

EWN

Entsorgungswerk für
Nuklearanlagen



Pressespiegel

05.07.2024

Inhalt

EWN

1 Altes Atomkraftwerk soll Strom der Zukunft liefern – doch es gibt einen Haken <i>FOCUS online, 04.07.2024</i>	3
2 Strahlende Grüße aus Tokio <i>WirtschaftsWoche, 05.07.2024</i>	5
3 Spezialisten im Atomkraftwerk <i>Technology Review, 05.07.2024</i>	6



FOCUS online | 04.07.2024 | S. online

WEBLINK

BIBLIS

Altes Atomkraftwerk soll Strom der Zukunft liefern – doch es gibt einen Haken

Das AKW Biblis ist eigentlich seit mehr als zehn Jahren vom deutschen Netz. Doch Betreiber RWE beabsichtigt nun, das Werk für die Nachfolgetechnologie der Kernkraft freizumachen: die Kernfusion. Zusammen mit einem Darmstädter Start-Up soll hier Forschung betrieben werden.

Das AKW Biblis - seit mehr als zehn Jahren vom Netz und nunmehr lediglich eine Rückbauanlage - soll neues Leben bekommen. Der Betreiber RWE Nuclear hat mit dem Start-Up Focused Energy vereinbart, das Gelände für einen Kernfusions-Forschungsreaktor zur Verfügung zu stellen. Wie die "Frankfurter Allgemeine Zeitung" berichtet, wollen beide Unternehmen eine entsprechende Erklärung in den kommenden Tagen unterzeichnen.

Geniestreich oder Milliardengrab?

Das Gerippe einer einstigen Zukunftstechnologie soll nun für ihren Nachfolger erhalten. Denn Kernfusion gilt seit Jahrzehnten als der Hoffnungsträger der Energiebranche: Riesige Mengen Energie für kaum Verschmutzung - ganz anders als beim kleinen Bruder Atomkraft, wo allein die seit Jahrzehnten schwelende Endlagerfrage immer noch ungeklärt ist.

Das Prinzip folgt, simpel erklärt, dem der Sonne: Wasserstoffatome werden auf Heliumatome geschossen, die dabei miteinander verschmelzen. Weil der neue Kern aber leichter ist als der Kern der Wasserstoff- und Heliumatome ist, wird dieser Masseunterschied in Form von Energie freigesetzt. Ähnliches geschieht in der Sonne. Schätzungen gehen derzeit davon aus, dass ein Gramm eines solchen Brennstoffes in einem Kernfusionsreaktor ungefähr so viel Energie freisetzt wie elf Tonnen Kohle.

Lange scheiterte die Kernfusion daran, dass ihre aufwendigen Reaktoren mehr Energie verbrauchten, als sie herstellten. Das hat sich inzwischen geändert: Im Februar setzte ein koreanisches Team mit einem Forschungsreaktor fast doppelt so viel Energie frei, wie es ursprünglich zuführte.

Ein weiterer Vorteil: Die Technologie gilt als sehr sauber. Bei der Energiegewinnung entsteht kein CO₂, somit erzeugt die Technologie selbst klimaneutral Strom. Hinzu kommt, dass bei der Fusion schwächere und kurzlebige radioaktive Stoffe entstehen, die schneller zerfallen. Damit entfällt das Problem einer jahrtausendelangen Endlagerung.

Die Jagd nach der Sonne

Die Vorteile liegen also klar auf der Hand; auch in puncto Energieversorgung und -unabhängigkeit ist leicht schwer zu verstehen, wieso die halbe Welt dem Traum von der Sonne im Reaktor hinterher jagt. Neben der EU sind über 30 Unternehmen und Staaten wie die USA, Japan oder China ambitioniert dabei, sich diesen Traum zu erfüllen. Vor allem in den USA, wo Ende 2022 ein großer Durchbruch gelang, werden sehr viele Gelder in die Forschung investiert.

Auch das Darmstädter Start-Up Focused Energy, mit dem RWE derzeit verhandelt, profitiert von solchen Geldern. Nun soll die Jagd nach der Sonne auch in Deutschland weitergehen. Focused Energy plant derzeit, vereinfacht gesagt, mit Lasern auf Atome zu schießen und somit die Vorgänge im Inneren der Sonne nachzubilden. Bei dem Vorgang sollen Atome miteinander verschmelzen und dabei eben jene Fusion auslösen, bei der durch den Masseunterschied sehr viel Energie freigesetzt wird.

