

Extreme Bedingungen

Pneumatiklösungen für Fusionsreaktor Iter

16.03.2026 · Quelle: Konstandin · 6 min Lesedauer · 

Kein Standard war für die Kryopumpensysteme im Fusionsreaktor Iter robust genug. Konstandin hat in Kooperation mit RI Research und Iter einen Steuerschrank dafür entwickelt. Eine Ventilsteuerung mit einer Toleranz von unter einem Millimeter Spiel sorgt für maximale Genauigkeit.



Der Magnet des torusförmigen Tokamak-Reaktors wird bis zu 500 Sekunden lange Magnetpulse erzeugen und das eingeschlossene Plasma auf eine Temperatur von 150 Millionen Grad erhitzen.

(Bild: Iter)

Im internationalen Forschungsprojekt Iter entsteht in Südfrankreich der weltweit grösste Fusionsreaktor. Ziel ist die Gewinnung sauberer Energie durch die Verschmelzung von Wasserstoffkernen zur langfristig emissionsfreien Stromerzeugung. Am Projekt sind 35 Nationen beteiligt. Das für die Kernfusion erforderliche Vakuum, dessen Druck nahezu der Leere des Weltraums entspricht, lässt sich nicht allein mit mechanischen Pumpen erzeugen. Daher kommen zusätzlich mehrere

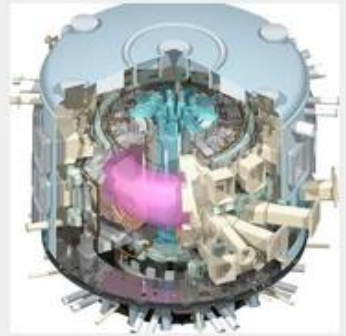
Kryopumpensysteme mit spezieller Regeltechnik zum Einsatz. Herkömmliche

Steuerungssysteme konnten den extremen Bedingungen des Tokamak-Reaktors jedoch nicht standhalten. Die Lösung entwickelte das Unternehmen Konstandin aus Karlsbad-Ittersbach, das bereits acht Pneumatik-Grosszylinder für die Kryopumpen lieferte. In Kooperation mit der

RI Research Instruments GmbH und der Iter Organisation entstand ein weltweit einzigartiger Pumpensteuerungsschrank, der die gross dimensionierten Einlassventile mit einem Durchmesser von fast 1000 mm präzise mit einem Ventilspiel von unter 1 mm regelt und den hohen Anforderungen an Magnetfeld-, Strahlungs-, Wärme- und Vibrationsbeständigkeit genügt.

«Bei Iter gibt es keine Standardlösungen, jedes Bauteil muss eigens entwickelt werden», erklärt Mathias Kraft, Leitung Konstruktion und Technik bei Konstandin. Der Satz bringt die Anforderungen an das neue Projekt auf den Punkt. Denn für die Steuerung der Kryopumpen war eine Konstruktion notwendig, die nicht nur zuverlässig arbeitet, sondern unter Umgebungsbedingungen funktioniert, die weltweit einzigartig sind. Iter steht für International Thermonuclear Experimental Reactor und gilt als das ambitionierteste Energieprojekt der Gegenwart. In dem Tokamak-Reaktor sollen künftig Temperaturen entstehen, die höher sind als im Inneren der Sonne. Um diese kontrollierbar zu halten, ist ein hocheffizientes Vakuumsystem unverzichtbar. Sechs Kryopumpen übernehmen die Aufgabe, die beim Fusionsprozess entstehenden Gase abzusaugen. Für diese Pumpen war jedoch kein passendes Steuerungssystem verfügbar. Der Betrieb verlangt eine präzise Kontrolle des Einlassventils, das fast einen Meter Durchmesser besitzt und sich nur um Millimeterbruchteile bewegen darf, um den Fluss der Gase exakt zu regulieren. Bereits 2021 hatte Konstandin für die RI Research Instruments GmbH acht Pneumatik-Grosszylinder für die Kryopumpen geliefert. Auf dieser positiven langjährigen Erfahrung aufbauend beauftragte die RI Research Instruments GmbH das Unternehmen Ende 2023 mit der Entwicklung des kompletten Steuerschranks. Die Anforderungen kamen direkt von Iter und stellten aufgrund der Sicherheitsstandards für kerntechnische Anwendungen eine wirkliche Herausforderung dar. Der Schrank sollte in Portzellen unmittelbar am Reaktor montiert werden und dort Magnetfeldern, hohen Temperaturen von bis zu sechzig Grad, Vibrationen und ionisierender Strahlung widerstehen. Die Zellen fungieren als Schnittstelle zwischen dem Reaktorkern und der Aussenwelt. In enger Abstimmung zwischen der RI Research Instruments GmbH, Iter und Konstandin entstand ein Steuersystem, welches die Ventilbewegung pneumatisch und damit besonders sicher umsetzt. Die Steuerung ermöglicht das erforderliche schnelle Öffnen bzw. Schliessen des Ventils und garantiert eine Positioniergenauigkeit mit einem Spielraum von unter einem Millimeter.

