

N i e d e r s c h r i f t
über die 55. bis 59. - öffentliche - Sitzung (Reise)
des Ausschusses für Umwelt, Energie und Klimaschutz
vom 5. bis 10. Mai 2025
in Portugal

Tagesordnung:

Seite:

Parlamentarische Informationsreise des Ausschusses für Umwelt, Energie und Klimaschutz

Montag, 5. Mai 2025

Briefing durch die deutsche Botschafterin Dr. Julia Monar..... 4

Dienstag, 6. Mai 2025

Gespräch mit dem portugiesischen Staatssekretär für Energie Jean Barroca..... 5

*Aktuelle Forschungen zur Agrophotovoltaik an der Universität Lissabon - Gespräch mit
Professor Miguel Centeno Brito..... 8*

*Grundstrukturen und Umsetzung des Generalentwässerungsplans Lissabon - Gespräch
mit Tiago Andrade de Gomes, leitender Ingenieur, und Baustellenbesuch..... 10*

Mittwoch, 7. Mai 2025

*Hybrid betriebene Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energie: Das Beispiel der
Floating-PV-Anlage auf dem Pumpspeicherkraftwerksee Alqueva..... 11*

*Évora Molten Salt Platform: Forschungs- und Entwicklungsprojekt zur Gewinnung und
Speicherung von Energie mit dem Medium Salzschnmelze..... 14*

Donnerstag, 8. Mai 2025

Pilotanlage von Floene zur Erzeugung grünen Wasserstoffs und dessen Netzeinspeisung 29

*Ergänzendes Briefing durch den deutschen Honorarkonsul Christian Bothmann, einen
Vertreter der Deutsch-Portugiesischen Außenhandelskammer und die Direktorin des
Fraunhofer-Instituts AWAM 30*

Freitag, 9. Mai 2025

<i>Schritte zur Kreislaufwirtschaft im Großraum Porto - Organisation des Gemeindeverbands LIPOR und Betrieb der Abfallsortierung und -verwertung</i>	<i>31</i>
<i>Pilotprojekt von CorPower Ocean zur Erzeugung von Strom aus Wellenkraft mit Generatorbojen</i>	<i>33</i>

Anwesend:**Ausschussmitglieder:**

1. Abg. Marie Kollenrott (GRÜNE), Vorsitzende
2. Abg. Stefan Klein (i. V. d. Abg. Nico Bloem) (SPD) (55. bis 58. Sitzung)
3. Abg. Marcus Bosse (SPD)
4. Abg. Thordies Hanisch (SPD)
5. Abg. Gerd Hujahn (SPD)
6. Abg. Guido Pott (SPD)
7. Abg. Verena Kämmerling (CDU)
8. Abg. Heike Koehler (CDU)
9. Abg. Uwe Dorendorf (i. V. d. Abg. Axel Miesner) (CDU)
10. Abg. Jonas Pohlmann (CDU)
11. Abg. Dr. Frank Schmädeke (CDU) (55. bis 58. Sitzung)
12. Abg. Britta Kellermann (GRÜNE)

Von der Landtagsverwaltung:

Regierungsrätin Lange.

Niederschrift:

Regierungsdirektor Dr. Bäse, Stenografischer Dienst.

Sitzungsdauer:

5. Mai 2025: 17:15 Uhr bis 18:25 Uhr,
6. Mai 2025: 9:35 Uhr bis 17:00 Uhr,
7. Mai 2025: 11:10 Uhr bis 17:05 Uhr,
8. Mai 2025: 10:14 Uhr bis 22:00 Uhr,
9. Mai 2025: 9:48 Uhr bis 16:45 Uhr.

