Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse

Herausgeber: Electrosuisse

Band: 113 (2022)

Heft: 12

Artikel: Grenzenlos Probleme statt grenzenloser Energie = Des problèmes sans fin au lieu d'une énergie illimitée

Autor: Deeg, Janosch

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1037179

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

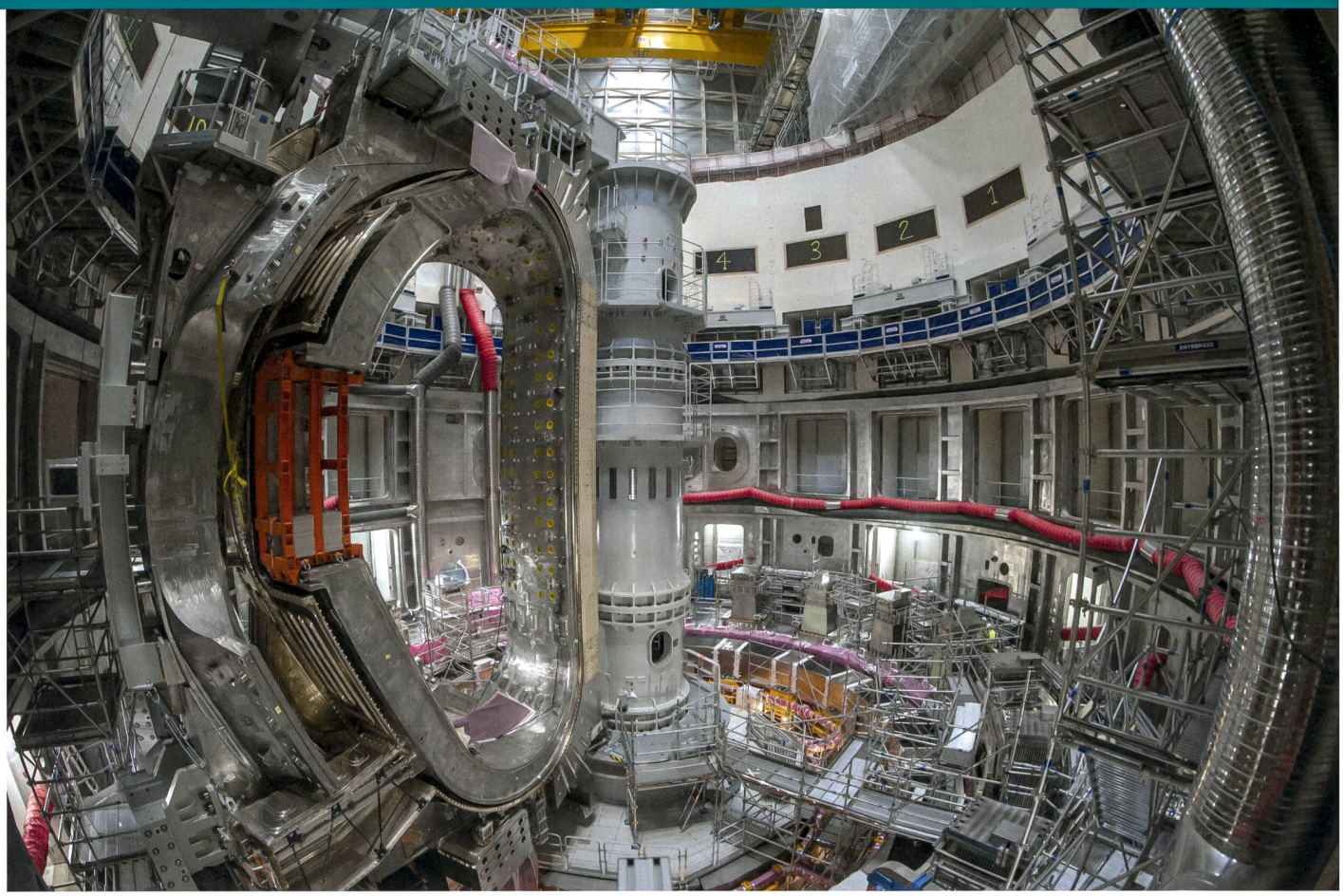
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch



Im Mai 2022 wurde am Iter das erste von neun Sektormodulen installiert.

Grenzenlos Probleme statt grenzenloser Energie

Elektrizität aus Kernfusion | Viel zu teuer, unmenschliche Arbeitsbedingungen, Sicherheitsbedenken, nicht funktionstüchtig – die Liste an Kritikpunkten am Kernfusionsreaktor Iter ist lang. Alles Schwarzmalerei? Oder ist das Jahrhundertprojekt tatsächlich zum Scheitern verurteilt?

JANOSCH DEEG

Unlimited Energy – mit dieser Verheissung begrüsste der Webauftritt des Iter-Projekts noch vor wenigen Monaten seine Besucher. Die Kernfusion, die auch die Sonne und Sterne antreibt, sei eine potenzielle Quelle für sichere, kohlenstofffreie und praktisch unbegrenzte Energie, hiess es weiter. Im Testreaktor, der in der beschaulichen Gemeinde Saint-Paul-lès-Durance in Südfrankreich entsteht, soll das Versprechen Wirklichkeit werden. Forscherinnen und Forscher aus der ganzen Welt wollen hier ein 150 Millionen Grad heisses Plasma erzeugen, in dem Atomkerne miteinander verschmelzen. Dabei soll zehnfach mehr Energie frei werden, als man investieren muss [1] – genug für rund 200 000 Haushalte, so die offizielle Ansage [2].

Die kommunizierten Zahlen führten allerdings bewusst in die Irre, kritisieren Einzelne: Der Reaktor werde nie überschüssige Energie produzieren. Andere, darunter etwa der inzwischen verstorbene Physiknobelpreisträger Georges Charpak, denken gar, die Anlage werde nie funktionstüchtig sein. Bereits im Jahr 2010 forderte er daher zusammen mit anderen namhaften Wissenschaftlern den Stopp von Iter [3]. Auch der ehemalige Cern-Physiker Michael Dittmar kommt in einem Bericht für die deutsche Partei «Die Grünen» aus dem Jahr 2019 zum Schluss, dass «diese Technologie in der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts nicht zur Erzeugung von Fusionsenergie führen wird».

Daneben gibt es etliche weitere Vorwürfe, mit der sich die Organisation konfrontiert sieht. Viele davon stehen in einem Whistleblower-Bericht aus 2021 von Michel Claessens, der bis 2015

Bilder: Iter

Pressesprecher am Iter in Caradache war. Er prangert darin unter anderem unhaltbare Arbeitsbedingungen und verschiedene Sicherheitslücken an. Zusätzlich glauben manche, die Gefährlichkeit des radioaktiven Abfalls von Fusionsreaktoren werde heruntergespielt. Und dann sind da noch die explodierenden Kosten und die ständigen Verzögerungen im Zeitplan. Aber der Reihe nach.

Kein Energiegewinn bei Iter

Der Journalist und Herausgeber der «New Energy Times» Steven Krivit hat im Jahr 2017 zum ersten Mal darauf hingewiesen, dass die Energiebilanz von Iter von offizieller Seite falsch kommuniziert werde [4]. Der Nettoenergiegewinn sei – wenn überhaupt – nur marginal positiv, schreibt Krivit. Er sieht darin eine bewusste Täuschung der Öffentlichkeit. Der Physiker Hartmut Zohm vom Max-Planck-Institut für Plasmaphysik in München, der bereits seit rund 20 Jahren mit seinem Team am Iter-Projekt beteiligt ist, gibt Krivit in der Sache recht: «Wenn man die Wärmeenergie von Iter in Elektrizität umwandelt, bleibt bestenfalls ein Drittel übrig. Das deckt nicht den gesamten Energiebedarf von Iter.» Der von offizieller Stelle kommunizierte Faktor 10 beruht darauf, dass Iter rund 50 MW für die Plasmaheizung benötigt, um 500 MW zu liefern. Für den Betrieb der gesamten Anlage reicht diese Eingangsleistung aber längst nicht aus. Allerdings sei der Reaktor nicht darauf ausgelegt, Strom zu erzeugen, so Zohm. «Tatsächlich will man in erster Linie die Selbstheizung des Plasmas untersuchen.» Für den Plasmaexperten handelt es sich daher um «eine missverständliche Kommunikation, aber keine absichtliche Irreführung».

