

## Wilfried Hahn aus dem Schwarzwald unterstützt Copenhagen Atomics



### Wilfried Hahn

Unternehmer und Verwaltungsrat bei Copenhagen Atomics

Das dänische Unternehmen Copenhagen Atomics entwirft einen Thorium-Flüssigsalzreaktor (Salzschmelzereaktor), der auch radioaktive Abfälle verwerten kann. Wilfried Hahn ist dort seit 2021 im Aufsichtsrat. Der Unternehmer aus dem deutschen Schwarzwald hat uns Einblicke in die Reaktorentwicklung gegeben und seine Motivation für die Unterstützung der Kernenergie erklärt.

### Weshalb engagieren Sie sich für die Kernkraft und weswegen bei Copenhagen Atomics?

Ohne Energie funktioniert weder unsere Wirtschaft noch unser Leben. Meistens realisiert man das nicht, weil der Strom selbstverständlich und täglich aus der Steckdose kommt. Da wir es in Deutschland mit den erneuerbaren Energien nicht schaffen werden, will ich mit meinem Einsatz für die Kernenergie zu einer gesicherten Energiezukunft beitragen. Bei Copenhagen Atomics habe ich die einmalige Chance bekommen, aktiv mitzumachen. Mein Engagement dort begann im Jahr 2020, als mir der Copenhagen-Atomics-Mitgründer Thomas Jam Pedersen in Kopenhagen das innovative Reaktorkonzept erklärte. Über die estnische Crowdfunding-Plattform Funderbeam habe ich dann investiert und mich über Monate hinweg im Selbststudium immer weiter in die Atomenergie und die Technik von Copenhagen Atomics eingearbeitet.

### Sie sind im Aufsichtsrat von Copenhagen Atomics. Was ist Ihre Aufgabe?

Als Aufsichtsrat beaufsichtige ich die Geschäftsleitung. Wir erhalten die Bilanzen und haben alle zwei Monate eine Aufsichtsratssitzung. Dort besprechen und genehmigen wir die wichtigsten Projekte. Ich nehme vor Ort in Kopenhagen teil und bleibe jeweils zwei, drei Tage. So kriege ich ein Gefühl für die Stimmung, kann durch die Produktion gehen, mit den Leuten reden und ein Vertrau-

ensverhältnis aufbauen. Die Gründer haben die Mehrheit, sodass ich allein nichts Entscheidendes ändern könnte – ich bringe aber meine langjährigen Erfahrungen als Unternehmer ein. Ich mache das alles unentgeltlich und zahle auch die Flüge selbst.

### Im Windland Dänemark sind Atomkraftwerke per Gesetz verboten. Wieso wird ausgerechnet in Kopenhagen ein Kernreaktor entwickelt?

Alvin Weinberg hat am Oak Ridge National Laboratory (ORNL) das Thorium-Flüssigsalzkonzept entwickelt und in den 1960er-Jahren das Molten Salt Reactor Experiment (MSRE) betrieben. Als die Patentunterlagen dazu für die Öffentlichkeit freigegeben wurden, haben die technikbegeisterten Gründer von Copenhagen Atomics alles genaustens studiert. Schliesslich haben Thomas und seine Mitgründer den Entschluss gefasst, Geld auf den Tisch zu legen, eine Firma zu gründen und es selbst zu versuchen.

### Was ist die Philosophie von Copenhagen Atomics?

Als Start-up hatte Copenhagen Atomics nicht viel Geld. Damals und auch heute noch versuchen wir alles selbst zu entwickeln und zu bauen – vom Salz über die Elektronik bis zur Pumpe. Unser Reaktor ist kein riesiges Bauwerk wie ein Leichtwasserreaktor, der nur einmal gebaut

wird, womit wir die technische Entwicklung ganz anders vorantreiben können. Wir bauen unsere Prototypen frühzeitig, testen sie und lernen daraus. Bis jetzt haben wir drei Prototypen hergestellt und in den nächsten ein bis zwei Jahren folgen zwei bis drei weitere. Wir hoffen, so schneller die Genehmigung zu erhalten und auf den Markt zu kommen. Die Grundidee von Copenhagen Atomics ist es, in unserer Fabrik mehr als einen Reaktor pro Tag in Serienfertigung zu bauen und von der schnellen Lernkurve zu profitieren.