Tagesordnung:

Parlamentarische Informationsreise des Ausschusses für Umwelt, Energie und Klimaschutz

Montag, 5. Mai 2025

Briefing durch die deutsche Botschafterin Dr. Julia Monar

Dr. Julia Monar stellt das semipräsidentielle Regierungssystem Portugals und dessen Parteienlandschaft vor und erläutert die Gründe, die zum Ende der Regierung unter Luís Montenegro und zu den Neuwahlen am 18. Mai 2025 - die zweite Parlamentswahl in 14 Monaten - führten. Sodann geht sie, auch auf Fragen der Abgeordneten **Marcus Bosse** (SPD), **Thordies Hanisch** (SPD), **Marie Kollenrott** (GRÜNE), **Britta Kellermann** (GRÜNE), **Gerd Hujahn** (SPD), **Stefan Klein** (SPD), **Heike Koehler** (CDU) und **Dr. Frank Schmädeke** (CDU), auf verschiedene Aspekte der portugiesischen Politik und Wirtschaft ein:

- Eckpfeiler und Prinzipien der portugiesischen Außenpolitik: EU-Bindung, transatlantische Beziehungen, NATO, Gemeinschaft der Portugiesischsprachigen Länder CPLP
- Wirtschaftliche Situation: Erholung von der Euro- und Corona-Krise, positive Entwicklung der Staatsverschuldung, Bedeutung von VW (zukünftige Produktion des ID. EVERY1), Arbeitslosigkeit (Arbeitslosenquote: 6 bis 7 %, höhere Jugendarbeitslosigkeit)
- Bemühungen zur Förderung junger Menschen, damit sie nicht auswandern
- Wichtigste innenpolitische Themen: Bildung, Wohnen, Soziales
- Erhebliche Bedeutung der erneuerbaren Energien (Wind, Sonne, Wellen) als Standortvorteil auch für neue Ansiedlungen und als zukünftiges Exportgut, zum Beispiel in Form von Wasserstoff; Abschaltung der letzten beiden Kohlekraftwerke bereits 2021
- Nelkenrevolution am 25. April 1974
- Koloniales Erbe und dessen Aufarbeitung
- Entwicklung der rechtspopulistischen (allerdings nicht EU- und Ukraine-feindlichen) Partei „Chega!“ und ihre Themenschwerpunkte
- Blackout am 28. April 2025: Ablauf, Auswirkungen, Folgerungen für Katastrophenschutzvorbereitungen, gerade auch für ein Erdbebenrisikogebiet

Dienstag, 6. Mai 2025

Gespräch mit dem portugiesischen Staatssekretär für Energie Jean Barroca¹

Jean Barroca begrüßt den Ausschuss und stellt nachfolgend aktuelle Arbeitsschwerpunkte vor:

Zwischen Portugal und Deutschland besteht eine privilegierte Kooperation, gerade auch in den Bereichen Umwelt und Energie. Heute werden wir schwerpunktmäßig über Energiefragen sprechen. Ein ganz aktuelles Thema sind die Hochspannungsnetze auf der Iberischen Halbinsel und ihre Anbindung an den Rest Europas.

Wie Sie wissen, finden am 18. Mai in Portugal Parlamentswahlen statt. Im Bereich der Umwelt- und Energiepolitik gibt es allerdings eine ausgeprägte Kontinuität, auch was die Übereinstimmung mit den EU-Zielen zur Dekarbonisierung, der Verminderung der Abhängigkeit von Rohstoffimporten und die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit angeht.

Unsere Energiepolitik ist um drei zentrale Faktoren organisiert:

- Elektronen
- Moleküle
- Bits

Elektronen: Wir streben die Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Quellen, die in Portugal umfangreich zur Verfügung stehen, zu immer höheren Anteilen an. Gleichzeitig investieren wir stark in die Modernisierung und Verstärkung der Stromübertragungsnetze, um den Anforderungen zu entsprechen, die sich aus einer dezentralisierten und ungleichmäßigen Stromerzeugung ergeben.

Moleküle: Dieser Schwerpunkt beschreibt unsere Anstrengungen in Bezug auf Biokraftstoffe, Biomethan sowie Wasserstoff und seine Erzeugung. Dabei geht es auch um den Ersatz fossiler Treibstoffe, bei denen wir von ausländischen Lieferstaaten abhängig sind, durch neue Treibstoffe. Damit werden auch die europäische Industrie und ihre grüne und gerechte Transformation unterstützt.

An der Stelle spielt Deutschland beim Wasserstoff eine wichtige doppelte Rolle: Zum einen kommt Deutschland eine wichtige Rolle als Abnehmer von portugiesischem grünen Wasserstoff zu. Zum anderen ist Deutschland ein wichtiger Lieferant für Wasserstofftechnologie, gerade auch von Elektrolyseuren.