Und genau dafür sollen die alten Räume des AKW Biblis erhalten. Geplant ist ein teilweiser Umbau der alten Anlage zur Nutzung der Laser. Es gesellt sich damit zu prestigeträchtigen deutschen Kernfusionsvorhaben, wie Wendelstein-X-7 in Greifswald, dem weltgrößten Forschungsreaktor.

20 Jahre Forschung, 20 Milliarden Euro Baukosten

Die Euphorie um Kernfusion ist allerdings umstritten. So werden bereits seit Jahrzehnten Gelder in Forschungsvorhaben gepumpt - ohne bislang Energieversorgung zu liefern. Auch beim Biblis-Vorhaben geht man davon aus, dass noch 15 bis 20 Jahre Grundlagenforschung notwendig sind, bis die Technologie marktreif ist. Und damit kommt sie eigentlich viel zu spät, um Deutschland und den anderen Staaten der Welt beim Erreichen der Klimaziele zu helfen. Denn diese sollen einen unaufhaltsamen Klimawandel stoppen.

Hinzu kommt, dass die Testreaktoren enorm viel Energie verschlingen: Für eben jenen Versuch in den USA, der Ende 2022 Schlagzeilen machte, waren 500 Billionen Watt Energie notwendig - das ist mehr, als das Stromnetz der USA liefern kann. Und der französische Iter-Reaktor - ein sogenannter Tomahak-Reaktor, der die Fusion mit gigantischen Druckmengen statt Lasern erzwingen soll - sah im Zeitplan eigentlich vor, dass er 2025 ans Netz gehen soll. Doch das ist nicht einhaltbar.

Ein weiterer Fallstrick: Die enormen Kosten. Kommerzielle Reaktoren könnten bis zu 20 Milliarden Euro verschlingen, bis sie gebaut sind. Kritiker sagen: Dieses Geld ist bei Investitionen in Erneuerbaren Energien wie Solar- und Windenergie besser aufgehoben.

📅 WirtschaftsWoche | 05.07.2024 | S. 8

📄 Auflage: 108.849 | Reichweite: 594.000

👤 Henryk Hilscher, Florian Güßgen

KERNKRAFTENTSORGER NUKEM

Strahlende Grüße aus Tokio

Das japanische Unternehmen Muroosystems übernimmt den Kernkraftentsorger Nukem Technologies Engineering Services mit Sitz in Karlstein am Main in Franken.

Das hat Nukem-Technologies-Geschäftsführer Thomas Seipolt bestätigt. Bisher gehört die Firma mehrheitlich der russischen Nuklearholding Rosatom. Bis Mitte August soll die Transaktion abgeschlossen sein. Zu dem Kaufpreis haben die Beteiligten Stillschweigen vereinbart. Muroosystems ist nach eigenen Angaben bislang auf Dienstleistungen und die Entwicklung von Infrastruktur rund um die digitale Transformation ausgerichtet, mit Niederlassungen in Shanghai und Hongkong, aber auch in Kasachstan.

Nukem Technologies Engineering Services, eine Tochterfirma von Nukem Technologies, hat sich mit 108 Mitarbeitern auf das Management von radioaktiven Abfällen und Sonderabfällen sowie den Rückbau von Atomkraftwerken spezialisiert. Im April hatte das Unternehmen beim Amtsgericht Aschaffenburg Insolvenz in Eigenverwaltung angemeldet und den Schritt

mit der veränderten geopolitischen Weltlage nach Beginn des Krieges in der Ukraine begründet. Aufgrund des russischen Eigners sei Nukem der Zugang zu westlichen Märkten wie Großbritannien, den USA oder Japan verwehrt, hieß es.

