die Anteile an Framatome halten EDF (75,5 Prozent), Mitsubishi Heavy Industries (19,5 Prozent) und Assystem (5 Prozent).