Bits: Hierbei geht es um die digitale Transformation des Energiesektors, die im Hinblick auf Lizensierungen und Erlaubnisse aus unserer Sicht auch ein Teil der Digitalisierung des öffentlichen Sektors ist. Dabei ist auch die digitale Innovation durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz und neuen Analysekonzepten zu sehen, um neue Produkte und Dienstleistungen beim Netzwerkmanagement bereitzustellen; ein sehr wichtiger Aspekt. Dabei kommt es auch auf die Wertschöpfung durch den Einsatz von lokalem Know-how sowie auf die Zusammenarbeit mit anderen EU-Mitgliedstaaten an, um ein komplexes Stromnetz wie das portugiesische zu managen und entsprechend den Anforderungen weiterzuentwickeln.

¹ Vortrag auf Englisch, Aussprache auf Portugiesisch, jeweils mit konsekutiver Dolmetschung

Damit sind Elektronen, Moleküle und Bits die zentralen Säulen zur Erreichung der Ziele in den Bereichen Dekarbonisierung, wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit und Unabhängigkeit.

Es ist mir eine Ehre, dass Sie uns heute besuchen. Der Besuch einer Delegation aus Nordrhein-Westfalen liegt noch nicht lange zurück. Es ist gut, dass sich auf diese Weise weitere Möglichkeiten zur Kooperation unserer beiden Staaten auf der Grundlage der EU-Ziele ergeben.

Auf Nachfragen der Abgeordneten **Marie Kollenrott** (GRÜNE), **Verena Kämmerling** (CDU), **Britta Kellermann** (GRÜNE), **Dr. Frank Schmädeke** (CDU) und **Thordies Hanisch** (SPD) führt der Staatssekretär zu weiteren Themenbereichen im Wesentlichen aus:

Energiemix: Der Nationale Energie- und Klimaentwicklungsplan PNEC 2030 sieht für 2030 einen Erneuerbarenanteil von 51 % am Bruttoendenergieverbrauch vor, davon 29 % für Mobilität und - bereits 2026 - 80 % für Strom. Im Jahr 2030 soll Portugal zu 65 % unabhängig von externen Energiequellen sein.

Grüner Wasserstoff: Die Entwicklung kann auf der Grundlage des PNEC in verschiedene Aspekte untergliedert werden: Erzeugung und Lieferung, Transport, Nachfrage.

- Für die Erzeugung und Lieferung besteht das Ziel, dass der Wasserstoff mit Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt wird. Die entsprechenden Projekte werden ganz wesentlich über die European Hydrogen Bank und den Portugiesischen Wiederaufbau- und Resilienzplan (PRR) finanziert. Da die Wasserstoffproduktion noch nicht wirtschaftlich wettbewerbsfähig darstellbar ist, wird sie über Auktionsverfahren und die Unterstützung energieintensiver Industrien gefördert.
- Für den Transport von grünem Wasserstoff liegen Planungen für eine Verbindung zwischen Portugal und Spanien vor, aber die Verbindung zwischen Spanien und Frankreich ist sowohl wegen technischer Schwierigkeiten - Pyrenäen - als auch wegen politischer Probleme noch nicht planerisch gesichert. Aber erst wenn diese Verbindung verlässlich realisiert werden kann, kann in Portugal im größeren Maßstab investiert werden. Für den Seeweg besteht eine Kooperation zwischen den Häfen Sines und Rotterdam.
- Zur Nachfrage: Portugal strebt eine grüne Industrialisierung an, weshalb in Wasserstoffnetze investiert werden muss; zum Gutteil können moderne Erdgasnetze umgenutzt werden. Später wird dieses Netz ergänzt.
- Solange Exportwege unklar sind, wird sich die Wasserstoffproduktion an dem nationalen Markt ausrichten.