BILDERGALERIE



Bildergalerie mit 10 Bildern

ITER – GLOSSAR

Iter («International Thermonuclear Experimental Reactor») ist ein Versuchs-Kernfusionsreaktor im südfranzösischen Saint-Paul-lès-Durance. Ziel des internationalen Projekts ist die Entwicklung der Stromerzeugung aus Fusionsenergie. Nach ersten Planungen auf der Genfer Gipfelkonferenz 1985 vereinbarten 1988 die Europäische Union, Japan, die Sowjetunion und die USA, gemeinsam eine grosse Fusionsanlage zu entwerfen. China und Korea traten 2003 bei, Indien 2005. Nach einem Auswahlverfahren wurde das französische Forschungszentrum Cadarache als Standort bestimmt. 2006 unterzeichneten die sieben Mitgliedsstaaten das ITER-Übereinkommen, und 2007 wurde die Organisation offiziell gegründet. Beim Baubeginn 2010 arbeiteten etwa 500 Personen am Projekt, heute sind es mehrere tausend weltweit, die gemeinsam am Iter-Tokamak – dem derzeit fortschrittlichsten Fusionsenergieexperiment.

Pneumatischer Steuerschrank gewährleistet ausfallsichere, präzise Regelung

Der Steuerschrank arbeitet als pneumatische Steuereinheit und kommt nahezu ohne elektronische Komponenten aus, wodurch er auch in einer Umgebung mit starker Strahlung zuverlässig und ausfallsicher funktioniert. Geregelt wird er von einer extern positionierten SPS-basierten Steuerung ausserhalb der Strahlungszone. Leitungen führen die Steuerluft zu grösseren Ventilen, die den Kolben des Einlassventils antreiben und in wenigen Sekunden 80 Liter Druckluft verdrängen. Das System ermöglicht schnelles Öffnen und Schliessen, präzise Zwischenstellungen und Notstopps. Über spezielle Ventilschaltungen lassen sich unterschiedliche Geschwindigkeiten realisieren, während eine Leckkompensation Druckverluste automatisch ausgleicht. Die doppelt ausgeführten Sicherheitsventile

gewährleisten eine sichere Entlastung bei Überdruck und selbst kleinste Druckdifferenzen werden erkannt und ausgeglichen. Das System ist vollständig verrohrt, um langfristig sicher zu arbeiten. Schlauchverbindungen, die in dieser Umgebung nicht zulässig wären, wurden vermieden. Edelstahlrohre widerstehen Vibrationen und Temperaturschwankungen und garantieren volle Dichtigkeit. Bei der kompakten Gehäusegrösse von 600 × 600 Millimetern musste die Anordnung exakt geplant werden, sodass jede Verschraubung funktional und jede Leitung zugänglich bleibt. Strenge Materialvorgaben verboten fluorhaltige Stoffe und Standarddichtungen; spezielle Materialien für Ventile, Sensoren und Verschraubungen wurden geprüft, freigegeben oder eigens gefertigt. Konstandin koordinierte den gesamten Prozess eng mit den Zulieferern und dokumentierte jedes Detail qualifiziert.