Nach dem Eigentümerwechsel bestünden bei „westlichen Kunden“ nun keine Beschränkungen mehr, so Seipolt. Das biete vor allem in Japan Chancen, wo Muroosystems das Geschäftsfeld Nukleartechnik entwickeln wolle. An mehreren japanischen Standorten würden ältere Reaktoren durch Neubauten ersetzt. „Das bedingt den zügigen Rückbau der bisherigen Einrichtungen.“

Zudem stellten sich „nach wie vor erhebliche Herausforderungen“ beim Umgang mit radioaktiven Reststoffen am Standort Fukushima. Eine Verlegung des Firmensitzes sei aber nicht geplant. Nukem ist als Teil eines Konsortiums auch am Rückbau des stillgelegten EnBW-Kernkraftwerks Philippsburg beteiligt. Diese Arbeiten, so EnBW, sollen im zweiten Halbjahr 2024 abgeschlossen werden.

📖 Technology Review | 05.07.2024 | S. 54

📄 Auflage: 15.956

👤 Martin Kölling

Spezialisten im Atomkraftwerk

Die Atomkatastrophe von Fukushima hat der Robotik einen gewaltigen Schub gegeben. Um die Atomruine zurückzubauen, haben die Entwickler 40 Jahre Zeit - und die können sie gebrauchen.

Die Sanierung der Atomruinen in Japan hat einen Meilenstein erreicht. Im Mai wurde der erste Roboter vorgestellt, der im 2011 zerstörten Atomkraftwerk Fukushima die Reste durchgebrannter Atombrennstäbe einsammeln soll. Um dies zu schaffen, hat der Konzern Mitsubishi Heavy Industries eine gigantische teleskopische Angelrute entwickelt, an deren Ende eine Mega-Pinzette sitzt.

Der faltbare Roboterarm ist sieben Tonnen schwer und soll durch einen engen Zugangstunnel auf 24 Meter Länge ausgefahren werden. So groß ist die Entfernung vom Rand des zerstörten Reaktors zum Druckbehälter von Block 2, in dem sich ein Teil des geschmolzenen Brennstoffs angesammelt hat.

Dann kann der neu entwickelte Greifer mit der Bergung des Atommülls beginnen - allerdings nur testweise in winzigen Mengen. Bei jedem Einsatz wird der Arm das Äquivalent eines Ohrstäbchens greifen - ein Bruchteil der 880 Tonnen an Brennstoff, die noch in den drei betroffenen Meilern ruhen.

Selbst die weltweit führende Roboternation Japan hat 13 Jahre gebraucht, diesen Meilenstein zu erreichen. Gleich nach der Atomkatastrophe schickten die Retter AKW-Roboter aus, die bisher für die Wartung der Kraftwerke im Einsatz waren. Doch schnell wurde klar, dass diese nicht reichen würden - und ein langer Entwicklungswettkampf begann. Der bevorstehende Test ist daher für Tepco-Ingenieur Yusuke Nakagawa, der für die Atommüllbergung mitverantwortlich ist, ein "äußerst wichtiger Schritt".

Die Entwicklung in Fukushima ist Teil des wohl größten Roboterprojekts der Menschheitsgeschichte.

Tatsächlich ist die Entwicklung in Fukushima Teil des wohl größten Roboterprojekts der Menschheitsgeschichte, von dem bisher kaum jemand weiß. Insgesamt hat Tepco 40 Jahre Zeit und acht Billionen Yen

(47 Milliarden Euro) für den Rückbau der havarierten AKWs bekommen. Ein Teil der Gelder wird in Roboter gesteckt. Eine der schlimmsten Katastrophen dieses Jahrhunderts bedingt somit die Entwicklung fortschrittlichster Robotertechnologie.

Nachbau in Lebensgröße

Wie enorm der Aufwand ist, lässt sich schon im Naraha Center for Remote Control Development (Narrec) der japanischen Atomenergiebehörde erahnen. Dort hat sie den Reaktorbehälter in Lebensgröße nachbauen lassen. Schon 584 Mal sei die Anlage zwischen 2016 und 2023 zum Testen von Robotern genutzt worden, erklärt ein Sprecher. Auf das Reaktorgebäude haben die Ingenieure und Ingenieurinnen bei ihrem Nachbau verzichtet. Stattdessen steht in der Mitte der Halle nur ein Modell der Reaktorhülle mit einem Loch in der Außenwand, daneben ein Stahlpodest für den Roboter.

