

## Plasma an Wendelstein 7-X überwachen

Thermografische Kontrolle einer Fusionsanlage

Wie sieht die Energieversorgung der Zukunft aus? Mit dieser Frage beschäftigt sich das Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP) in Greifswald.

### Max-Planck-Institut für Plasmaphysik (IPP)

Teilinstitut Greifswald

Jakubowski, M.

<https://www.ipp.mpg.de>

InfraTec-Lösung: ImageIR® 9300

Passend zur gewichtigen Ausgangsfrage können die Forscher auf ein beeindruckendes Forschungsinstrument zurückgreifen. „Wendelstein 7-X ist die weltweit größte Kernfusionsanlage vom Typ Stellarator“, sagt Dr. Marcin W. Jakubowski aus der Abteilung Stellarator-Rand und Divertorphysik des IPP. „Sie soll zeigen, ob sich dieser Bautyp als dauerbetriebenes Kraftwerk eignet.“ Ziel ist es, mit dieser Anlage bis zu 30 Minuten lange Plasmaentladungen zu realisieren, sprich einen halbstündigen Dauerbetrieb. Damit wäre eine wichtige Vorarbeit geleistet auf dem Weg hin zu einer Form der Energiegewinnung, die ohne fossile Energieträger wie Öl, Kohle und Gas auskommt, keine CO<sub>2</sub>-Emissionen erzeugt und die globale Erderwärmung nicht weiter forciert. Während der zweiten Experimentierkampagne, die im Oktober 2018 endete, wurden 100 Sekunden der Entladungsdauern erreicht. Das gilt als Weltrekord für eine Fusionsanlage dieses Typs.

Obwohl Wendelstein 7-X eine Versuchsanlage ist, wird sie den Kernfusionsreaktoren zugerechnet. In solchen Anlagen wird in Zukunft ein Gasgemisch aus Deuterium und Tritium auf über 100 Millionen Grad Celsius erhitzt. Bei derart hohen Temperaturen trennen sich Elektronen und Atomkerne und bilden ein Plasma, das elektrisch leitfähig ist. In diesem Plasma verschmelzen Atomkerne der beiden Wasserstoffarten Deuterium und Tritium. Es entstehen Heliumkerne, Neutronen werden frei und enorme Energiemengen, die zur Stromerzeugung dienen können. Das IPP geht dabei vielen Fragen nach, bei denen Temperaturen von großer Bedeutung sind. Was passiert während der Plasmaentladungen? Können hohe Temperaturen gleichzeitig mit hohen Einschlussdichten erreicht werden? Lässt sich ein Plasma erzeugen, das möglichst viel seiner Wärme im Kern behält und nicht nach außen transportiert?

### Grafitkacheln schützen Divertor vor hohen Plasmatemperaturen

Temperaturmessungen spielen in diesem Zusammenhang also eine zentrale Rolle. Deshalb werden an Wendelstein 7-X Grafitkacheln thermografisch überwacht, mit denen Teile des inneren Plasmagefäßes, des Divertors, verkleidet sind.

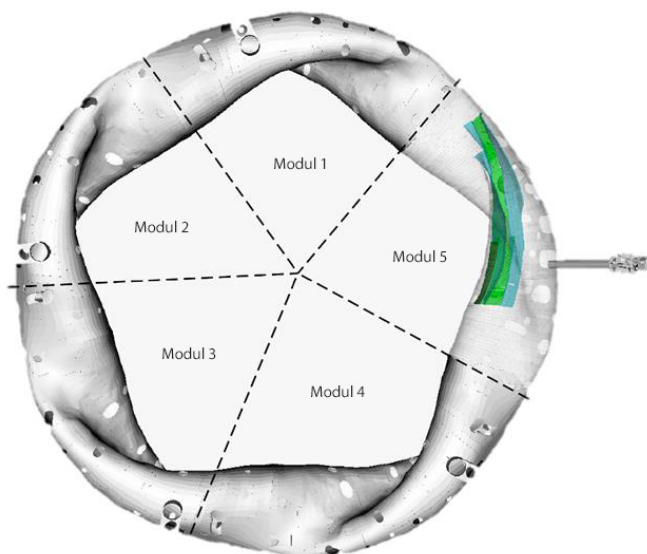


Abb. 1: Das simulierte Modell zeigt die Draufsicht auf Wendelstein 7-X. Die Infrarotkameras sind in allen fünf Modulen platziert. Sie dienen der thermischen Überwachung des unteren und oberen Divertors, der Wandpaneelen und der Baffles.