Stromnetzentgelte und Strompreise: Netze müssen dem Land dienen und nicht das Land den Netzen. Die Netze gehören privaten Unternehmen, sind aber durch die staatliche Aufsicht und durch Konzessionen reguliert. Die Stromnetzentgelte werden nach wirtschaftlichen und sozialen Gesichtspunkten differenziert. Wegen des hohen Erneuerbarenanteils sind die Strompreise insgesamt günstig.

Blackout: Die Gründe für den Blackout sind noch nicht bekannt. Alle zuständigen spanischen und portugiesischen Stellen kooperieren für die Ursachenermittlung. Zudem wurde um eine unabhängige Ursachenermittlung gebeten. Die Schlussfolgerungen gilt es abzuwarten.

- Für die Zeit kurz vor dem Blackout, auch t-1 genannt, stellt sich uns die Frage, ob wir in Portugal etwas hätten unternehmen können, um den Blackout zu vermeiden, obwohl die Gründe dafür nicht in Portugal lagen.
- Nach dem Blackout - t+1 - hat es rund zehn Stunden gedauert, bis die Stromversorgung wiederhergestellt war. Auch hierbei stellt sich die Frage, was wir - trotz der exzellenten Zusammenarbeit aller Beteiligten - noch besser hätten machen können.
- Und im Hinblick auf die Ziele für das Jahr 2030 ist zu klären, wie die portugiesischen Netze im Interesse von Versorgungssicherheit, Souveränität, Kostengerechtigkeit und Nachhaltigkeit gestaltet sein müssen.

Herausforderungen bei der Erreichung der Klimaziele ergeben sich sowohl im Bereich Energie als auch im wirtschaftlichen Bereich:

- Im Energiebereich wird aus verschiedenen Gründen nicht in der Geschwindigkeit, die wir uns wünschen, investiert. Gleichwohl setzt Portugal auf die grüne Transformation, wobei die öffentliche Seite, soziale Aspekte, Umweltaspekte und Energieaspekte zu berücksichtigen sind.
- Auch im Wirtschaftsbereich steht für die anstehenden Investitionen nicht genügend Kapital zur Verfügung. Ein wichtiges Instrument hierbei ist der PRR, zum Beispiel für die Beschaffung von Bussen und für Dekarbonisierung. In den letzten Jahrzehnten war die wirtschaftliche Entwicklung Portugals stark vom Tourismus bestimmt. Wir wollen die wirtschaftliche Entwicklung diversifizieren, indem Portugal einen grünen Produktionssektor aufbaut. Das ist auch wichtig, um den Brain Drain der vergangenen Jahre zu stoppen, damit junge Talente im Land bleiben.

Zu Optionen einer vertieften Zusammenarbeit in Wirtschafts- und Umweltpolitik: Aus portugiesischer Sicht ist es von großer Bedeutung, dass der EU-Block zusammenhält, gerade auch angesichts der verschiedenen Herausforderungen, auch im Wettbewerb um Talente und im Verteidigungsbereich - auch wenn der Zusammenhalt in der Vergangenheit in diesen Bereichen hätte besser sein können. Die Welt um Europa herum wird immer komplexer, weshalb eine gute Zusammenarbeit mit Deutschland und den anderen europäischen Staaten von extrem hoher Bedeutung ist.

Im Wirtschaftsbereich sind Investitionen in hiesige Produktionsstätten sehr willkommen. Ansatzpunkte hierfür sind zum Beispiel unsere Lithiumvorkommen. Dabei geht es uns gerade nicht nur um die Gewinnung dieses Rohstoffs, sondern auch um seine Veredelung in nachgelagerten industriellen Prozessen.

Im Energiebereich sind bessere Verbindungen zwischen der Iberischen Halbinsel und den übrigen europäischen Staaten von besonderer Bedeutung. Allerdings möchte Portugal nicht nur ein günstiger Energielieferant sein, sondern auch über eine (Re-)Industrialisierung von günstigen Energiepreisen durch die hier sehr guten Bedingungen - 50 % mehr Sonnenscheinstunden als in Deutschland - profitieren.