Voriges Jahr hat Mitsubishi Heavy, zuständig für Reaktorblock 2, hier seine Riesenangel getestet. Der Zugangstunnel bestand aus Plexiglas, damit die Entwickler sehen konnten, wie sich der in mehrere Glieder aufgeteilte Arm verhält.

Einer der Stammkunden im Narrec ist auch das Team von Satoshi Okada, Chefingenieur der Roboterabteilung von Hitachi-GE Nuclear Energy, das die Roboter für Block 1 betreut. "Ich kann mich nicht an die Zahl der Roboter erinnern, die wir entwickelt haben", sagt er. Es handele sich jedenfalls allein bei Hitachi-GE schon um Dutzende Modelle.

"Ich kann mich nicht an die Zahl der Roboter erinnern, die wir entwickelt haben."

Die Federführung beim dritten Block hat Toshiba, mit ähnlich vielen Testobjekten. Denn die Probleme sind so speziell, dass für jede Aufgabe, die sich den Sanie-

renden stellt, in der Regel ein neuer Roboter entwickelt werden muss.

Okada ist ein Mann der ersten Stunde. Schon vor der Atomkatastrophe war er für die Wartungsroboter der AKWs zuständig. Daher war ihm nach dem Erdbeben am 11. März 2011 rasch klar, dass er noch stärker gefordert sein würde. "Ich begann nach dem Atomunfall damit, die notwendigen Maßnahmen zu überdenken."

Das Ausmaß der Katastrophe war unvorstellbar für die Japaner:innen. Es war ein Freitagnachmittag, als das Drama begann. Um 14:56 Uhr schnellte eine Erdplatte an einer Bruchzone tief im Pazifik in die Höhe. Im Epizentrum, 72 Kilometer vor der Küste Nordost-Japans, lag die Magnitude des ersten Stoßes bei 9 auf der Richterskala, eines der stärksten Beben der letzten Jahrhunderte weltweit.

Das Erdbeben verursachte bereits Schäden im AKW Fukushima 1. Doch das eigentliche Desaster löste ein Megatsunami aus, der sich an einigen Stellen der betroffenen Küstenregion bis zu 40 Meter die Hänge hochschob und dabei ganze Küstenstädte mit sich riss. Über 20 000 Menschen starben in den Fluten.

Auch vier der sechs Blöcke des AKWs wurden letztlich zerstört. Erst brach die Stromversorgung zusammen, dann die Kühlung. In drei Reaktoren schmolzen die Kerne, während Wasserstoffexplosionen mehrere Reaktorgebäude zerrissen. Nur in Reaktor 4 überlebten die Brennstäbe, da sie gerade wegen Wartungsarbeiten im Kühlbecken lagerten.

Die Arbeitsbedingungen an den Atomruinen haben sich inzwischen in großen Teilen des Geländes normalisiert. Früher mussten die Retter:innen 40 Kilometer südlich der Meiler Schutzanzüge und Vollgesichtsmasken anlegen, um einige Stunden an den AKWs arbeiten zu können. Heute fahren die Arbeiter:innen im Privat-PKW vor, da man sich auf über 90 Prozent des Geländes ohne Schutzkleidung und Masken bewegen kann. Der Grund: Tepco hat den gesamten Untergrund zubetoniert. Zumindest von dort geht keine Strahlung mehr aus.

Langsam zu den Reaktorkernen vorarbeiten

"Ich war schockiert von den verheerenden Zuständen", erinnert sich Okada an seinen ersten Besuch vor Ort. Dabei konnte er nur die Zerstörung auf dem Gelände sehen, nicht das Innere der Reaktorgebäude. Seine Aufgabe wurde ihm rasch klar: "Die Bergung des Brennstoffs war zwar das finale Ziel, aber ich fing an zu überlegen, was zuvor getan werden musste und welche Robotertechnologien dafür nötig waren."

Die Beseitigung von Trümmern innerhalb der Reaktorgebäude war eine wichtige Aufgabe. Dafür entwickelte sein Team beispielsweise den ASTACO-SoRa, einen zweiarmigen Kraftmeier auf Raupenketten. Die Arme können bis zu 250 Zentimeter hoch greifen und jeweils 150 Kilogramm schwere Teile heben. Das Gerät kann dabei aus sicherer Entfernung fernbedient werden.