Steuerschrank: alle Prüfanforderungen in der Iter-Testanlage erfolgreich gemeistert

«Das Iter-Projekt stellte aussergewöhnliche Anforderungen an uns, die weit über den klassischen Anlagenbau hinausgingen. Alle Schritte, Bauteile und Verbindungen mussten geprüft, dokumentiert und freigegeben werden. Besondere Schwerpunkte lagen auf Vibrationsbeständigkeit, Temperaturfestigkeit, seismischer Stabilität und elektromagnetischer Unempfindlichkeit», erläutert Kraft. In den Portzellen können Magnetfelder von bis zu einem halben Tesla auftreten, was die Materialwahl stark einschränkte. Die Montage in den beengten Portzellen war herausfordernd. In mehreren Entwicklungsschleifen optimierte das Team das Schrankdesign, sodass alle Komponenten Platz fanden und gleichzeitig robust, wartungsfreundlich platziert und funktionssicher waren. Verfügbarkeitsprobleme einzelner Bauteile erforderten die Auswahl und Prüfung alternativer Komponenten, die denselben Sicherheits- und Materialstandards entsprachen. Ein weiterer Schwerpunkt war die Fluorfreiheit der Materialien, da herkömmliche Dichtungen und Schläuche unter Strahlung instabil werden könnten. Spezielle Metalledichtungen stellen eine zuverlässige Abdichtung sicher. Während der Entwicklungsphase wurden neue Bauteilvarianten flexibel integriert, wodurch das Steuersystem weiter optimiert werden konnte. In der Kryogen-Testanlage wurden die realen Bedingungen des Tokamaks simuliert und der Steuerschrank geprüft. Er arbeitete präzise, reagierte stabil auf Druckänderungen und bestand alle Belastungstests ohne Leckagen oder Fehlfunktionen. Die Spezifikationen für den Bau und die Testvorgaben des Steuerschrank-Prototypen wurden von Herrn Colbalt Atlantis, Konstrukteur bei Iter, entwickelt. Die Zuverlässigkeit und Robustheit der Anlage konnte vollständig bestätigt werden. «Die Bedienung der Einlassventile erfolgte exakt, die Sicherheitssysteme reagierten wie geplant und die Steuerung gilt nun als qualifiziert», so Guim Pallas, ACS (Actuator Control System) Responsible bei Fusion for Energy, der europäischen Agentur für das Iter-Projekt. Dieses Ergebnis kann deshalb auch als Beweis für die Leistungsfähigkeit deutschen Ingenieurwesens auch unter extremen Bedingungen perfekte Lösungen zu entwickeln, angesehen werden.