Iter selbst reagierte lange nicht auf die Kritik zur Energiebilanz. Erst im Oktober 2021 gab die Organisation auf Nachfrage des französischen Satire- und Enthüllungsmagazins «Le Canard Enchaîné» erstmals zu, dass «natürlich alle Systeme der Anlage mehr Energie verbrauchen werden als das Plasma produzieren wird» [5]. Bei einer Anhörung im französischen Parlament, die zufällig am Tag der Veröffentlichung des Artikels stattfand, sagte der damalige Generaldirektor von Iter, Bernard Bigot, jedoch: «Wenn Gott mir erlaubt, im Jahr 2035 noch zu leben, werde ich erleben, dass effektiv zehnmal mehr Energie produziert wird, als Iter verbraucht» [6]. Bigot ist am 14. Mai 2022 verstorben; am 15. September 2022 wurde Pietro Barabaschi zum neuen Generaldirektor von Iter ernannt.

Massive Anschuldigungen im Whistleblower-Bericht

Schwerer wiegen die Vorwürfe, die Michel Claessens gegenüber der Organisation erhebt. Rund fünf Jahre hatte der Wissenschaftler und Journalist die Presseabteilung von Iter geleitet, bevor ihn der frisch zum Iter-Generaldirektor ernannte Bigot am 28. März 2015 von seiner Stelle entliess. Claessens versetzte man zunächst zur europäischen Iter-Inlandsagentur «Fusion for Energy» nach Barcelona. Im Jahr 2016 kam er dann als «Iter policy officer» nach Brüssel zur Europäischen Kommission. Dort habe er sich wie auf dem Abstellgleis gefühlt, schreibt er. Wegen kritischer Äusserungen zum Projekt sei Druck auf ihn ausgeübt worden. Seit 2021 hat er keine Funktion in der Organisation mehr inne.

Claessens berichtet von etlichen rechtswidrigen Kündigungen, einige davon hat auch das Verwaltungsgericht der Internationalen Arbeitsorganisation (ILO) in Genf bereits bestätigt und geahndet [7]. Zudem seien das Arbeitspensum und der Druck auf die Iter-Mitarbeiter enorm. Ein Mitarbeiter von Fusion for Energy hat aus beruflichen Gründen Suizid begangen. Im hinterlassenen Brief erklärte der Angestellte seine Tat mit einem «beruflichen Zusammenbruch», der damit zusammenhänge, dass er «als Sündenbock behandelt und bis zum letzten Grad gedemütigt» worden sei, berichtet das französische Magazin «Reporterre» [8]. Bei einer Anhörung vor dem Haushaltskontrollausschuss des EU-Parlaments bekräftigte Claessens seine Vorwürfe: Die Iter-Organisation habe ein Management der Angst eingeführt. Kollegen hätten ihm im persönlichen Gespräch etwa von omnipräsentem Stress und Sorge vor Jobverlust berichtet. Keiner traue sich, etwas dagegen zu sagen [9].

Womöglich haben die Verantwortlichen bei Iter aber bereits auf die Anschuldigungen reagiert. Dies legt der Eindruck des Ingenieurs Dr. Enrique Gaxiola nahe, der bereits seit neun Jahren auf der Iter-Baustelle arbeitet. Per E-Mail bestätigte er, dass die Arbeitsbedingungen teilweise unhaltbar gewesen seien, aber dass sich die Atmosphäre mit dem japanischen Interims-Generaldirektor wieder normalisiert habe.

Probleme bei der Montage

Neben den praktisch unmenschlichen Bedingungen bemängelt Claessens ein Missmanagement des Projekts, das zu technischen Problemen bei der Montage und beim Betrieb des Reaktors führen könnte. Ende Januar 2022 ordnete etwa die französische Behörde für nukleare Sicherheit (ASN) einen Montagestopp für das Iter-Vakuumgefäss an, nachdem sie fehlerhafte Ausrichtungen zwischen den Schweissflächen der ersten beiden 440 t schweren Gefässsektoren festgestellt hatte [10]. Drei der insgesamt neun Sektoren, die zusammengefügt einen Torus für das Plasma bilden werden, weisen Abweichungen in den Massen auf, weil sie womöglich beim Transport aus Südkorea beschädigt wurden.

Ein Sektor wurde nach der Genehmigung der ASN in der Grube etwas angehoben, um die Abweichungen auszugleichen. Noch suche die Iter-Organisation nach Lösungen für die anderen beiden Sektoren. Dabei gehe man aber nicht transparent vor, so Claessens Vorwurf. Besorgniserregend findet er auch, dass laut einer internen Quelle die obligatorische Qualitätskontrolle in Südkorea nach der Fertigstellung nicht stattgefunden habe – angeblich um den Zeitplan einzuhalten und wichtige Meilensteine zu erreichen.

«Die Sektoren weisen tatsächlich Abweichungen in den Spezifikationen auf, aber deshalb muss man sie nicht gleich wegwerfen», sagt Zohm. Natürlich müsse nun gezeigt werden, wie man die Teile des Vakuumgefässes trotzdem so verschweissen kann, dass am Ende alles dicht ist. Generell sind für Zohm solche Vorkommnisse und Inspektionen durch die ASN nichts Überraschendes. «Es gab anfangs eine Zulassung der Anlage, aber in den Jahren während des Baus hat sich am Design des Reaktors Etliches geändert», erklärt er. «Die französische Atomaufsichtsbehörde will nun wissen, wie das alles mit dem ursprünglich Vereinbarten zusammenpasst.» Laut ihm ein vollkommen normaler Prozess.

Den Vorwurf, bei Iter habe man solche Probleme vertuscht, lässt Zohm

nicht gelten: «Verständlicherweise gibt es nicht gleich eine Pressemitteilung, wenn etwas nicht nach Plan läuft.» Intern würde man solche Dinge aber sehr wohl kommunizieren. Allerdings laufen die Inspektionen und die Zusammenarbeit mit den Behörden offenbar nicht ganz reibungslos ab. Am 20. Juli 2021 informierte die ASN in einem Brief an Bigot über die Ergebnisse einer Inspektion vom 2. Juli 2021 [11]. Darin berichtet die Behörde von gefälschten Qualifikationsnachweisen von Schweissern und bemängelt, dass angefragte Informationen nur zögerlich übermittelt würden. Auch habe ein stichprobenartiger Test ergeben, dass eine Schweissnaht entgegen dem Ergebnis der Röntgenprüfung als konform angegeben worden war. Und ein zentraler Bereich im Reaktorgebäude sei den Prüfern nicht zugänglich gewesen, kritisiert die ASN.

Enrique Gaxiola, Experte für Magnettechnologien, bemängelte ebenfalls, dass «viel zu viele Teile einfach zusammengebaut werden, ohne ausreichend getestet zu werden». So sei zum Beispiel kaum einer der achtundvierzig supraleitenden Magnete bisher unter Betriebsbedingungen überprüft worden. Und bei einem der wenigen Tests wurde eines der drei zentralen «Solenoid-Module» durch einen Kurzschluss wahrscheinlich irreparabel beschädigt. Auch ein Zwischenfall beim japanischen Fusionsprojekt JT60SA zeigt laut Gaxiola, dass hier weitere Probleme warten könnten. Dieser Reaktor soll das Funktionsprinzip von Iter in kleinerem Massstab realisieren. Im März 2021 kam es bei Experimenten aufgrund einer unzureichenden Isolierung zu einem Kurzschluss am Magneten, was zu Schäden an der Anlage und zu Verzögerungen führte.

Gefahr für Mitarbeiter

Die ASN teilte der Iter-Organisation zudem mit, dass die 2 m dicke Betonabschirmung um den Reaktor nicht ausreicht, um das Personal künftig vor radioaktiver Strahlung zu schützen [10]. Die ASN befürchtet, dass eine Erhöhung der Abschirmung dazu führen könnte, dass das Gesamtgewicht des Reaktors die 140 000-t- Tragfähigkeit seines erdbebensicheren Fundaments überschreitet.

Die Strahlenbelastung ist aber offenbar nicht die einzige potenzielle Gefahrenquelle für die Gesundheit der Mitarbeiter. Zwei Beryllium-Experten, Robert Winkel und Kathry Creek, traten aus der Iter-Organisation aus, weil sie angeblich mit dem Schutz der Arbeiter vor den Gefahren des Leichtmetalls nicht einverstanden waren [12]. Im Iter sind die Blankets im Innern auf der Plasma zugewandten Seite mit Beryllium beschichtet. Der feine Staub des Metalls kann schwere Lungenentzündungen verursachen. Eine Berylliumvergiftung kann dazu führen, dass man für den Rest des Lebens Medikamente einnehmen muss oder sogar eine Lungentransplantation benötigt.