Mehrere Jahre brauchten die Retter:innen, um überhaupt einen Zugang ins Innere des Reaktors 1 zu finden. 2015 war es so weit. Für die ersten Bilder musste nun noch ein Gerät durch ein Zugangsrohr rutschen und sich dann weiter über einen Gitterrost bewegen. Der Roboter namens PMORPH, den Okada dafür entwickelt hat, ist für ihn bis heute ein persönlicher Meilenstein. Er ist eine Art Formwandler aus drei beweglichen Gliedern. Im Rohr gleitet er wie eine Schlange vorwärts, auf dem Gitter klappen die beiden äußeren Glieder nach hinten, um ein liegendes U zu bilden. In den beiden Armen des U stecken Gummiketten, auf denen das Gerät weiterrollen konnte.

"Das Patent habe ich selbst angemeldet", erinnert sich Okada. "Dann habe ich ihn selbst nach Fukushima gebracht und die Untersuchungen durchgeführt." Eine zweite Version folgte, bis das Projekt 2017 reif für den nächsten Schritt war: Mit kleinen Tauchrobotern konnten die Ingenieure und Ingenieurinnen einen Blick auf den Boden des Druckbehälters werfen, wo sie den geschmolzenen Brennstoff vermuteten.

Sie ließen einen Tauchroboter hinab - und standen prompt vor dem nächsten Rätsel: "Als wir die Kamera hier hinunterließen, war alles voller Sand und Geröll, aber die Brennelemente waren nicht zu sehen." Niemand wusste, woher die etwa einen Meter dicke Ablagerung stammte. Erst in den Jahren 2021 und 2022 konnten die Sanierenden bei weiteren Untersuchungen den Brennstoff finden - er war Teil des Sediments geworden.

Auch Roboter leiden unter Radioaktivität

Nicht nur Menschen, auch Roboter leiden unter der starken Radioaktivität, besonders unter der massiven Neutronenstrahlung in der Nähe der Reaktorkerne. Dadurch rauschen unter anderem die Bildsensoren erheblich, berichtet Okada. "Aber auch bei anderen Komponenten wie Computerprozessoren und der Steuerungselektronik führt die Strahlung zu Fehlern."

Schuld daran ist harte Physik: Die einfallende Strahlung kann in einem Halbleiter zusätzliche Elektronen freisetzen. Das führt zu Störungen. Außerdem ändern sich durch Strahlung die anliegenden Spannungen, was ebenfalls Schäden verursacht. Wie lange ein Roboter unter diesen Umständen durchhält, hängt von

der Dosis der ionisierenden Strahlung ab. Die Maßeinheit für die absorbierte Energie pro Masse heißt Gray. "Halbleiter halten etwa 100 bis 200 Gray aus, bevor sie ausfallen", berichtet Okada. Nach Tepcos Angaben herrschen in den Reaktorgebäuden ein bis zehn Gray pro Stunde, was die Lebensdauer der Maschinen rechnerisch auf 10 bis 20 Stunden begrenzt.

Eine Lösung ist, die Steuerungseinheiten so weit wie möglich vom Einsatzort zu entfernen. Einige Roboter ziehen daher meterlange, zehn Zentimeter dicke Kabelbäume hinter sich her, welche die Motoren mit der ausgelagerten Elektronik verbinden. Als Alternative hat Okadas Team Roboterarme und -hände entwickelt, die sich nicht elektrisch, sondern hydraulisch bewegen. Auch hier befindet sich die Steuerung außerhalb des Gebäudes, wo die Strahlung niedriger ist.

Erschwert wird die Arbeit noch dadurch, dass die Ausgangslage in jedem der drei Reaktoren unterschiedlich ist. In Block 1 ist nach derzeitigen Erkenntnissen fast der gesamte Brennstoff auf den Boden gesunken und überflutet. In Block 2 befindet sich noch ein Großteil des Brennstoffs im ursprünglichen Druckbehälter, und der Schutt am Boden des Sicherheitsbehälters ist kaum von Wasser bedeckt. Auch in Block 3 ist ein Teil des Brennstoffs noch im Druckbehälter, während sich am Boden des Sicherheitsbehälters unter hohem Wasserstand zwei bis drei Meter Sedimente abgesetzt haben. Und für jede Situation müssen eigene Methoden und Maschinen zur Bergung entwickelt werden.