Seite 1

## Plasma an Wendelstein 7-X überwachen

### Thermografische Kontrolle einer Fusionsanlage

Die Kacheln ermöglichen höhere Temperaturen und längere Plasmaentladungen. Sie schützen speziell die Wandbereiche, auf die entweichende Teilchen aus dem Rand des Plasmaringes gezielt gelenkt werden. Zusammen mit Verunreinigungen werden die auftreffenden Teilchen neutralisiert und abgepumpt. Die Temperaturkontrolle soll verhindern, dass die Anlage durch Überlastung Schaden nimmt und eventuelle durch die Plasmaentladungen verursachte Beschädigungen der Kachelelemente unentdeckt bleiben.

Diese Aufgabe übernehmen spezielle Endoskope, die mit Wärmebildkameras und visuellen Kameras ausgestattet sind. „Bei der Suche nach der passenden technischen Lösung haben wir mit verschiedenen Messinstrumenten und -methoden experimentiert. Am Ende stand fest, dass sich gekühlte Wärmebildkameras für unsere Aufgabenstellung am besten eignen“, sagt Dr. Marcin W. Jakubowski. Die Wärmebildkameras ImageIR® 9300 von InfraTec befinden sich jeweils am Ende des Endoskops. Zur Überwachung des Divertors werden die Infrarotaufnahmen später mit den CAD-Modellen des Plasmagefäßes überlagert.

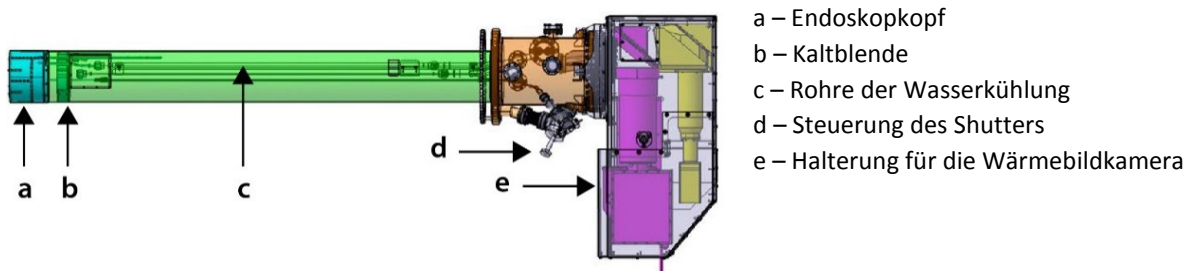


Abb. 2: CAD-Modell des Prototyps eines hochauflösenden IR/VIS-Endoskops. Wärmebildkameras und visuelle Kameras sind am Ende des Endoskops per Halterung montiert.

### Einsatz der High-End-Kamera ImageIR® 9300 sichert Betrieb der Fusionsanlage

An der Oberfläche der Grafitkacheln messen die Wissenschaftler Temperaturen bis zu 1.000 °C. In Ausnahmefällen und lokal sehr begrenzt werden bis zu 2.000 °C registriert. „Kritisch sind Temperaturen von mehr als 1.200 Grad Celsius“, erklärt Dr. Marcin W. Jakubowski. „Dann kann der Divertor Schaden nehmen und Kachelelemente können sich lösen.“ Würde es soweit kommen, müsste die Anlage gestoppt und der Divertor repariert werden. Eine mindestens sechsmonatige Zwangspause wäre die Folge.