Das derzeitige Protokoll für die Herstellung, Handhabung und Installation der Module berge nach Ansicht der beiden Experten das Risiko einer «inakzeptablen Kontamination der Arbeiter». Es wird berichtet, die beiden ehemaligen Mitarbeiter würden der Organisation gar vorwerfen, vorsätzlich fahrlässig zu handeln, da man keine Gegenmassnahmen einleite. «Es ist immer kritisch, mit Beryllium zu arbeiten, weil es toxisch ist», sagt Zohm. Die Versuchsanlage Joint European Torus (JET), sozusagen das Vorgängerprojekt von Iter, ist aber ebenfalls im Innern mit Beryllium ausgekleidet. «Das läuft seit Jahren, ohne dass es bisher Probleme gab», so Zohm.

Kein Brennstoff für die Reaktoren

Die Kritik des ehemaligen Cern-Physikers Michael Dittmar, die er 2009 in vier Artikeln auf dem Preprint-Server Arxiv [12] darlegt und in einem Bericht für die deutsche Partei «Die Grünen» 2019 wiederholt, ist fundamentaler. Seine theoretischen Betrachtungen würden zeigen, dass Iter niemals funktionieren kann, erklärt er am Telefon. Dafür liefert er unterschiedliche Argumente – das wesentlichste dabei ist die Tritiumerzeugung. Im Reaktor soll der Stoff mit Deuterium verschmelzen, wodurch enorme Energie freigesetzt wird. Deuterium wird auch als «schwerer Wasserstoff» bezeichnet, weil es neben einem Elektron und einem Proton zusätzlich ein Neutron im Kern enthält. Tritium wiederum hat noch ein weiteres Neutron und heisst daher auch «überschwerer Wasserstoff».

Während sich Deuterium aus Meerwasser gewinnen lässt, kommt Tritium in der Natur quasi nicht vor. Es entsteht etwa in bestimmten Typen von Atomkraftwerken, von denen aber nur noch wenige in Betrieb sind. Zudem zerfällt radioaktives Tritium mit einer Halbwertzeit von rund zwölf Jahren. Die vorhandenen Vorräte, die heute auf 25 kg geschätzt werden, nehmen also rasch ab. Daher ist der Stoff bei Fusionsforschern begehrt – und mit 30 000 € pro Gramm fast so wertvoll wie Diamanten. Es wird geschätzt, dass Iter rund 1 kg Tritium pro Jahr nutzen und somit eine erhebliche Menge davon aufbrauchen wird. Daher sollen künftige Fusionskraftwerke ihr eigenes Tritium erzeugen. Nur so hat die Fusion eine Zukunft, darin sind sich alle Fachleute einig.

Für die Tritiumerzeugung im Reaktor existieren bisher jedoch nur theoretische Überlegungen: Aus dem Element Lithium (^{6}Li) lässt sich Tritium mittels Neutronen gewinnen. Und Neutronen stünden im Reaktor ohnehin als «Abfallprodukt» der Kernfusion zur Verfügung. «Da pro Fusionsreaktion nur ein Neutron entsteht und noch etliche durch Absorption verloren gehen, reichen die entstehenden Neutronen nicht aus», erklärt Dittmar das Problem an der Sache. «Man muss sie daher um 30 bis 50 % vermehren.» Und hier beginnt der Dissenz: Dittmar denkt, dass der Prozess des Tritiumbrütens daher unmöglich ist. Zohm widerspricht: «Es ist uns kein prinzipieller Showstopper bekannt, und in detaillierten Modellrechnungen funktioniert es.» Zwar handele sich das Tritiumbrüten um ein extrem komplexes Problem, gibt Zohm zu. Mit hoher technologischer Ingenieurskunst lasse es sich aber lösen, glaubt er.

Im Iter und in weiteren Fusionsforschungsanlagen, etwa in China, wird der Prozess erforscht. Die Idee ist, dass man die freien Neutronen durch Kernreaktionen mit anderen Elementen wie Beryllium oder Blei vermehrt. Dittmar zweifelt: «Insbesondere die Tests zum Tritiumbrüten sind in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen», behauptet er. Der Kernphysiker hat sogar den Eindruck, dass dieses Problem absichtlich ausgeklammert wird, weil man wisse, dass es nicht funktionieren werde. Stattdessen beschäftige man sich fast ausschliesslich mit der Herstellung des Plasmas, sagt er. In der europäischen Roadmap zur Fusionsenergie werde das Problem des Tritiumbrütens explizit adressiert, entgeg-

net Zohm. «Nur weil es bisher noch nicht experimentell demonstriert wurde, heisst das nicht, dass es in Zukunft nicht funktioniert.»

Eine im Jahr 2021 durchgeführte Simulation [13] des Nuklearingenieurs Mohamed Abdou von der University of California, Los Angeles, und seinen Kollegen hat allerdings ergeben, dass ein stromproduzierender Reaktor im günstigsten Fall nur geringfügig mehr Tritium produzieren könnte, als er für seinen eigenen Brennstoff benötigt. Tritiumlecks oder längere Wartungsabschaltungen würden diesen Spielraum aufzehren, heisst es in einem Artikel zum Thema im Fachmagazin «Science» von Juni 2022 [14]. In einem Worst-Case-Szenario werde das Tritium nicht ausreichen, um den Fusionsbedarf nach Iter zu decken, räumt auch Gianfranco Federici, der Leiter der Fusionstechnologie beim Euro-Fusion-Konsortium, gegenüber dem Magazin ein. Daniel Jassby, ein Plasmaphysiker im Ruhestand vom Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL) wird wie folgt zitiert: «Es könnte für das gesamte Unterfangen fatal sein» und «Deuterium-Tritium-Fusionsreaktoren unmöglich machen».

Grüne Energie?

Sollten Fusionsreaktoren künftig funktionieren, dann liefern sie saubere Energie. Oder? «Es ist kein grosses Geheimnis, dass bei Iter auch radioaktive Abfälle entstehen», sagt Zohm. Die Iter-Pressestelle schreibt auf Anfrage: «Während der Lebensdauer des Iter werden konventionelle – wie bei jeder Industrieanlage – und radioaktive Abfälle aus dem Betrieb und der Stilllegung anfallen.» Einerseits führen die hochenergetischen Neutronen zu einer nuklearen Aktivierung von Komponenten des Vakuumbehälters. Andererseits werden Materialien mit dem radioaktiven Brennstoff Tritium kontaminiert. Laut der Pressestelle kämen während des 20-jährigen Betriebs etwa 5000 t Haushalts- und Prozessabfälle zusammen, davon 42 % sehr schwachaktive Abfälle und 58 % schwach- bis mittelaktive Abfälle mit kurzer Halbwertszeit. Der Austausch von Komponenten produziere rund 1000 t langlebige mittelaktive Abfälle. Der grösste Batzen resultiert schliesslich aus der Stilllegung des Vakuumbehälters und der unterstützenden Systeme: 60 000 t

Eine Luftaufnahme der Iter-Baustelle in Cadarache in Südfrankreich zeigt den Fortschritt des Projekts, bei dem es in der Vergangenheit immer wieder zu erheblichen Verzögerungen kam.

niedrigerer Abfallkategorien mit kurzlebiger Aktivität sowie etwa 2500 t mittelaktiver, langlebiger Abfälle. Das deckt sich mit Schätzungen des Max-Planck-Instituts für Plasmaphysik: Ein Fusionskraftwerk würde je nach Bauart während seiner etwa 30-jährigen Laufzeit zwischen 60 000 und 160 000 t radioaktives Material erzeugen, heisst es auf der Internetseite [15].

Somit unterscheidet sich die bei einem Fusionsreaktor anfallende Abfallmenge nicht massgeblich von einem herkömmlichen Kernkraftwerk. Aber da Tritium eine Halbwertszeit von nur 12,3 Jahren hat, ist die Aktivität des Grossteils des radioaktiven Mülls nach etwa 160 Jahren auf ein Zehntausendstel des Anfangswerts gefallen. Bei Plutonium- oder Uranabfällen, die bei der Kernspaltung entstehen, dauert es hingegen Tausende von Jahren, bis sich ihre Strahlung um die Hälfte verringert hat. Bei Iter fallen also hauptsächlich schwach- und mittelaktive Abfälle an. In der öffentlichen Diskussion um die Suche nach Endlagern geht es im Wesentlichen um die langlebigen hochradioaktiven Spaltprodukte.

Man plane bereits Verfahren, die den Tritiumgehalt und das Endvolumen reduzieren oder sogar einen Teil des Tritiums zurückgewinnen sollen, damit es als Brennstoff wiederverwendet werden könne, so die Pressestelle. Klar ist aber, dass nach Betriebsende von Iter radioaktiver Müll zwischengelagert werden muss. «Man hat dafür teilweise auch schon Plätze», sagt Zohm. Dass es dazu aber noch offene Fragen gibt, zeigt ein Schreiben der französischen Behörde für nukleare Sicherheit ASN an die Iter-Organisation aus 2021 [16]. Hier fordert sie mehr Informationen über die Menge und die Lagerung von radioaktiven Tritiumabfällen. Angeblich habe sich die Planung diesbezüglich erheblich verzögert.