Aktuelle Forschungen zur Agrophotovoltaik an der Universität Lissabon - Gespräch mit Professor Miguel Centeno Brito²

Eingangs stellen Professor **Dr. Margarida Santos Reis**, stellvertretende Direktorin der naturwissenschaftlichen Fakultät, und **Dr. Filipe M. Rosas**, Direktor des Geowissenschaftlichen Forschungszentrums Instituto Dom Luis (IDL), die Arbeitsschwerpunkte dieses Forschungszentrums vor, die in den Bereichen Geologie und Lagerstättenkunde, Geophysik, Ozeanografie, Atmosphärenwissenschaften - einschließlich Klimawandel - und Energiewende lägen; auch die sich in diesen Bereichen ergebenden Gefahren würden erforscht.

Anschließend geht Professor **Miguel Centeno Brito** näher auf seinen Arbeitsbereich im IDL, den energiewissenschaftlichen Bereich, ein und erläutert, neben verschiedenen Themen der Solarenergie beschäftigten sich sein Team und er auch mit Fragen der Gebäudebelüftung und Klimatisierung einschließlich des damit einhergehenden Eintrags von Luftschadstoffen - gerade in urbanen Räumen - sowie Lebenszykluskosten von Erneuerbarenanlagen. Ein wesentlicher Teil der Forschungsinfrastruktur bildeten dabei die Energy Labs, zu denen der Solar Campus gehöre.



Kernbereich des Solar Campus mit drei Agri-PV-Anlagenreihen und einer Pflanzung ohne Beschattung durch eine Agri-PV-Anlage links im Hintergrund

Vor Ort stellt er sodann den Solar Campus vor und erläutert das Forschungsvorhaben sowie zentrale Ergebnisse:

Die Versuchsfläche dient sowohl der Lehre als auch der Forschung, zum Teil auch mit außeruniversitären Partnern. Der Schwerpunkt liegt derzeit auf Agri-PV-Anlagen, aber es laufen auch Tests und Versuche zu Druckluftenergiespeicherung.

² Vortrag auf Englisch mit konsekutiver Dolmetschung

Auf der Fläche wird vergleichende Forschung betrieben: Erstens werden verschiedene Module verglichen, zweitens werden seit fünf Jahren die Wechselwirkungen und möglichen Synergien zwischen PV-Modulen und darunter angebauten Pflanzen und weitere damit verbundene Auswirkungen untersucht.

Bei diesen auch von Fraunhofer ISE (Freiburg) inspirierten Versuchen wurde schnell deutlich, dass Agri-PV nicht unbedingt als Kompromiss zwischen Solarenergie und Landwirtschaft zu sehen ist, sondern Synergien gehoben werden können, die beiden Komponenten zugutekommen. PV-Anlagen erzielen durch das von den Pflanzen erzeugte kühlere Mikroklima eine höhere Leistung als zum Beispiel auf Dachflächen, wo die Modultemperatur durchaus 10 °C höher sein kann.

Für Agri-PV-Anlagen spricht ferner, dass der Einsatz beidseitiger PV-Module sinnvoll ist; bei bodennahen Freiflächen-PV-Anlagen ist das allerdings nicht der Fall.

Im Vergleich zu einer bodennahen Freiflächen-PV-Anlage kann mit aufgeständerten Agri-PV-Anlagen auf derselben Fläche bis zu 10 % mehr Strom erzeugt werden. Allerdings sind Agri-PV-Anlagen wegen der Aufständigung und der längeren Kabel teurer.

In Bezug auf die angebauten Pflanzen - kombinierte, zum Teil mehrjährige Kulturpflanzen - werden verschiedene Szenarien untersucht, wofür das Know-how der Agrarökologen der Universität zur Anbauplanung und Produktivitätsmessung herangezogen wird: Keine PV-Anlage als Kontrollgruppe, Pflanzung unter, leicht versetzt zu bzw. neben den PV-Modulen, woraus sich im Tages- und im Jahresgang unterschiedliche Beschattungen und Beschattungsdauern ergeben. Außerdem sollen die Effekte einer Beschattung durch geschlossene PV-Modulreihen bzw. durch unterbrochene PV-Modulreihen untersucht werden, wozu im Jahr 2026 hellgraue Modul-Dummys entfernt werden. Schon jetzt wird deutlich, welche Pflanzen von welcher Art der Beschattung - bis zu 50 % Unterschied - profitieren: Beispielsweise Mais profitiert von Sonne, während Johannisbrot und Bohnen von Beschattung profitieren.