## Plasma an Wendelstein 7-X überwachen

Thermografische Kontrolle einer Fusionsanlage

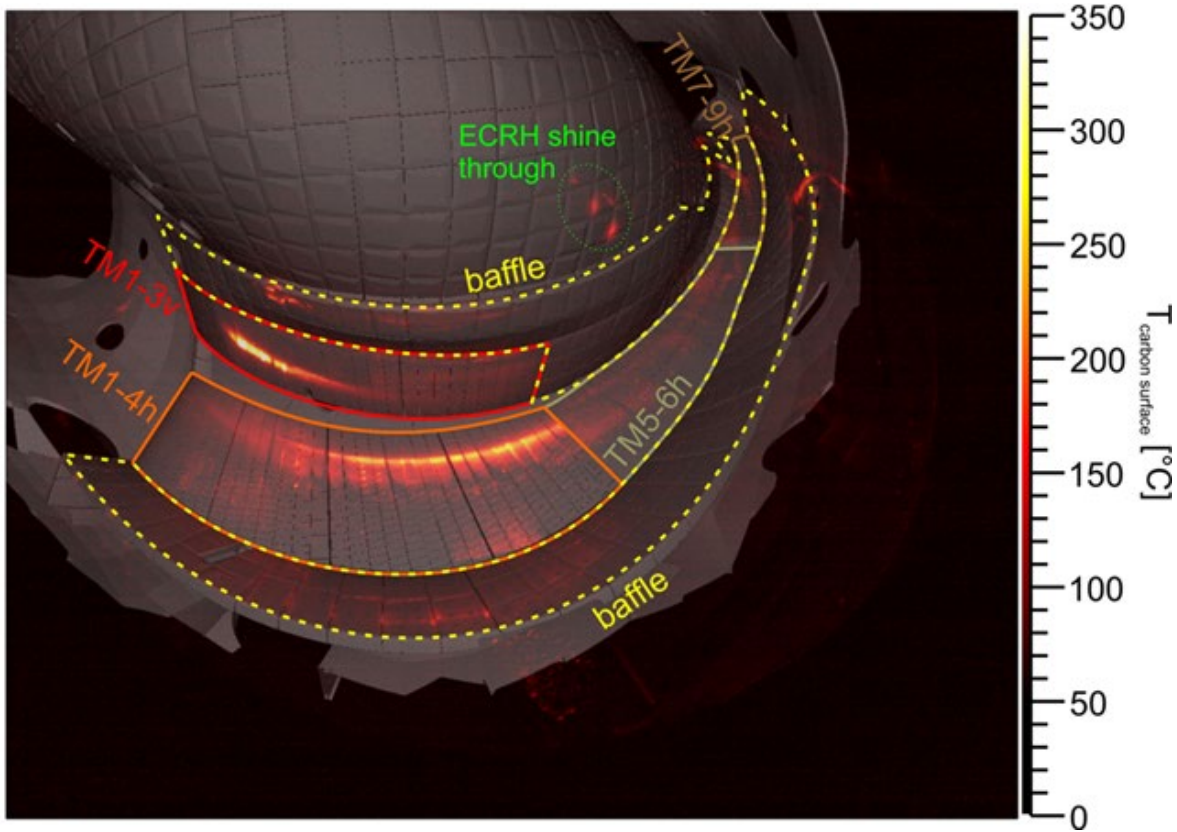


Abb. 3: Wärmebild, aufgenommen mit der ImageIR® 9300 von InfraTec  
 ECHR – Elektronen-Zyklotron-Resonanzheizung, ein Hauptheizsystem für das Plasma  
 TM1-3v, TM1-4h, TM5-6h, TM7-9h – Bezeichnung von Zielmodulen, deren Temperatur gemessen wird