Explodierende Kosten, ungewisser Zeitplan

Gemäss offiziellen Angaben wird Iter etwas mehr als 20 Mia. € verschlingen. Zu Beginn des Projekts im Jahr 2005 rechnete man noch mit rund 5 Mia. Im Moment deutet aber vieles darauf hin, dass die Ausgaben weiter zunehmen werden. Im September 2021 gab Generaldirektor Bigot bekannt, dass man den Termin zur ersten Testzündung des Plasmas im Jahr 2025 vor allem wegen der Coronapandemie nicht einhalten könne. Dies habe die Kosten weiter erhöht, genauere Angaben versprach er damals für Ende 2022 [17].

«Tatsächlich werden wir die genauen Kosten nie erfahren, da 90 % der Beiträge in Form von Sachleistungen erbracht werden und die Regierungen in den meisten Fällen die Kosten für die von ihnen hergestellten Teile nicht offenlegen wollen», schreibt Claessens in einem Thread auf Twitter [18]. In diesem heisst es weiter: «Die beste Schätzung, die wir abgeben können, basiert auf dem EU-Beitrag bis 2035». Dieser belaufe sich auf 18,1 Mia. € und umfasst auch Geld- und Sachleistungen, Ver-

waltungsausgaben sowie die Inflationsrate in der Eurozone. Da Europas Beitrag 45,6 % beträgt, ergibt sich insgesamt 41 Mia. €. Unter Berücksichtigung der Betriebskosten, Deaktivierung und Stilllegung, lande man bei 48 Mia. €, so Claessens per E-Mail.

Das US-amerikanische Department of Energy schätzte die Kosten für Iter bereits 2018 auf 65 Mia. $ [19]. Hartmut Zohm findet solche Zahlen zu hoch. Er weist auf einen gewissen Spielraum bei der Kostenrechnung hin, weil Iter keine Einheit ist, die die gesamten Gelder gebündelt ausgibt: «Niemand kennt zum Beispiel die genauen Zahlen, die die Spulen gekostet haben, die China hergestellt hat», sagt Zohm.

«Ich persönlich denke, dass so um den Dreh 2027 bis 2028 das erste Plasma gezündet wird», sagt er. Da der bisherige Forschungsplan vorsehe, dass die ersten Fusionsexperimente zehn Jahre nach der ersten Zündung stattfinden, wäre das spätestens im Jahr 2038. Selbstverständlich überrascht es kaum, dass ein Jahrhundertprojekt, bei dem 35 Nationen beteiligt sind, teurer wird und länger dauert als geplant. Während die Kostensteigerung aber vor allem ein Ärgernis für die Steuerzahler ist, die das Projekt finanzieren, sind die enormen Verzögerungen womöglich ein grösseres Problem: «Die Technologie ist zwei Jahrzehnte alt. Inzwischen gibt es weltweit mehr als 20 Start-up-Unternehmen, die mit privaten Mitteln Fusions-Technologien entwickeln», sagt Claessens. «Einige von ihnen werden die neuesten Magnettechnologien nutzen, um kompaktere Reaktoren zu ermöglichen.»

Dennoch findet Claessens, dass man Fusionsforschung weiterhin unterstützen müsse – trotz des ungewissen Ausgangs. Andere, darunter Dittmar, konstatieren hingegen schon lange, dass die Gelder besser in der Forschung zu erneuerbaren Energien aufgehoben wären. Denn der Kernphysiker ist überzeugt, dass sich auf der Erde mittels der Kernfusion nie sinnvoll Energie gewinnen lässt. Völlig anders sieht das der Plasmaexperte Zohm. Er prognostiziert, dass die ersten Fusionsreaktoren in etwa 30 Jahren den ersten Strom liefern werden. Die Sache mit der künstlichen Sonne bleibt also noch für einige Jahrzehnte spannend!

Referenzen

[1] www.iter.org/sci/Goals
[2] newenergytimes.com/v2/sr/iter/website/20200728-Press-Release.pdf
[3] www.tagesspiegel.de/wissen/iter-scharfe-kritik-an-fusionsreaktor/1900994.html
[4] news.newenergytimes.net/2017/10/06/the-iter-power-amplification-myth
[5] www.reddit.com/r/france/comments/qhv6by/iter_un_réacteur_expérimental_à_la_com_le_canard
[6] news.newenergytimes.net/2021/11/03/bernard-bigot-presentation-to-the-french-senate-last-3-minutes
[7] www.ilo.org/dyn/triblex/triblexmain.fullText?p_lang=fr&p_judgment_no=3990&p_language_code=EN
[8] reporterre.net/Stress-peur-pression-le-difficile-quotidien-des-salaries-du-reacteur-nucleaire-Iter
[9] www.youtube.com/watch?v=cLYRr5hRP9g
[10] physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.3.4997
[11] www.asn.fr/recherche?filter_year%5bfrom%5d=2021&filter_year%5bto%5d=2021&search_content_type=letter&search_content_subtype=letter_inb&nuclear_installation_name%5b%5d=Iter&search_text=INSSN-MRS-2021-0650
[12] arxiv.org/abs/0908.0627, arxiv.org/abs/0908.3075, arxiv.org/abs/0909.1421, arxiv.org/abs/0911.2628
[13] iopscience.iop.org/article/10.1088/1741-4326/abbf35/meta
[14] www.science.org/content/article/fusion-power-may-run-fuel-even-gets-started
[15] www.ipp.mpg.de/2641049/faq9
[16] www.actu-environnement.com/media/pdf/news-37664-avis-asn-dechets-sans-filiere.pdf
[17] www.euractiv.com/section/energy/news/iter-nuclear-fusion-reactor-hit-by-covid-delay-rising-costs
[18] twitter.com/M_Claessens/status/1439482924965974016
[19] physicstoday.scitation.org/do/10.1063/pt.6.2.20180416a/full

Autor

Dr. **Janosch Deeg** ist Physiker und freier Wissenschaftsjournalist.
→ Deschawi.de, DE-69221 Dossenheim
→ deeg@deschawi.de

Leserbrief

Jochen Ganz, Stefan Stahl, «Wasser direkt mit Strom heizen», Bulletin SEV/VSE 11/2022, S. 16–19.

Der Artikel basiert auf zahlreichen unzutreffenden oder unklaren Voraussetzungen. Auch die verwendeten Begriffe sind nicht einheitlich, oft unklar oder unüblich. So werden etwa für die (Trink-) Wassererwärmung verschiedenste Begriffe verwendet, u.a. «Erzeugung» oder «Aufbereitung». Die als Referenz [1] angegebene Studie (Machbarkeits- und Potenzialstudie «Effiziente, hygienische Warmwasser-Versorgung in grossen Wohnbauten») scheint nicht publiziert zu sein, es sind keine Autoren erwähnt. Erwähnt ist nur, dass «die Studie im Auftrag von Allthisfuture, dem Innovationslabor von WWZ» erfolgte.

Eine wichtige unzutreffende Annahme ist, dass Zirkulationsleitungen in «unsanierten» Gebäuden nicht wärmegedämmt wären. Sicher sind die Dämmdicken in Altbauten kleiner als heute und die Dämmung u.U. lückenhaft, die Verluste einer ungedämmten Verteilung wären aber gar nicht vernünftig zu decken. Zirkulationssysteme in Gebäuden aus den Jahren vor 1990 müssen in den nächsten 10 bis 20 Jahren ersetzt werden, was im Zuge einer Gesamterneuerung mit einem neuen Warmwasserkonzept kombiniert werden soll.

Allerdings ist die «überraschende Lösung» mit elektrischen Durchlauferwärmern nicht nur wegen des Verbots solcher Geräte unrealistisch: Für eine Dusche wären mindestens 20 kW elektrische Leistung erforderlich. Diese in Mehrfamilienhäusern bei möglicher Gleichzeitigkeit aus Batterien decken zu wollen, ist kaum realistisch, es wären enorme Batterieleistungen nötig und die elektrische Verteilung würde sehr aufwendig. Unklar sind die Ausführungen: «Durchlauferhitzer aus dieser Zeit (gemeint ist 2006) liefen ohne Regelung stetig im Standby-Betrieb». Elektrische Durchlauferwärmer für Trinkwasser-Entnahmestellen können nicht ohne Leistungsregelung betrieben werden. Solche Geräte könnten allenfalls als Ersatz für lange Zirkulationsleitungen oder Kleinspeicher mit hohen Bereitschaftsverlusten bei Entnahmestellen mit kleiner Leistung dienen.