Auf den Hund gekommen

Angesichts dieser Herausforderungen seien "die Effizienz und die Geschwindigkeit, mit der die Japaner diese Arbeiten durchgeführt haben, wirklich beeindruckend", sagt Brad Bonn, Senior Manager der Nuclear Operations beim amerikanischen Roboterhersteller Boston Dynamics, auch wenn die Fortschritte langsam erscheinen mögen.

Bonn kennt sich im havarierten AKW aus. Er ist zuständig für den Einsatz von Spot, dem bisherigen Bestseller von Boston Dynamics. Mit seinen vier Beinen und dem kniehohen Körper erinnert Spot an einen Hund. Noch heute unterstützen einige Exemplare bei der Sanierung, indem sie die Reaktorgebäude inspizieren.

"Roboter seien eigentlich in der Atomindustrie geboren worden, hat mal ein Experte gesagt", erklärt Bonn. Denn in Atomkraftwerken gibt es viele Bereiche, die Menschen - wenn überhaupt - nur mit Schutzkleidung betreten dürften.

Spot nimmt dabei allerdings eine Sonderrolle ein.

"Die eingesetzten Roboter sind meist hoch spezialisiert und für eine ganz bestimmte Arbeit entwickelt worden", sagt er. Sein Hund ist dagegen eher ein Generalist. "Daher ist er auch viel erschwinglicher." Über 100 000 Dollar dürften die Ausstattungsvarianten für Atomkraftwerke kosten - statt mehrerer Millionen Dollar für Einzelanfertigungen.

In direkter Umgebung und im Inneren der Gebäude müssen Menschen weiterhin Schutzkleidung tragen. Dort kann Spot nun seine Fähigkeiten ausspielen: über Treppen und Geröll steigen, Türen öffnen, Hebel bewegen und dabei mit Lidar-Sensoren, Kameras und Geigerzählern die Lage erfassen.

Die Bedienenden sitzen dabei in sicherer Entfernung und geben ihre Anweisungen drahtlos über ein Funknetz, dessen Basisstationen Spot selbst ausgelegt hat. Viele Aktionen führt Spot dabei schon autonom durch. "Der Fahrer sagt ihm nur, dass er in eine bestimmte Richtung gehen soll, alles andere macht der Roboter", sagt Bonn. Für komplizierte Handgriffe lässt sich Spot auch fernbedienen.

Die Strahlung in den für Spot zugänglichen Bereichen habe noch keinen Schaden angerichtet. Von den bisher verkauften 1500 Spots arbeiten daher schon einige in anderen Atomanlagen mit, zum Beispiel in der Wiederaufbereitungsanlage Sellafield in Großbritannien. "Dort wird der Roboter eingesetzt, um kleine weiche Abfälle zu bergen und in ein Fass zu füllen", erklärt Bonn.