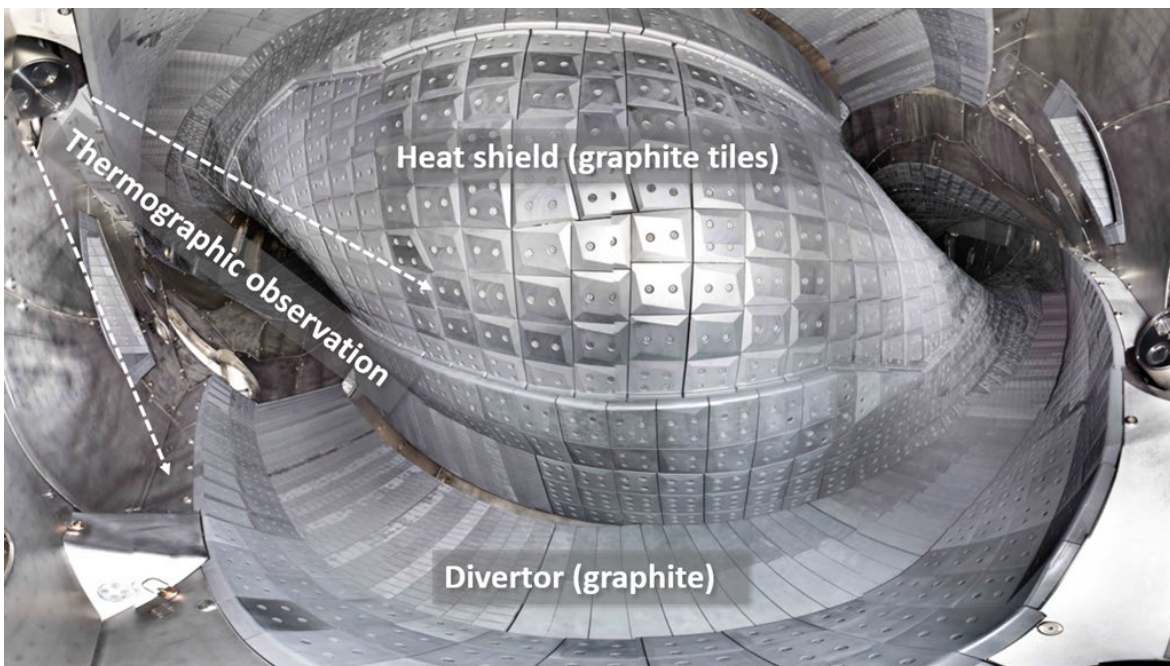


Abb. 4: Darstellung des Sichtfeldes des Thermografiesystems

# Plasma an Wendelstein 7-X überwachen

## Thermografische Kontrolle einer Fusionsanlage

Präzision und Zuverlässigkeit sind gefragt, damit Jakubowski und seine Kollegen nicht ausgebremst werden. Das interne Filterrad der ImageIR® 9300 ist mit mehreren Neutraldichtefiltern ausgestattet und schafft so die Grundlage für exakte Messungen über den gesamten, sehr breiten, Temperaturmessbereich hinweg. Hochauflösende Detektoren mit (1.280 x 1.024) IR-Pixeln und entsprechende Spezialoptiken stellen sicher, dass mit einer Aufnahme entsprechend großflächige Areale der horizontalen und vertikalen Bereiche des Divertors überwacht werden können. Durch die Möglichkeit, Teilbilder mit Geschwindigkeiten von mehreren Kilohertz aufzunehmen, sind die Wissenschaftler in der Lage, auch extrem kurzzeitige Temperaturveränderungen zu erfassen.

### Innenverkleidung des Divertors künftig wassergekühlt

Bis 2020 wird sich die Aufgabenstellung der Temperaturüberwachung noch einmal verändern. Hintergrund sind technische Veränderungen im Vorfeld der nächsten Experimentierphasen. Dann möchte das IPP die Heizenergie des Plasmas weiter erhöhen und seinem großen Ziel, dem Nachweis der Fähigkeit zum Dauerbetrieb, entscheidend näherkommen. Die Innenwand des Gefäßes soll dabei natürlich nicht überlastet werden. Dafür werden die jetzigen Grafitplatten durch wassergekühlte Elemente aus kohlefaserverstärktem Kohlenstoff ersetzt. Parallel dazu ist die Integration zusätzlicher Endoskope geplant.

Als Spezialist für komplexe Anwendungen verfügt InfraTec über einschlägige Erfahrungen, wenn es gilt, moderne und leistungsfähige Thermografiesysteme unter technisch anspruchsvollen Rahmenbedingungen in Forschungsprojekten wie Wendelstein 7-X zu erfolgreich zu integrieren und im Dauerbetrieb zu halten. Das dabei gesammelte Wissen fließt nicht nur in die Entwicklung künftiger kundenspezifischer Lösungen ein, sondern sorgt gleichzeitig für Synergieeffekte, beispielsweise bei der Installation oder Wartung vergleichbarer Anwendungen.