Auf Nachfragen der Abgeordneten **Thordies Hanisch** (SPD), **Britta Kellermann** (GRÜNE) und **Vereena Kämmerling** (CDU) führt Professor **Miguel Centeno Brito** näher zu dem Pflanzenanbau aus und ergänzt, dass Biogasanlagen, für die auf unter Agri-PV-Anlagen grundsätzlich Biomasse angebaut werden könne, in Portugal bislang nur als Pilotanlagen betrieben würden.

Das Projekt sei auch aus agrarökologischer Sicht interessant, weil die Biodiversität unter den PV-Anlagen höher sei. Die Beschattung Sorge auch dafür, dass der Wasserbedarf der Pflanzen bei zum Teil sogar besserem Wachstum niedriger sei. Modellrechnungen zeigten, dass der Bewässerungsbedarf um bis zu 80 % geringer sei. Vor diesem Hintergrund würden auch unterschiedliche Bewässerungstechniken erprobt.

Auf Nachfrage von Abg. **Marie Kollenrott** (GRÜNE) erläutert Professor **Miguel Centeno Brito**, dass Wirtschaftlichkeitsfragen ab 2026 betrachtet werden sollten. Schon jetzt sei aber klar, dass Agri-PV-Anlagen nicht nur für ein besseres Pflanzenwachstum entsprechender Arten sorgen, sondern auch landwirtschaftliches Einkommen durch Diversifizierung absicherten. Die Weinbranche sei zudem an Agri-PV interessiert, weil durch die Beschattung negative Effekte durch den Klimawandel auf das Traubenwachstum und auf die Traubenreife ausgeglichen werden könnten.

Grundstrukturen und Umsetzung des Generalentwässerungsplans Lissabon - Gespräch mit Tiago Andrade de Gomes, leitender Ingenieur, und Baustellenbesuch³

Tiago Andrade de Gomes stellt die Strukturen, Planungen und Arbeiten zur Umsetzung des Generalentwässerungsplan Lissabon (Lisbon Drainage Master Plan) anhand einer Präsentation ([Anlage 1](#))⁴ vor. Die Kernelemente der Strategie seien für 100-jährige Niederschlagsereignisse ausgelegt und umfassten

1. die Möglichkeit, große Niederschlagsmengen in zwei Senken zu erfassen (Grafik 7),
2. die Ableitung dieser Wassermassen durch unterirdische Speicherkavernen und Tunnel (ab Grafik 10),
3. die Aufwertung des bestehenden Abwassernetzes (Grafik 8) und
4. die Erfassung und das Monitoring dieses Netzwerks (Grafik 9), auch per BIM.

Anschließend geht er anhand der Grafiken 10 bis 36 näher auf die

- grundsätzliche Funktion der Speicherkavernen,
- das Zusammenspiel mit bestehenden Abwasserbehandlungsanlagen,
- den Bau der Tunnel mit einem Durchmesser von 5,5 m und
- die Bauwerke zur Einleitung der über die Tunnel abgeführten Niederschläge in den Tejo

ein. Anhand der Grafik 37 informiert er näher über Bauzeiten - September 2022 bis drittes Quartal 2026 -, baubegleitende Herausforderungen und Kosten - knapp 250 Mio. Euro.

Auf Nachfragen der Abgeordneten **Britta Kellermann** (GRÜNE), **Heike Koehler** (CDU) und **Thor-dies Hanisch** (SPD) erläutert **Tiago Andrade de Gomes**, Retentionsflächen jenseits der Lissaboner Stadtgrenzen könnten nicht genutzt werden, da es sich um ein Projekt der Stadt Lissabon handle. Jedoch würden auch Grünflächen und neue Versickerungsmöglichkeiten zum Beispiel auf Parkplätzen in das Gesamtkonzept einbezogen. Leider könne das Starkregenniederschlagswasser nicht sinnvoll aufgefangen und genutzt werden, da es meist deutlich belastet sei. Von daher sei es Teil des Konzepts, die besonders stark belasteten ersten Wassermassen in den Kavernen zu erfassen und zu reinigen, während die weiteren und weniger belasteten Wassermengen durch die Tunnel direkt in den Tejo geleitet würden. Mit Starkregenereignissen in einem stark versiegelten urbanen Raum ergäben sich Anforderungen an die Wasserzischenspeicherung und -ableitung, die mit naturnahen Gewässern auf dem zur Verfügung stehenden Platz nicht verwirklicht werden könnten.