Bei unserem Reaktor, dem Copenhagen Atomics Waste Burner, ist das Wertvolle das Flüssigsalz mit dem gelösten Brennstoff und das schwere Wasser ( $D_2O$ ) als Moderator. Das Ziel von Copenhagen Atomics ist es, einen Reaktor zu bauen, der im Betrieb genügend Brennstoff für sich selbst und den Start eines weiteren solchen Reaktors erzeugen kann (siehe Kasten Seite 11). Das Flüssigsalz und der Moderator sollen in unserem Besitz bleiben. Wir werden unseren Kunden die gesamte Anlage nur im «Build-own-operate»-Modell anbieten, das heisst den Strom und die bis zu  $560\text{ °C}$  heisse Wärme verkaufen. Ausgehend von einer kleinen Menge an Brennstoffsalz können wir viel Energie erzeugen. Dabei hilft uns unser hochinteressantes Reaktorkonzept mit dem Schwerwassermoderator und dem patentierten Reaktorkern, dem «Onion Core», der Form und Aufbau einer Zwiebel hat. Der mechanische Reaktor selbst ist Verbrauchsmaterial und benötigt keine Wartung. Er hält sicher fünf Jahre, dann werden das Flüssigsalz und der Schwerwassermoderator transferiert und beim neuen Reaktor noch Thorium nachgefüllt. Der alte Reaktor wird dann vor Ort gelagert und später entsorgt.

### Wann rechnen Sie mit der Serienproduktion?

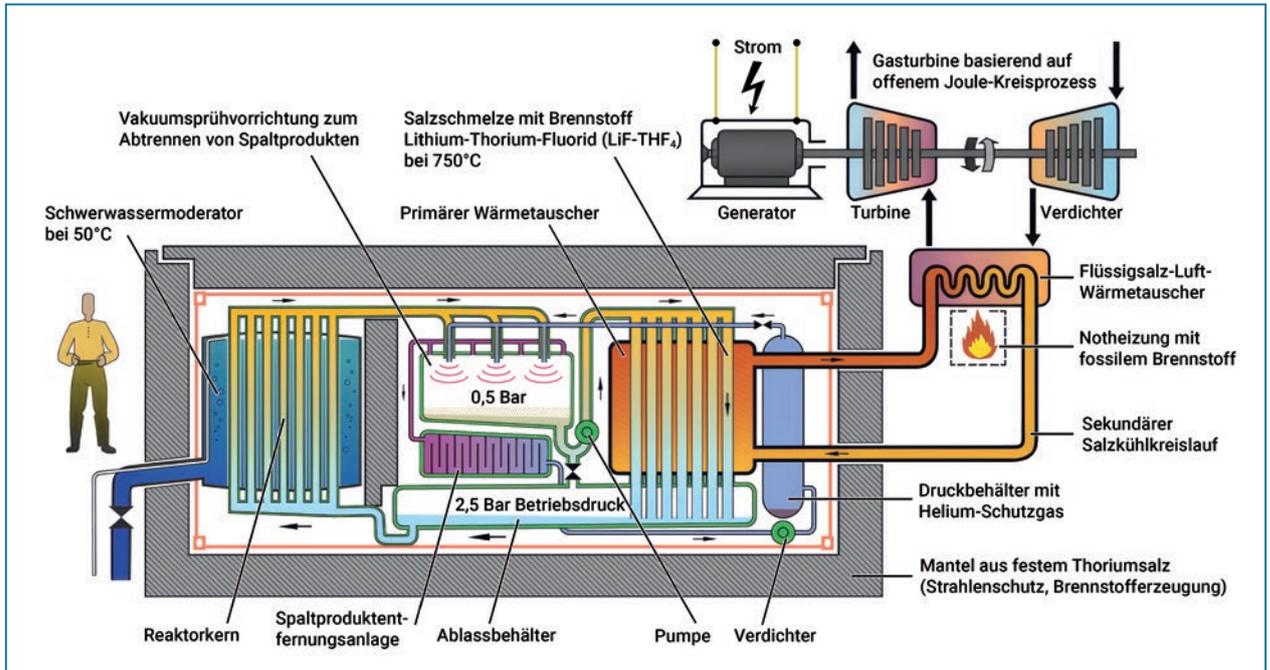
2028 soll der erste kommerzielle Reaktor laufen, mit dem wir aber noch nicht Strom zu einem Preis von 2 Eurocent pro Kilowattstunde produzieren können. In der Serienproduktion 2030, 2032 herum, rechnen wir mit so einem Preis und werden billiger als die Mitbewerber sein. Während den ersten zwei, drei Jahren können wir in unserem 11'000 Quadratmeter grossen Firmengebäude Reaktoren bauen. Für die Massenproduktion müssen wir uns dann ein anderes Gebäude suchen. Zuerst steht 2025 das kritische Reaktorexperiment an, das wir leider nicht in Dänemark durchführen dürfen.