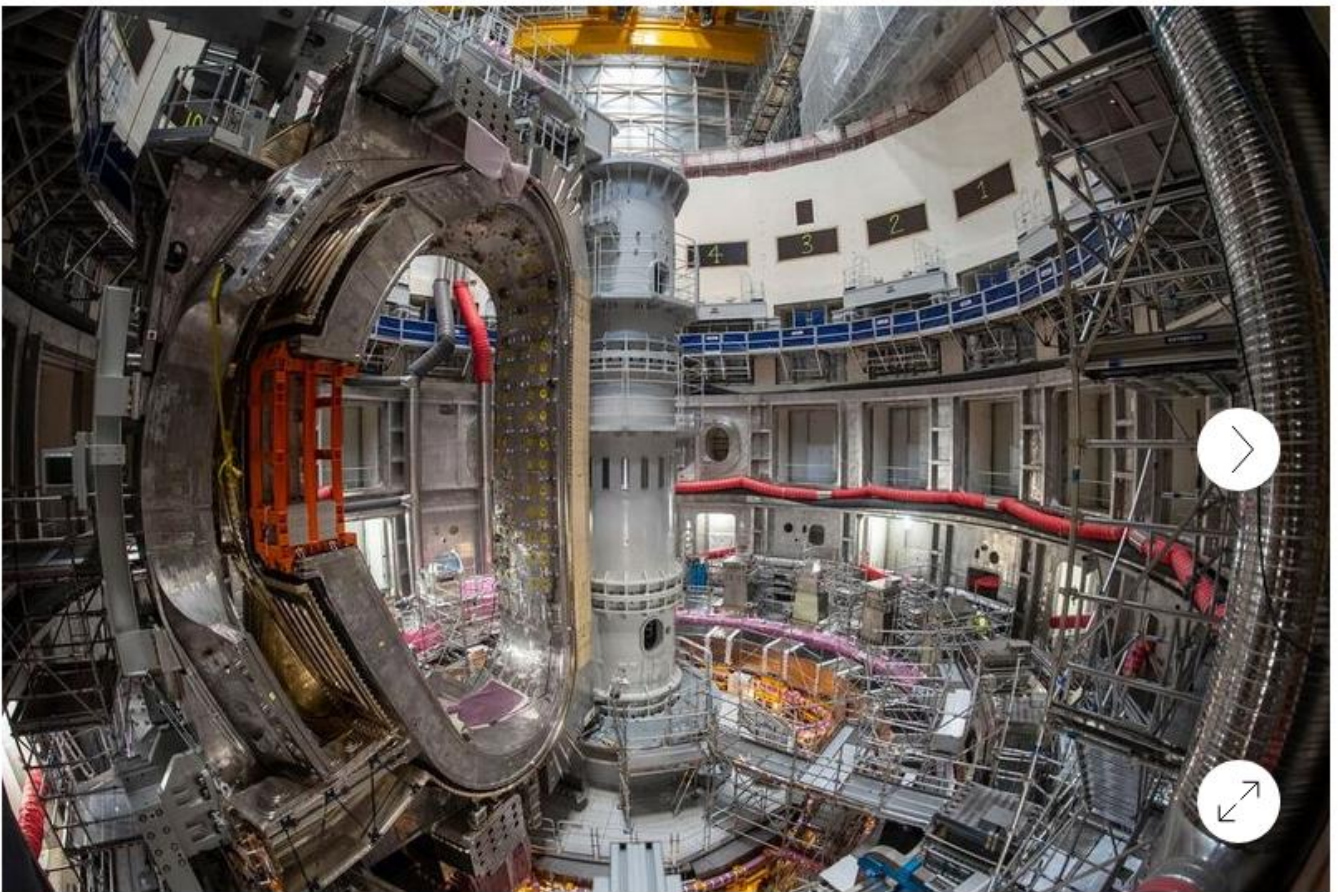
Steuerschrank stellt präzise Kryopumpenregelung und stabilen Betrieb im Iter-Tokamak sicher

Mit der Auslieferung der Steuerschränke in 2025 ist ein weiterer Meilenstein im Aufbau des Iter-Reaktors erreicht. Die geprüften Anlagen sind bereit für die Integration in den Tokamak-Reaktor, die bis 2029 abgeschlossen sein soll. Ein wesentlicher Faktor für das Gelingen des Projektes war, dass die Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern funktionierte. Konstandin, die RI Research Instruments GmbH, Fusion for Energy und Iter haben gemeinsam ein System geschaffen, das weltweit Massstäbe setzt. Für die Betreiber bedeutet der Steuerschrank vor allem Sicherheit und Zuverlässigkeit. Die Kryopumpen werden exakt gesteuert, jede Bewegung des Einlassventils ist präzise zu kontrollieren und Druckunterschiede sofort auszugleichen. Die Erfahrungen aus dem Iter-Projekt fließen bereits in neue Entwicklungen ein. «Wir haben bereits innerhalb des Projektes weitere Aufträge zur Entwicklung spezieller Zylinder von Iter erhalten. Von dem hier erzielten Know-how werden zukünftig auch andere Kunden aus Bereichen wie der Energietechnik sowie der Luft- und Raumfahrt bei der Entwicklung neuer Anwendungen profitieren», so Kraft.

(ID:50783964)

ANBIETER
ZUM THEMA

Konstandin
GmbH



Der Magnet des torusförmigen Tokamak-Reaktors wird bis zu 500 Sekunden lange Magnetpulse erzeugen und das eingeschlossene Plasma auf eine Temperatur von 150 Millionen Grad erhitzen.
(Bild: Iter)