Abschließend besichtigt der **Ausschuss** die Baustelle zur Errichtung des auf den Grafiken 22 und 23 dargestellten Kavernengebäudes - 16 400 m³ Speichervermögen; bei einem Starkregenereignis in 15 bis 20 Minuten gefüllt - mit dem Anschluss an den Hauptsammler zu einer bestehenden Abwasseraufbereitungsanlage und dem Ansatz für den TMSA-Tunnel, den längeren der beiden Tunnel zur Direkteinleitung in den Tejo.

³ Vortrag auf Portugiesisch mit konsekutiver Dolmetschung

⁴ Diese und alle weiteren Anlagen zur Niederschrift sind aufgrund ihrer Dateigröße separat mit den Sitzungsunterlagen des Ausschusses für Umwelt, Energie und Klimaschutz im Intranet des Landtags verfügbar.

Mittwoch, 7. Mai 2025

Hybrid betriebene Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energie: Das Beispiel der Floating-PV-Anlage auf dem Pumpspeicherkraftwerksee Alqueva⁵

Gesprächspartner:

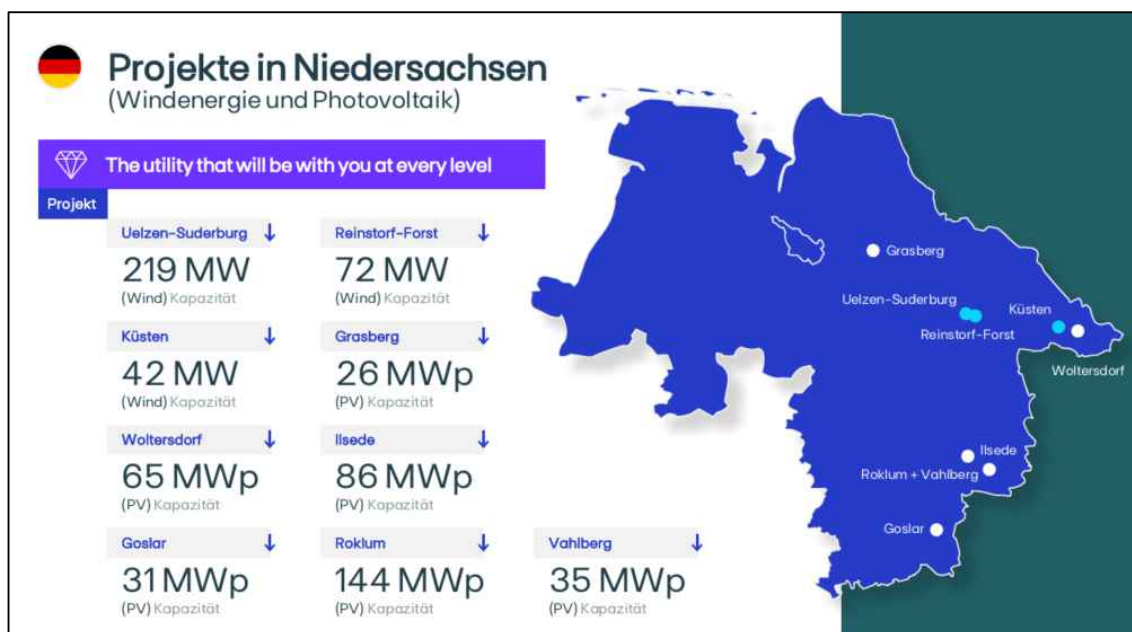
- Juan Baltazar, edp Portugal, verantwortlich für Wasserkraftwerksbetrieb in Alqueva
- Pedro Miguel Oliveira, Head of Innovation, edp Produção
- Bastian Dittrich, Head of BU Wind (edp Renewables Germany)