Der Begriff «Standby-Betrieb» wird im Artikel auch für Zirkulationssysteme bzw. deren Verluste benutzt, was nicht gebräuchlich ist und allenfalls Vermeidungs-Methoden wie bei elektrischen Geräten suggeriert – eine Zirkulation kann aber nicht einfach abgestellt werden, nicht zuletzt wegen des Legionellen-Risikos.

Zum «Fazit»: Das Verbot der direkt-elektrischen Wassererwärmung darf keinesfalls einfach aufgehoben werden. Damit würden Wärmepumpen-Konzepte, welche heute auch dezentral möglich sind, konkurrenziert. Präzisierungen wären jedoch betreffend Notheizungen sinnvoll (Steuerung der Freigabe). Eine generelle Zulassung von elektrischen Durchlauferwärmern ist wegen der Netzbelastung undenkbar.

JÜRG NIPKOW, 8006 ZÜRICH, SOWIE MICHEL HALLER, URS LIPPUNER, RETO VON EUW (MITGLIEDER DER KOMMISSION SIA 385 WARMWASSER), JEAN-MARC SUTER (SACHBEARBEITER SIA 385)

PFIFFNER
Current and voltage – our passion

Neuer Stromwandler zur kontinuierlichen Netzzustands-überwachung

TSC-PQ

Interessiert?

- Präzise Messergebnisse
- Minimale Wärmeverluste
- Rechtzeitige Erkennung von Störungen
- Aufzeichnungen von Netzereignissen für die Ursachen- und Folgenanalyse
- Netzebenen 6 & 7
- IEC 61869-2
- Knickfrequenz 25 kHZ (Nachweis bis 100 kHZ)

www.pfiffner-group.com

Power Monitoring Expert Cloud

Die Cloud-Lösung für Energiemanagement und Verwaltung der Energieverteilung, vom Wohngebäude bis hin zu grossen Industrieanlagen.

Effizienz und Zuverlässigkeit

- Verwaltung des Energieverbrauchs und der Energiekosten
- Überwachung der Energieverteilung in Echtzeit
- Vermeidung von elektrisch verursachten Bränden

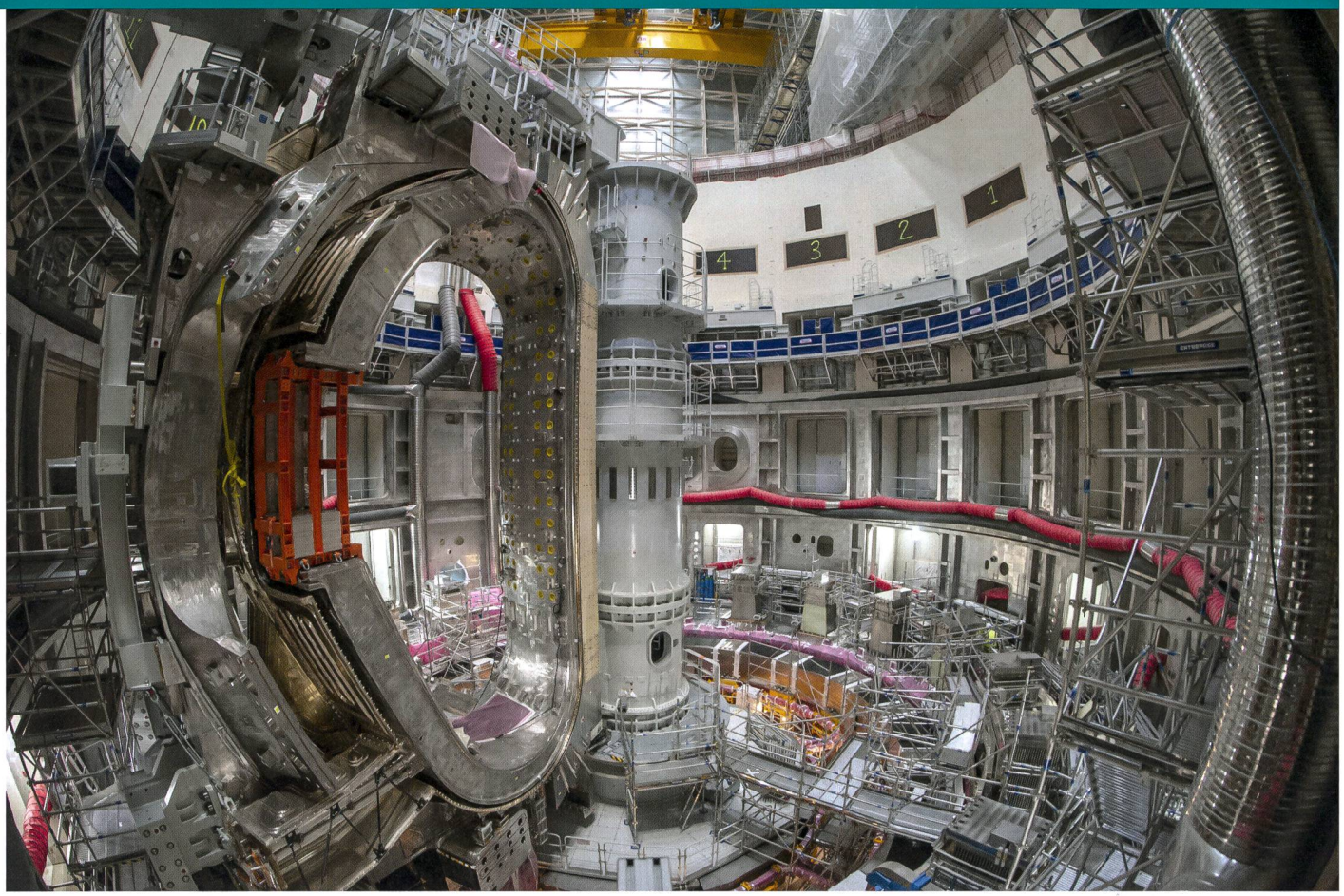
Einfache Implementierung und hohe Cybersicherheit

- Plug-and-Play-Lösung mit einem einfachen VPN-Wireless Router
- End-to-End-Verschlüsselung der Daten Konform zur Norm IEC 62443

se.com/ch/pmecloud

Life Is On | Schneider Electric

© 2022 Schneider Electric. Alle Rechte vorbehalten. Life Is On Schneider Electric ist ein Markenzeichen und Eigentum von Schneider Electric AG, deren Tochterunternehmen und angeschlossenen Gesellschaften. Alle anderen Markenzeichen sind Eigentum ihrer jeweiligen Eigentümer.



Le premier des neuf modules de secteur d'Iter a été installé en mai 2022.

Des problèmes sans fin au lieu d'une énergie illimitée

Électricité issue de la fusion nucléaire | Coût bien trop élevé, conditions de travail inhumaines, inquiétudes en matière de sécurité, pas opérationnel – la liste des critiques à l'encontre du réacteur à fusion nucléaire Iter est longue. S'agit-il juste de propos alarmistes ? Ou le projet du siècle est-il réellement voué à l'échec ?

JANOSCH DEEG

Unlimited Energy – c'est avec cette promesse que le site Internet du projet Iter accueillait ses visiteurs il y a quelques mois encore. La fusion nucléaire, qui alimente également le Soleil et les étoiles, est une source potentielle d'énergie sûre, sans carbone et pratiquement illimitée, pouvait-on y lire. Cette promesse doit devenir réalité dans le réacteur expérimental qui est en train de voir le jour dans la paisible commune de Saint-Paul-lès-Durance, dans le sud de la France. Des chercheurs du monde entier veulent y engendrer un plasma de 150 millions de degrés dans lequel les noyaux atomiques fusionnent les uns avec les autres. L'énergie ainsi libérée serait dix fois supérieure à celle qui doit être investie [1] – et suffisante pour alimenter environ 200 000 foyers, selon le communiqué officiel [2].

Les chiffres indiqués induisent toutefois délibérément en erreur, critiquent certains : le réacteur ne produira jamais d'énergie excédentaire. D'autres, dont le prix Nobel de physique Georges Charpak, aujourd'hui décédé, pensent même que l'installation ne sera jamais opérationnelle. C'est pourquoi il a demandé dès 2010, avec d'autres scientifiques de renom, l'arrêt d'Iter [3]. L'ancien physicien du Cern Michael Dittmar conclut lui aussi, dans un rapport de 2019 pour le parti allemand « Die Grünen », que « cette technologie ne permettra pas de produire de l'énergie de fusion dans la première moitié du XXIe siècle ».