1/10



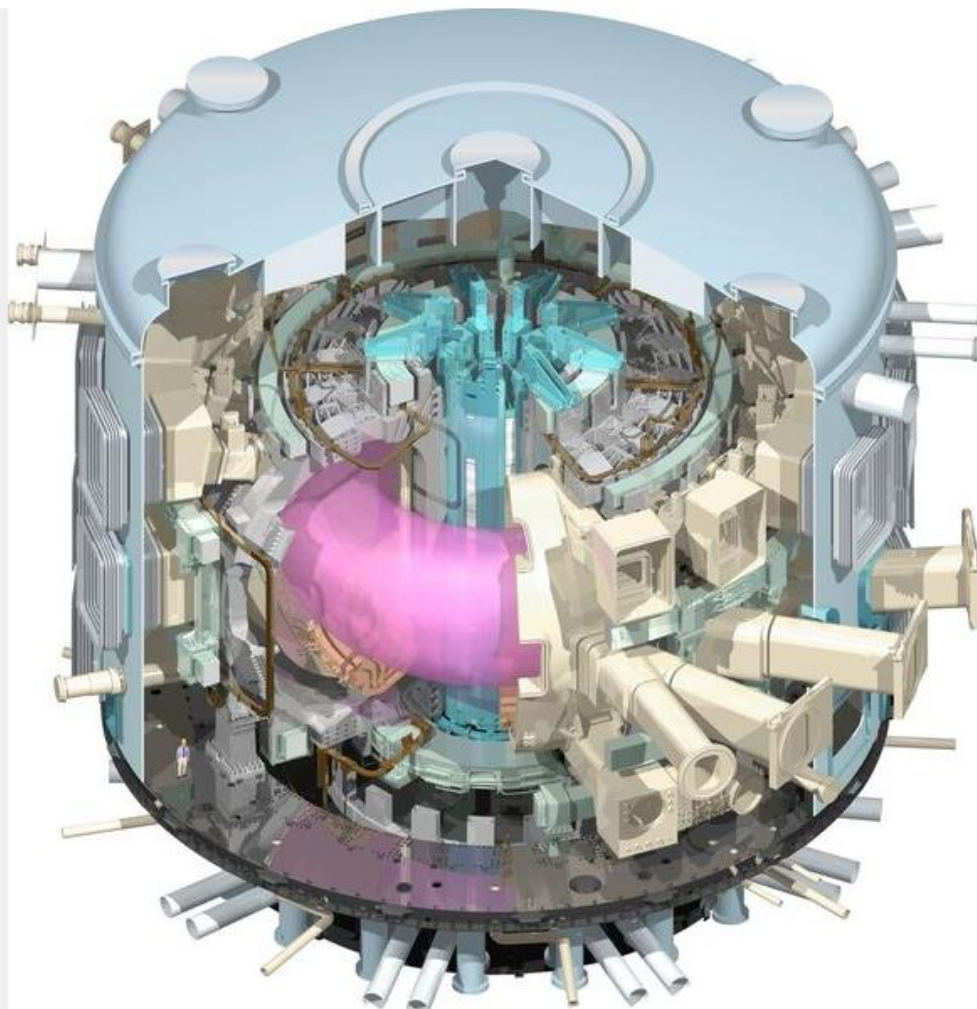
Integrierter Steuerkasten.
(Bild: Iter)

2/10



Die Steuerung sorgt für schnelles Öffnen bzw. Schliessen des Ventils mit einer Positioniergenauigkeit von unter einem Millimeter Spielraum.
(Bild: Konstandin)

3/10



Das Herzstück des Iter-Fusionsreaktors ist fertiggestellt – der zentrale Solenoid-Magnet. Der 18 Meter hohe Zylinder des Plasmabehälters erzeugt ein 13 Tesla starkes Magnetfeld.
(Bild: Iter)

4/10



*Cobalt Atlantis, Konstrukteur bei Iter, zeichnete verantwortlich für die Spezifikationen und Vorgaben zur Herstellung und Testen des Prototypen-Steuerschranks für die Kryopumpe.
(Bild: Iter)*

5/10



*Die immens grossen Einlassventile der Kryopumpe mit fast 1000 mm Durchmesser und minimalem Ventilspiel unter 1 mm verdeutlichen die extremen Anforderungen an die präzise Steuerung.
(Bild: Iter)*

6/10



Guim Pallas, F4E ACS Responsible, arbeitet als Projekt Manager für den Fusionsreaktor bei der europäischen Agentur Fusion For Energy (F4E) in Barcelona.
(Bild: Iter)