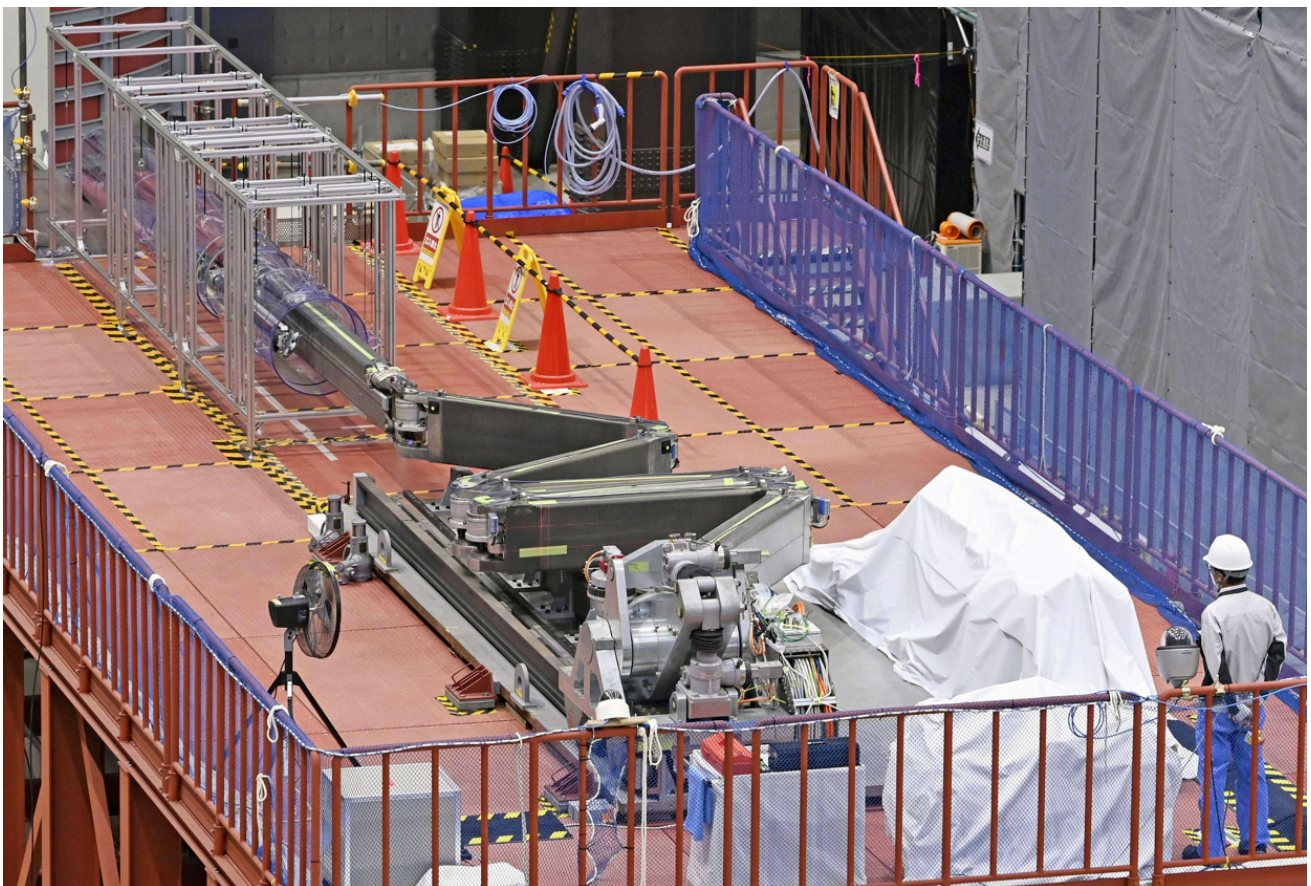
Auch andere profitieren

Die anderen Kunden profitieren dabei auch von den Lehren in Fukushima. "Dort haben wir gelernt, dass Dinge wie Kommunikation absolut entscheidend sind", sagt Bonn. Gleichzeitig kommen Software-Updates, die Boston Dynamics für andere Atomkunden entwickelt, auch den japanischen Nutzenden zugute.

Spot wird noch viel Zeit haben, an der Herausforderung Fukushima zu wachsen und sich weiterzuentwickeln. Denn der Roboter mit dem Teleskoparm für Block 2 ist nur ein erstes Testgerät. Bei Block 1 ist es noch einmal so weit. "Zehn Jahre nach dem ersten Blick in die Reaktoren haben wir nun ein umfassendes Bild von der Lage. Jetzt beginnen wir mit der Planung, wie wir die geschmolzenen Brennelemente bergen können", erklärt Okada. "Das wird noch viele Jahre dauern." Für die folgenden Generationen von Entwicklern hat er nach seiner an Überraschungen reichen Zeit in Fukushima eine Lehre parat: "Es ist sehr wichtig, auf das Unerwartete vorbereitet zu sein."