L'organisation Iter se voit par ailleurs confrontée à plusieurs autres reproches. Nombre d'entre eux figurent dans le

Figures : Iter

rapport datant de 2021 d'un lanceur d'alerte, Michel Claessens, qui a été jusqu'en 2015 porte-parole d'Iter à Caradache. Il y dénonce entre autres des conditions de travail intenables et diverses failles de sécurité. De plus, certains pensent que la dangerosité des déchets radioactifs des réacteurs de fusion est minimisée. Et puis il y a encore l'explosion des coûts et les retards constants dans le calendrier. Mais prenons les choses dans l'ordre.

Pas de gain d'énergie avec Iter

En 2017, le journaliste et éditeur du « New Energy Times » Steven Krivit a signalé pour la première fois que le bilan énergétique d'Iter était mal communiqué du côté officiel [4]. Le gain énergétique net – s'il y en a un – n'est que marginalement positif, écrit-il. Il y voit une tromperie délibérée du grand public. Le physicien Hartmut Zohm de l'Institut Max-Planck de physique des plasmas à Munich, qui participe depuis une vingtaine d'années déjà avec son équipe au projet Iter, lui donne raison sur le fond: « Si l'on convertit l'énergie thermique d'Iter en électricité, il en reste au mieux un tiers. Cela ne couvre pas la totalité des besoins énergétiques d'Iter. » Le facteur 10 communiqué par les instances officielles repose sur le fait que, pour fournir 500 MW, Iter a besoin d'environ 50 MW pour chauffer le plasma. Or, cette puissance d'entrée est loin d'être suffisante pour faire fonctionner l'ensemble de l'installation. Ce réacteur n'est toutefois pas conçu pour produire de l'électricité, précise Hartmut Zohm. « En fait, on veut en premier lieu étudier la combustion du plasma. » Pour l'expert en plasma, il s'agit donc d'une « communication ambiguë, mais pas d'une tromperie intentionnelle ».

Iter n'a longtemps pas réagi aux critiques relatives à son bilan énergétique. Ce n'est qu'en octobre 2021 que l'organisation a admis pour la première fois, à la demande du magazine satirique d'investigation français « Le Canard enchaîné », que « bien sûr, tous les systèmes de l'installation consommeront plus d'énergie que le plasma n'en produira » [5]. Cependant, lors d'une audition au Parlement français, qui a par hasard eu lieu le jour de la publication de l'article, le directeur général d'Iter de l'époque, Bernard Bigot, a déclaré: « Si Dieu me permet d'être encore en vie en 2035, je verrai qu'on produit effectivement dix fois plus d'énergie qu'Iter n'en consomme [6]. » Bernard Bigot est décédé le 14 mai 2022; le 15 septembre 2022, Pietro Barabaschi a été nommé nouveau directeur général d'Iter.

Des accusations massives dans le rapport du lanceur d'alerte

Les accusations portées par Michel Claessens à l'encontre de l'organisation Iter sont plus graves. Ce scientifique et journaliste a dirigé le service de presse d'Iter pendant environ cinq ans, avant que Bernard Bigot, fraîchement nommé directeur général d'Iter, ne le licencie le 28 mars 2015. Michel Claessens a d'abord été transféré à l'Agence européenne d'Iter « Fusion for Energy », à Barcelone. En 2016, il a ensuite rejoint la Commission européenne à Bruxelles en tant qu'« Iter policy officer ». Là, il s'est senti comme sur une voie de garage, écrit-il. En raison de déclarations critiques sur le projet, on aurait exercé des pressions sur lui. Depuis 2021, il n'occupe plus aucune fonction au sein de l'organisation.

Michel Claessens fait état de plusieurs licenciements illicites, dont certains ont aussi déjà été confirmés et sanctionnés par le tribunal administratif de l'Organisation internationale du travail (OIT) à Genève [7]. De plus, la charge de travail et la pression sur les collaborateurs d'Iter sont énormes. Un employé de Fusion for Energy s'est suicidé pour des raisons professionnelles. Dans la lettre qu'il a laissée, l'employé a expliqué son geste par un « effondrement professionnel » lié au fait qu'il était « traité en bouc émissaire et humilié au dernier degré », rapporte le magazine français « Reporterre » [8]. Lors d'une audition devant la commission du contrôle budgétaire du Parlement européen, Michel Claessens a réitéré ses reproches: l'organisation Iter a introduit un management de la peur. Lors d'entretiens personnels, des collègues lui ont parlé du stress omniprésent et de la crainte de perdre leur emploi. Et personne n'ose dire quoi que ce soit [9].

Mais il est possible que les responsables d'Iter aient déjà réagi à ces accusations. C'est ce que suggère l'impression de l'ingénieur Enrique Gaxiola, qui travaille depuis neuf ans sur le chantier d'Iter. Il a confirmé par e-mail que les conditions de travail étaient parfois intenables, mais que l'atmosphère s'était à nouveau normalisée avec le directeur général par interim japonais.

Problèmes lors du montage

Outre les conditions de travail pratiquement inhumaines, Michel Claessens dénonce une mauvaise gestion du projet qui pourrait entraîner des problèmes techniques lors du montage et de l'exploitation du réacteur. Fin janvier 2022, l'Autorité de sûreté nucléaire française (ASN) a par exemple ordonné l'arrêt du montage de la chambre à vide d'Iter après avoir constaté des désalignements entre les surfaces de soudage des deux premiers secteurs de chambre à vide de 440 t [10]. Trois des neuf secteurs qui, une fois assemblés, formeront un tore pour le plasma, présentent des écarts dimensionnels, parce qu'ils ont peut-être été endommagés lors de leur transport depuis la Corée du Sud.

Un secteur a été légèrement soulevé dans la fosse après l'autorisation de l'ASN afin de compenser les écarts. L'organisation Iter cherche encore des solutions pour les deux autres secteurs. Michel Claessens reproche toutefois que l'on ne procède pas de manière transparente. Il trouve également inquiétant que, selon une source interne, le contrôle de qualité obligatoire n'ait pas eu lieu en Corée du Sud après l'achèvement de la construction – soi-disant pour respecter le calendrier et atteindre des étapes clés (« milestones ») importantes.

« Les secteurs présentent effectivement des écarts dans les spécifications, mais ce n'est pas pour cela qu'il faut directement les jeter », déclare Hartmut Zohm. Bien sûr, il faut maintenant montrer comment on peut malgré tout souder les parties de la chambre à vide de sorte que tout soit étanche à la fin. De manière générale, de tels incidents et inspections par l'ASN n'ont rien de surprenant pour Hartmut Zohm. « L'installation a été autorisée au début, mais au cours des années de construction, la conception du réacteur a été passablement modifiée », explique-t-il. « L'Autorité de sûreté nucléaire française veut maintenant savoir comment tout cela s'accorde avec ce qui a été convenu à l'origine. » Un processus tout à fait normal selon lui.

Hartmut Zohm n'accepte pas le reproche selon lequel on aurait dissimulé de tels problèmes chez Iter: « Il est

compréhensible que l'on ne fasse pas immédiatement un communiqué de presse lorsque quelque chose ne se passe pas comme prévu. » Mais en interne, de telles choses seraient très bien communiquées. Toutefois, les inspections et la collaboration avec les autorités ne se déroulent apparemment pas sans heurts. Le 20 juillet 2021, l'ASN a informé Bernard Bigot, dans une lettre, des résultats d'une inspection du 2 juillet 2021 [11]. L'autorité y fait état de certificats de qualification de soudeurs falsifiés et déplore que les informations demandées ne soient transmises qu'avec réticence. Un test aléatoire aurait également révélé qu'une soudure avait été déclarée conforme, contrairement au résultat du contrôle radiographique. Et l'ASN critique le fait qu'une zone essentielle du bâtiment du réacteur n'était pas accessible aux contrôleurs.

Enrique Gaxiola, expert en technologies des aimants, a également critiqué le fait que « beaucoup trop de pièces sont simplement assemblées sans être suffisamment testées ». Par exemple, presque aucun des 48 aimants supraconducteurs n'a encore été testé dans des conditions de fonctionnement. Et lors d'un des rares essais, l'un des trois « modules solénoïdes » centraux a été endommagé, probablement de manière irréparable, par un court-circuit. Selon Enrique Gaxiola, un incident survenu dans le projet de fusion japonais JT60SA montre également que d'autres problèmes pourraient survenir. Ce réacteur doit permettre de réaliser le principe de fonctionnement d'Iter à plus petite échelle. En mars 2021, lors d'expériences, il y a eu un court-circuit sur l'aimant en raison d'une isolation insuffisante, ce qui a entraîné des dommages sur l'installation et des retards.