7/10



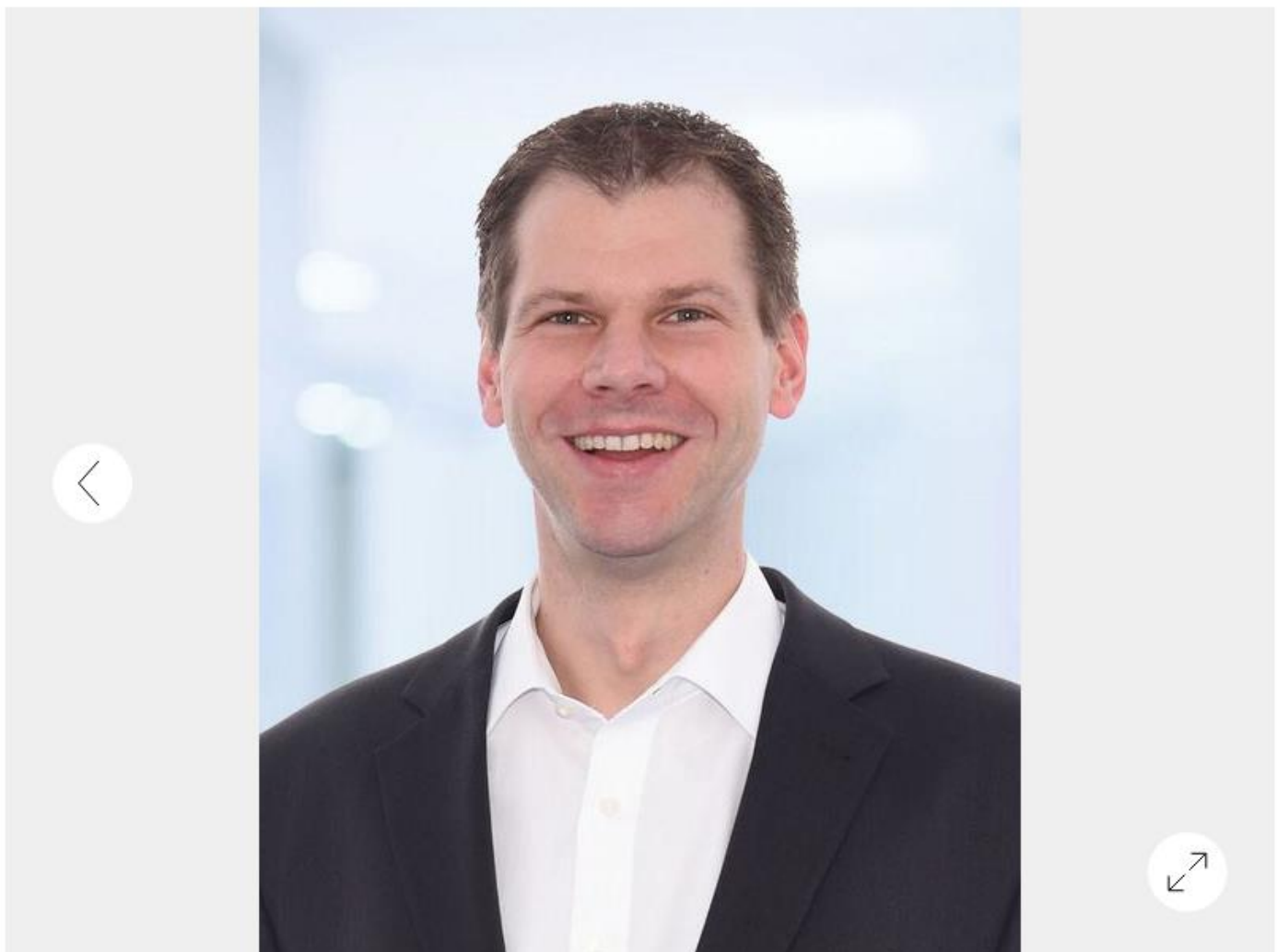
Die Abbildung zeigt die Entwicklung der Iter Krypumpen von der ersten Konzeptstufe 1989 bis zur Lieferung 2024.
(Bild: Iter)

8/10



In der Gesamtansicht zeigt die Kryopumpe des Iter-Tokamak die enormen Anforderungen und Herausforderungen für die beteiligten Unternehmen.
(Bild: Iter)

9/10



Mathias Kraft, Leitung Konstruktion und Technik bei Konstandin zeichnet sich unter anderem zuständig für Entwicklung des Steuerschranks für die Kryopumpe bei Iter.
(Bild: Konstandin)

10/10