Copenhagen Atomics nennt seinen patentierten Reaktorkern «Onion Core» und bezieht sich damit auf dessen Form und Aufbau einer Zwiebel. (Foto: Copenhagen Atomics)

### Können Sie uns mehr zum kritischen Reaktorexperiment verraten?

Das Experiment soll rund einen Monat laufen. Der Reaktor hat fast Originalgrösse, wird aber nur 1 MW Leistung haben und nicht 100 MW, wie später vorgesehen. Mit dem Experiment wird überprüft, ob die Simulationen mit der Realität übereinstimmen. Copenhagen Atomics kann damit zeigen, dass das Konzept in der Realität funktioniert, was auch für die öffentliche Wahrnehmung wichtig sein wird, da zukünftig ein Gang an die Börse geplant ist. →



Schematische Zeichnung des Flüssigsalzreaktors Copenhagen Atomic Waste Burner, dessen nuklearer Teil die Ausmasse eines Standard-Schiffscontainers hat. (Foto: Copenhagen Atomics)

Die Möglichkeit besteht, dass wir unterschiedliche Experimente in verschiedenen Ländern machen – wir sind mit zehn Ländern im Gespräch, darunter einige in Europa wie England, Polen, Schweden und die Türkei. Copenhagen Atomics muss nach festgelegten Kriterien die Auswahl treffen; dazu zählen der Zeitrahmen zum Erhalt der Bewilligung für ein kritisches Experiment und die Kosten.

### Copenhagen Atomics ist der Ansicht, dass der Waste Burner sehr sicher ist ...

Ja, unser Reaktor ist passiv sicher und verfügt über eine Reihe an Sicherheitsmerkmalen. Die Leistung im Reaktor regelt sich selbst herunter, wenn sich das Flüssigsalz mit dem Brennstoff bei stark steigender Temperatur sofort auszudehnen beginnt. Egal was im Reaktor passiert, das Flüssigsalz wird nie gasförmig (siehe Angaben zu den Temperaturen im Kasten auf Seite 11). Zudem kann das Flüssigsalz mit dem Brennstoff in einen Auffangbehälter abgelassen werden, wo es abkühlt und erstarrt, wobei auch die Kettenreaktion gestoppt wird. Sobald die Pumpe nicht mehr läuft, sackt das flüssige Salz automatisch in den Auffangbehälter ab. Das System steht zu-

dem nicht unter Druck und auch Wasserstoffexplosionen kann es nicht geben.

### Flüssigsalze stellen bei hohen Temperaturen wegen der Korrosion hohe Anforderungen an die verwendeten Materialien. Hat Copenhagen Atomics das Korrosionsproblem im Griff?

Insgesamt haben wir über 130 kumulierte Jahre an Test Erfahrung. Wir stellen das hochreine Flüssigsalz selbst her und testen es ausgiebig. Um der Korrosion entgegenzuwirken, entziehen wir dem Salz die Feuchtigkeit. Für statische Salzttests stehen uns über 20 selbst hergestellte Anlagen – sogenannte Salzkreisläufe (molten salt loops) – zur Verfügung, in denen die Werkstücke und das Salz bei hohen Temperaturen gehalten werden. Zudem führen wir Versuche zusammen mit der Universität Liverpool durch. Um ein bisschen Geld zu verdienen und weitere Erfahrungen zu sammeln, verkaufen wir auch Salzkreisläufe.