Danger pour les employés

L'Autorité de sûreté nucléaire a également fait savoir à l'organisation Iter que le blindage en béton de 2 m d'épaisseur autour du réacteur ne suffira pas pour protéger le personnel des radiations radioactives à l'avenir [10]. L'ASN craint qu'une augmentation du blindage ne conduise à ce que le poids total du réacteur dépasse les 140 000 t de capacité de charge de ses fondations antisismiques.

L'exposition aux radiations ne semble toutefois pas être la seule source potentielle de danger pour la santé des employés. Deux experts en béryllium, Robert Winkel et Kathry Creek, ont démissionné de l'organisation Iter parce qu'ils n'étaient prétendument pas d'accord avec la protection des travailleurs contre les dangers de ce métal léger [10]. Dans Iter, le béryllium est utilisé pour le revêtement de la première paroi interne de la chambre à vide du réacteur. La fine poussière de ce métal peut provoquer de graves pneumonies. Une intoxication au béryllium peut obliger à prendre des médicaments pour le reste de sa vie, voire à subir une transplantation pulmonaire.

Selon les deux experts, le protocole actuel de fabrication, de manipulation et d'installation des modules comporte un risque de « contamination inacceptable des travailleurs ». Il est rapporté que les deux anciens employés reprocheraient même à l'organisation d'avoir fait preuve de négligence délibérée en ne prenant pas de contre-mesures. « Il est toujours critique de travailler avec du béryllium, car il est toxique », explique Hartmut Zohm. Or, l'intérieur de l'installation expérimentale Joint European Torus (JET), qui est en quelque sorte le prédécesseur d'Iter, est également revêtu de béryllium. « Cela fonctionne depuis des années sans qu'il y ait eu de problèmes jusqu'à présent », précise Hartmut Zohm.

Pas de combustible pour les réacteurs

La critique de l'ancien physicien du Cern Michael Dittmar, exposée en 2009 dans quatre articles sur le serveur de prépublications Arxiv [12] et réitérée dans un rapport pour le parti allemand « Die Grünen » en 2019, est plus fondamentale. Ses réflexions théoriques montrent qu'Iter ne pourra jamais fonctionner, explique-t-il au téléphone. Il fournit pour cela différents arguments – le plus significatif étant la production du tritium. Dans le réacteur, cet isotope de l'hydrogène doit fusionner avec le deutérium, ce qui libère une énorme quantité d'énergie. Le deutérium est également appelé « hydrogène lourd », car il contient un électron et un proton, mais aussi un neutron. Le tritium, quant à lui, possède encore un neutron supplémentaire et est donc également appelé « hydrogène extra-lourd ».

Alors que le deutérium peut être extrait de l'eau de mer, le tritium n'existe pratiquement pas dans la nature. Il est produit par exemple dans certains types de centrales nucléaires, dont il ne reste que quelques-unes en service. De plus, le tritium radioactif se désintègre avec une demi-vie d'environ 12 ans. Les réserves existantes, estimées aujourd'hui à 25 kg, diminuent donc rapidement. C'est pourquoi ce nucléide est convoité par les chercheurs en fusion – et à 30 000 euros le gramme, sa valeur est presque aussi élevée que celle des diamants. On estime qu'Iter utilisera environ 1 kg de tritium par an et en consommera ainsi une quantité considérable. C'est pourquoi les futures centrales à fusion devront produire leur propre tritium. Pour la fusion, c'est la seule façon d'avoir un avenir, tous les spécialistes sont d'accord sur ce point.

Pour la production de tritium dans le réacteur, il n'existe toutefois jusqu'à présent que des réflexions théoriques : le tritium peut être extrait de l'isotope du lithium ^{6}Li au moyen de neutrons. Et les neutrons seraient de toute façon disponibles dans le réacteur en tant que « déchets » de la fusion nucléaire. « Comme un seul neutron est produit par réaction de fusion et que nombre d'entre eux sont perdus par absorption, les neutrons produits ne suffisent pas », explique Michael Dittmar. « Il faut donc les multiplier de manière à atteindre une augmentation de leur nombre de 30 à 50 %. » Et c'est là que commence la dissension : Michael Dittmar pense que le processus de génération de tritium est donc impossible. Hartmut Zohm le contredit : « Nous ne voyons pas d'obstacle en ce qui concerne le principe, et dans les simulations détaillées, cela fonctionne. » Certes, la génération de tritium est un problème extrêmement complexe, admet ce dernier. Mais il pense qu'il peut être résolu avec un haut niveau d'ingénierie technologique.

Le processus sera étudié dans Iter et dans d'autres installations de recherche sur la fusion, par exemple en Chine. L'idée consiste à multiplier les neutrons libres par des réactions nucléaires avec d'autres éléments tels que le béryllium ou le plomb. Michael Dittmar doute : « En particulier les essais relatifs à la génération de tritium ont nettement diminué ces dernières années », affirme-t-il. Le physicien nucléaire a même l'impression que ce problème est délibérément mis de côté, car on sait que cela ne fonctionnera pas. Au lieu de cela, on s'occupe presque exclusive-

ment de la génération du plasma, dit-il. Dans la feuille de route de la recherche européenne pour la réalisation de l'énergie de fusion (European research roadmap to the realisation of fusion energy), le problème de la génération du tritium est explicitement abordé, rétorque Hartmut Zohm. « Ce n'est pas parce que cela n'a pas encore été démontré expérimentalement que cela ne fonctionnera pas à l'avenir. »

Une simulation réalisée en 2021 [13] par l'ingénieur nucléaire Mohamed Abdou de l'Université de Californie, Los Angeles, et ses collègues a toutefois montré que, dans le meilleur des cas, un réacteur produisant de l'électricité ne pourrait produire que légèrement plus de tritium que ce dont il a besoin pour son propre combustible. Des fuites de tritium ou des arrêts de maintenance prolongés réduiraient cette marge, peut-on lire dans un article paru sur le sujet dans la revue scientifique « Science » en juin 2022 [14]. Dans le pire des scénarios, le tritium ne suffirait pas à couvrir les besoins en fusion après Iter, reconnaît également Gianfranco Federici, responsable de la technologie de fusion au sein du Consortium européen pour le développement de l'énergie de fusion EuroFusion, dans les colonnes du magazine. Daniel Jassby, un physicien des plasmas à la retraite du Princeton Plasma Physics Laboratory (PPPL), est cité en ces termes: « Cela pourrait être fatal à l'ensemble de l'entreprise » et « rendre impossible les réacteurs de fusion deutérium-tritium ».

De l'énergie verte?

Si les réacteurs à fusion devaient fonctionner à l'avenir, ils fourniraient une énergie propre. Non? « Ce n'est pas un grand secret qu'Iter produira également des déchets radioactifs », déclare Hartmut Zohm. Interrogé, le service de presse d'Iter écrit: « Au cours de la vie d'Iter, des déchets conventionnels – comme dans toute installation industrielle – et des déchets radioactifs seront produits, provenant de l'exploitation et du démantèlement. » D'une part, les neutrons à haute énergie générés entraînent une activation nucléaire des composants de la chambre à vide. D'autre part, des matériaux sont contaminés par le tritium, le combustible radioactif. Selon le service de presse, les modélisations indiquent qu'au cours des 20 années d'exploitation, on obtiendrait environ 5000 t de déchets d'entretien liés au procédé, dont 42% de déchets de très faible activité et 58% de déchets de faible à moyenne activité à vie courte. Le remplacement des composants produirait environ 1000 t de déchets de moyenne activité à vie longue. Enfin, le plus gros morceau résulterait du démantèlement de la chambre à vide et des systèmes de soutien: 60 000 t de catégories de déchets de très faible, faible et moyenne activité à vie courte, et environ 2500 t de déchets de moyenne activité à vie longue. Cela correspond aux estimations de l'Institut Max-Planck de physique des plasmas: selon le type de construction, une centrale à fusion produirait entre 60 000 et 160 000 t de matériaux radioactifs pendant sa durée de vie d'environ 30 ans, peut-on lire sur son site Internet [15].

Des photos aériennes du chantier à Cadarache, dans le sud de la France, montrent l'avancement du projet. Celui-ci a toutefois connu des retards importants à maintes reprises par le passé.

Ainsi, la quantité de déchets produits par un réacteur à fusion ne diffère pas de manière significative de celle d'une centrale nucléaire classique. Mais comme le tritium a une demi-vie de seulement 12,3 ans, l'activité de la majeure partie des déchets radioactifs sera tombée à un dix-millième de sa valeur initiale après environ 160 ans. En revanche, pour les déchets de plutonium ou d'uranium issus de la fission nucléaire, il faut des milliers d'années pour que leur radioactivité ait diminué de moitié. Iter produit donc principalement des déchets de faible et moyenne activité. Le débat public relatif à la recherche de sites de stockage définitif porte essentiellement sur les produits de fission hautement radioactifs à longue durée de vie.