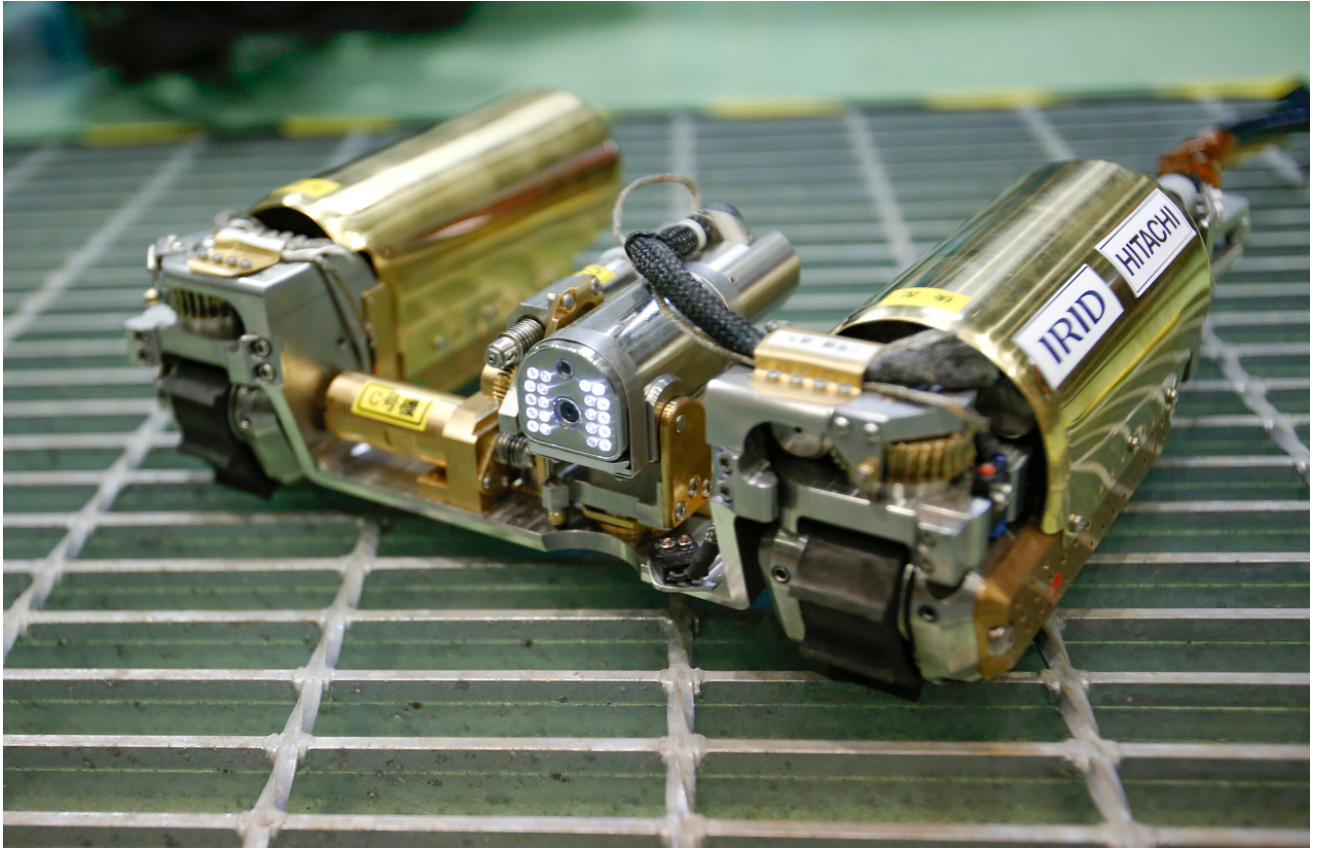
Bildunterschrift: Der Roboter-Hund Spot von Boston Dynamics hat sich bei der Inspektion von Kernkraftwerken bewährt. Foto: Boston Dynamics



Bildunterschrift: Durch einen engen Zugangstunnel kann sich dieser Roboterarm ins Innere des Reaktorblocks 2 schlängeln - hier bei einem Test mit einer Plexiglasröhre im Juli 2023. Foto: IMAGO / Kyodo News



Bildunterschrift: Der ASTACO-SoRa ist ein für Fukushima entwickelter Räumroboter. Damit seine Steuerelektronik nicht unter der Radioaktivität leidet, wird er ferngesteuert. Foto: imago / Kyodo News



Bildunterschrift: Der PMORPH-Roboter ist ein Formwandler. Mit seinen Segmenten kriecht er wie eine Schlange durch enge Röhren. Als U rollt er dann auf Gummiketten weiter. Foto: picture alliance / Associated Press