In einem unserer Tests bringen wir Werkstücke für 2000 Stunden mit Flüssigsalz bei 600 °C in Kontakt. Betrachtet man danach die Metallplatten, sieht man, wie gering

die Korrosion bei unserem Salz ist. Wir haben berechnet, dass es nach fünf Jahren maximal 0,1 Millimeter Korrosion gibt. Zusammen mit den praktischen Erfahrungen aus Tests, die wir bis anhin sammeln konnten, können wir sagen, dass unsere Anlage mit dem Reaktorbehälter sicher fünf Jahre halten wird. Auch unsere selbst entwickelte Pumpe haben wir ausgiebig getestet und sie hält problemlos den hohen Temperaturen im Betrieb stand.

### **Viele SMR-Entwickler gehen Kooperationen ein. Wie sieht es da bei Copenhagen Atomics aus?**

Wir machen möglichst viel selbst, um unsere Unabhängigkeit zu wahren und sind auch vorsichtig, da es auf dem Markt einen Verdrängungskampf gibt. Unsere Stärke liegt beim nuklearen Teil, auf den wir uns konzentrieren. Beim Dampferzeuger, der Dampfturbine und den Anlagen zur Stromverteilung werden wir somit eine Kooperation brauchen – da gibt es aber mehrere Anbieter wie Siemens oder General Electric. Eng vernetzt sind wir

mit der dänischen Firma Topsoe, die in Indonesien unsere Energie abnehmen und Ammoniak herstellen wird. Als weitere Abnehmer könnten wir uns die Stahl- oder Aluminiumindustrie vorstellen.

### **Viele Energieprojekte haben mit gestiegenen Preisen zu kämpfen. Wie sieht es diesbezüglich bei Copenhagen Atomics aus und was ist mit der Lizenzierung durch die Aufsichtsbehörden?**

Bei unseren Reaktoren ist das Salz zentral. Wir produzieren das Salz selbst. Thorium ist noch relativ leicht verfügbar und wir haben da unsere Quellen. Der Uranbedarf steigt an, was sich natürlich in gestiegenen Börsenpreisen äussert. Copenhagen Atomics kann aber ohne Probleme beim Uran hohe Preise bezahlen, weil das Konzept sehr effektiv ist. Hinzu kommt, dass der Reaktor von Copenhagen Atomics keine riesigen Mengen an Werkstoffen benötigt. Der ganze Reaktor steckt in einem Schiffscontainer, der aus günstigem Stahl hergestellt wird und



Copenhagen Atomics stellt Salzkreisläufe her, um diese für Materialtests einzusetzen, aber auch um sie an Kunden zu verkaufen und so Einnahmen zu generieren. (Foto: Copenhagen Atomics)



Ein Kraftwerk von Copenhagen Atomics kann aus mehreren Reaktoren bestehen. Dazu werden die Schiffscontainer mit der internen Abschirmung in einer Halle untergebracht. (Foto: Copenhagen Atomics)

auch die Sicherheitsbarriere im Container besteht aus einem halben Meter dicken Stahl. Teure Spezialstähle oder meterdicke Betonwände benötigen wir nicht.

### Wo sehen Sie für Copenhagen Atomics die grössten Herausforderungen oder mögliche Stolpersteine auf dem Weg zum Markteintritt seines Reaktors?

Die grösste Herausforderung ist die Lizenzierung des Reaktors mit dem Erhalt der notwendigen Genehmigungen. Aktuell ist die Lizenzierung in den USA sehr kompliziert und kann Jahre dauern. So langsam bewegt sich aber etwas. Auch in Europa wird das die grösste Hürde sein. Vielleicht klappt es, dass wir zuerst in den indonesischen Markt einsteigen und dort Ammoniak herstellen und nachher nach Europa kommen. Wir bräuchten eine Typengenehmigung, damit das Sinn macht. Wir möchten in jedem Land, wo wir sinnvolle Chancen sehen und weiterkommen wollen, eine Firma gründen und das ganze Genehmigungsverfahren selbst durchziehen und auch da wieder hinzulernen für weitere Genehmigungsverfahren.

Der 73-jährige Wirtschaftsingenieur **Wilfried Hahn** aus Schonach im Schwarzwald war über 40 Jahre Geschäftsführer des Unternehmens Wiha Werkzeuge GmbH. Er übernahm es von seinem Vater und hat es inzwischen an seinen Sohn Wilhelm weitergegeben. So bleibt dem Mitglied des Nuklearforums viel Zeit, seinen Interessen wie der Atomkraft nachzugehen. Hahn ist der Autor des Buchs «Kernenergie jetzt?! Warum uns die Energiewende Wohlstand und Frieden kostet» (ISBN: 978-3-98617-059-2).