On prévoit déjà des procédés visant à réduire la teneur en tritium et le volume final des déchets, voire à récupérer une partie du tritium afin de le réutiliser comme combustible, indique le service de presse. Il est toutefois clair qu'à la fin de l'exploitation d'Iter, des déchets radioactifs devront être stockés temporairement. « On a déjà en partie des emplacements pour ce faire », déclare Hartmut Zohm. Une lettre de l'Autorité de sûreté nucléaire adressée à l'organisation Iter en 2021 [16] montre qu'il y a encore des questions en suspens sur ce point. Elle y demande plus d'informations sur la quantité et le stockage des déchets radioactifs de tritium. La planification aurait pris un retard considérable à cet égard.

Explosion des coûts, calendrier incertain

Selon les données officielles, Iter coûtera un peu plus de 20 milliards d'euros. Au début du projet, en 2005, on s'attendait encore à un coût d'environ 5 milliards. Mais à l'heure actuelle, tout porte à croire que les dépenses vont encore augmenter. En septembre 2021, le directeur général Bernard Bigot a annoncé qu'il ne serait pas possible de respecter la date prévue pour le premier test d'allumage du plasma en 2025, principalement en raison de la pandémie de coronavirus.

Cela avait encore augmenté les coûts, et il avait alors promis des informations plus précises pour la fin 2022 [17].

« En fait, nous ne connaîtrons jamais les coûts exacts, car 90 % des contributions sont versées en nature et les gouvernements ne veulent pas, dans la plupart des cas, divulguer les coûts des pièces qu'ils produisent », écrit Michel Claessens dans un fil de discussion sur Twitter [18]. Il y ajoute: « La meilleure estimation que nous puissions faire se base sur la contribution de l'UE jusqu'en 2035. » Celle-ci s'élève à 18,1 milliards d'euros et comprend également les contributions en espèces et en nature, les dépenses administratives ainsi que le taux d'inflation dans la zone euro. La contribution de l'Europe s'élevant à 45,6 %, le total atteint 41 milliards d'euros. En tenant compte des coûts d'exploitation, de désactivation et de démantèlement, on arrive à 48 milliards d'euros, déclare Michel Claessens par e-mail.

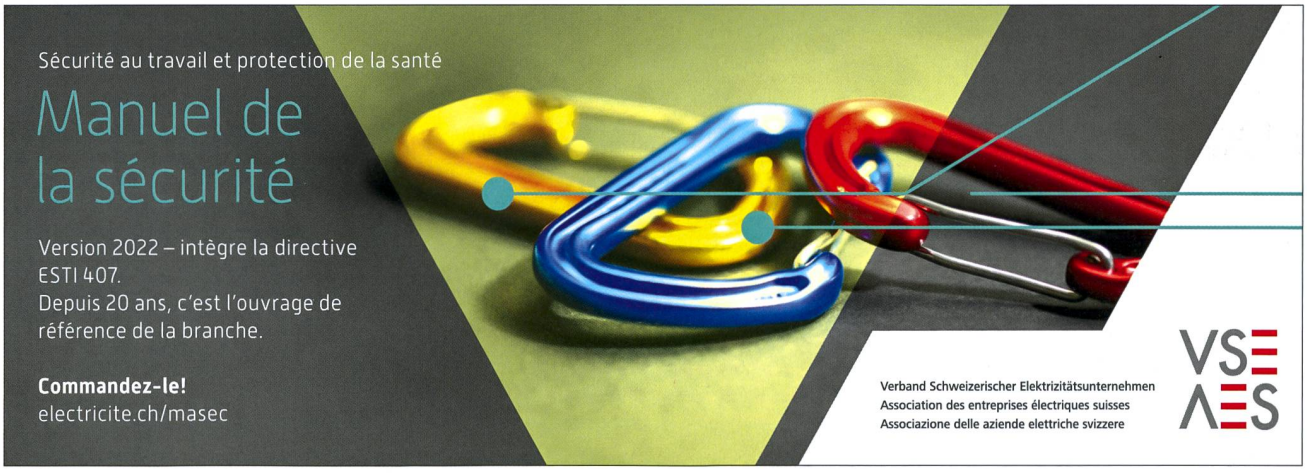
Le Département de l'Énergie des États-Unis estimait déjà en 2018 les coûts d'Iter à 65 milliards de dollars [19]. Hartmut Zohm trouve que de tels chiffres sont trop élevés. Il signale une certaine marge de manœuvre dans le calcul des coûts, car Iter n'est pas une entité qui dépense l'ensemble des fonds de manière groupée: « Personne ne connaît par exemple le coût exact des bobines que la Chine a fabriquées », déclare Hartmut Zohm.

« Personnellement, je pense que le premier plasma sera allumé aux alentours de 2027–2028 », dit-il. Comme le plan de recherche actuel prévoit que les premières expériences de fusion auront lieu dix ans après le premier allumage, ce serait au plus tard en 2038. Bien entendu, il n'est guère surprenant qu'un projet du siècle impliquant 35 nations soit plus onéreux et dure plus longtemps que prévu. Mais si l'augmentation des coûts est surtout un désagrément pour les contribuables qui financent le projet, les énormes retards constituent peut-être un problème plus important: « La technologie date de deux décennies. Aujourd'hui, il y a plus de 20 start-up dans le monde qui développent des technologies de fusion avec des fonds privés », explique Michel Claessens. « Certaines d'entre elles utiliseront les dernières technologies en matière d'aimants pour créer des réacteurs plus compacts. »

Michel Claessens estime néanmoins qu'il faut continuer à soutenir la recherche sur la fusion, et ce, malgré l'issue incertaine. D'autres, dont Michael Dittmar, demandent en revanche depuis longtemps que les fonds soient mieux employés, dans la recherche sur les énergies renouvelables. Ce physicien nucléaire est en effet convaincu que la fusion nucléaire ne permettra jamais de produire raisonnablement de l'énergie sur Terre. L'expert en plasma Hartmut Zohm voit les choses différemment. Il pronostique que les premiers réacteurs à fusion fourniront pour la première fois de l'électricité dans environ 30 ans. L'histoire du soleil artificiel restera donc passionnante pour quelques décennies encore!

Références

[1] www.iter.org/sci/goals
[2] newenergytimes.com/v2/sr/iter/website/20200728-Press-Release.pdf
[3] www.tagesspiegel.de/wissen/iter-scharfe-kritik-an-fusionsreaktor/1900994.html
[4] news.newenergytimes.net/2017/10/06/the-iter-power-amplification-myth
[5] www.reddit.com/r/france/comments/qhv6by/iter_un_réacteur_expérimental_à_la_com_le_canard
[6] news.newenergytimes.net/2021/11/03/bernard-bigot-presentation-to-the-french-senate-last-3-minutes
[7] www.ilo.org/dyn/triblex/triblexmain.fullText?p_lang=fr&p_judgment_no=3990&p_language_code=EN
[8] reporterre.net/Stress-peur-pression-le-difficile-quotidien-des-salaries-du-reacteur-nucleaire-Iter
[9] www.youtube.com/watch?v=cLYRr5hRP9g
[10] physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.3.4997
[11] www.asn.fr/recherche?filter_year%5bfrom%5d=2021&filter_year%5bto%5d=2021&search_content_type=letter&search_content_subtype=letter_inb&nuclear_installation_name%5b%5d=Iter&search_text=INSSN-MRS-2021-0650
[12] arxiv.org/abs/0908.0627, arxiv.org/abs/0908.3075, arxiv.org/abs/0909.1421, arxiv.org/abs/0911.2628
[13] iopscience.iop.org/article/10.1088/1741-4326/abbf35/meta
[14] www.science.org/content/article/fusion-power-may-run-fuel-even-gets-started
[15] www.ipp.mpg.de/2641049/faq9
[16] www.actu-environnement.com/media/pdf/news-37664-avis-asn-dechets-sans-filiere.pdf
[17] www.euractiv.com/section/energy/news/iter-nuclear-fusion-reactor-hit-by-covid-delay-rising-costs
[18] twitter.com/M_Claessens/status/1439482924965974016
[19] physicstoday.scitation.org/do/10.1063/pt.6.2.20180416a/full

Auteur

Dr **Janosch Deeg** est physicien et journaliste scientifique indépendant.
→ Deschawi.de, 69221 Dossenheim, Allemagne
→ deeg@deschawi.de