In unserem Podcast NucleoTalk erfahren Sie mehr über den deutschen Unternehmer und Autor.



Wilfried Hahn (Aufsichtsrat Copenhagen Atomics) mit seinem Buch «Kernenergie jetzt?! Warum uns die Energiewende Wohlstand und Frieden kostet» und Lukas Aebi (Geschäftsführer Nuklearforum Schweiz). (Foto: Nuklearforum Schweiz)

## Brennstoff für den Copenhagen Atomics Waste Burner

Leichtwasserreaktoren der Generation III/III+ nutzen festen Uran-Brennstoff mit einem Gehalt an spaltbarem Uran-235 von 4–5%. Im Reaktorbetrieb sinkt der Gehalt auf weniger als ein Prozent, wodurch das Brennelement ausgetauscht werden muss. In einem ausgedienten Brennelement liegen noch immer 95% Prozent Uran-238 vor. Nur wenige Prozent des Urans werden somit für die Energieproduktion genutzt. Zudem entstehen bei der Kernspaltung neben den Spaltprodukten auch Plutonium und geringe Mengen weiterer Transurane, die langlebig sind.

Der Flüssigsalzreaktor von Copenhagen Atomics gehört zur Generation IV und nutzt Thorium als Brennstoff, der im verflüssigten Salz FLiNaK gelöst ist. FLiNaK hat die chemische Zusammensetzung LiF-NaF-KF. Es wird bei 454 °C flüssig und bei 1570 °C gasförmig. Die Betriebstemperatur des Reaktors liegt bei 600 bis 700 °C. Das Salz ist korrosiv, solange es feucht ist, wodurch man vor einem Einsatz zuerst die darin enthaltene Feuchtigkeit entfernen muss.

Thorium kommt im Boden häufiger vor als Uran: Weltweit gibt es rund 500-mal mehr Thorium-232 als Uran-235. Thorium-232 wird mit thermischen Neutronen in das spaltbare Uran-233 umgewandelt. Der grösste Teil des Thoriums lässt sich so in Energie umwandeln. In Abwesenheit von Uran-238 fallen zudem kein Plutonium und keine langlebigen Transurane an, die bewirken, dass der hochaktive Abfall aus Leichtwasserreaktoren sehr lange gelagert werden muss. Ein weiterer Vorteil des Thoriumreaktors ist, dass der Brennstoff über fünf Jahre genutzt werden kann, ohne

ihn auszutauschen, wie bei den Uran-Brennelementen.

Um den Reaktor zu starten und die Umwandlung von Thorium-232 in das spaltbare Uran-233 in Gang zu setzen, wird ein Startbrennstoff benötigt, der genügend Neutronen abgibt. Der Reaktor von Copenhagen Atomics ist ein Waste Burner, das heisst er kann radioaktive Abfälle von Leichtwasserreaktoren verwerten. Dazu muss der verbrauchte Uran-Brennstoff vorab in seine Bestandteile aufgetrennt werden. Rund 4% davon sind die langlebigen Bestandteile Plutonium und die Transurane, die im Waste Burner als Startbrennstoff verwendet und «verbrannt» werden können, also in kurzlebigere Bestandteile umgewandelt werden können und dabei erst noch Energie liefern. Der radioaktive Abfall aus einem Thoriumreaktor hat also eine viel kürzere Lebensdauer: Die Spaltprodukte müssen nur um die 300 bis 500 Jahre herum sicher gelagert werden. Copenhagen Atomics plant, die neutronenabsorbierenden Spaltprodukte aus dem Flüssigsalz-Brennstoff-Gemisch fortlaufend zu entfernen, was zu einer besseren Neutronenausbeute führt.

Als Alternative zum Plutonium und den Transuranen kann Copenhagen Atomics seinen Reaktor aber auch mit einem Startbrennstoff in Betrieb nehmen, der mit 5% Uran-235 angereichert ist. Uran-238 wird in das spaltbare Plutonium-239 und gleichzeitig Thorium-232 in das spaltbare Uran-233 umgewandelt. Andere Konzepte arbeiten teilweise mit Uran-235-Anreicherungen von 20%, was in Europa bezüglich Bewilligungen viel anspruchsvoller ist.