Juan Baltazar und **Bastian Dittrich** stellen zusammen mit weiteren Mitarbeitenden von Energias de Portugal SA (edp) anhand einer Präsentation ([Anlage 2](#)) die weltweiten Aktivitäten ihres Unternehmens vor (Grafik 5) und gehen auf der Grundlage der Grafik 6 näher auf

- hybride Erneuerbarenanlagen,
- Repowering,
- Stromspeicherung und
- Wasserstoff

ein. Anschließend vertiefen sie diese Ausführungen (Grafiken 7 und 8) anhand von Zielbeschreibungen - auch zur Reduktion von Treibhausgasemissionen - und wirtschaftlichen Kennziffern. Ferner werden die Entwicklung der edp im Heimatmarkt Portugal seit 1994 und die wesentlichen Herausforderungen (Grafiken 9 bis 11) näher beschrieben.

Sodann stellt Herr Dittrich die Entwicklung, das Wachstum und die regionale Ausrichtung der edp-Aktivitäten in Deutschland dar (Grafiken 12 bis 17), die ihren Ausgangspunkt in dem Einstieg der edp beim Münchner Solarpark-Entwickler Kronos Solar genommen habe. Dabei agiere die edp als Projektentwickler, Bauverantwortlicher und Betreiber, trete also als langfristig engagierter Akteur auf.



⁵ Vorträge auf Portugiesisch mit konsekutiver Dolmetschung und Deutsch

Er geht dabei anhand der (vorstehend eingefügten) Grafik 15 näher auf Windenergie- und PV-Projekte in Niedersachsen ein und weist darauf hin, dass gerade der deutsche Windenergiemarkt für ausländische Unternehmen nur schwierig zu betreten sei. Noch wichtiger als in anderen europäischen Erneuerbarenmärkten sei es in Deutschland, die Stakeholder bei einem Projekt frühzeitig zu beteiligen.

Ausführlich berichtet er über das Projekt Uelzen-Sudenburg, das derzeit umgesetzt werde und auf eine ungewöhnlich positive Resonanz vor Ort gestoßen sei; auch die Anbindung ans Stromnetz sei dort vergleichsweise einfach.

Abschließend gehen die edp-Vertreter vertieft auf die Hybridisierung von Standorten zur Erzeugung erneuerbarer Energien ein. Darunter sei die Ergänzung zum Beispiel eines Windenergiestandorts um Freiflächen-PV-Anlagen zu verstehen, um bereits erschlossene Flächen mit ihren Netzanschlüssen intensiver zu nutzen. Erfahrungsgemäß schwanke die Stromproduktion beider Technologien im Tages- wie im Jahresgang unterschiedlich, sodass sie sich im Sinne einer möglichst gleichmäßigen Stromerzeugung und Netzauslastung gut ergänzten.

Die edp betreibe bereits diverse hybride Erneuerbarenanlagen (fast 1 GW Erzeugungsleistung), zum Beispiel in Spanien, in Polen und in den USA, wo Wind und Solar kombiniert würden, aber auch in Singapur, wo PV-Anlagen mit einer Großbatterie gekoppelt seien. Am hiesigen Standort Alqueva werde der Stausee mit einer 4 ha großen Floating-PV-Anlage kombiniert. Diese Erfahrungen sollten auch in Deutschland eingesetzt werden; zum Beispiel werde auch am Standort Uelzen eine Hybridisierung vorgesehen.

Mit Erneuerbaren-Hybridprojekten seien besondere Herausforderungen verbunden, die von den Vorteilen aber mehr als ausgeglichen würden. Zu den Herausforderungen zählten die Wahl geeigneter Standorte, die für beide Erzeugungstechnologien gleich gut geeignet seien. Für eine nachträgliche Hybridisierung bestehender Standorte eigneten sich Windparks besonders gut, weil dann bereits Flächen und Netzanschlüsse vorhanden seien und weil die Hürden für die Errichtung von Freiflächen-PV-Anlagen niedriger seien als für Windenergieanlagen; das gelte auch für Deutschland.

Abg. **Britta Kellermann** (GRÜNE) wendet ein, mit einer solchen Hybridisierung von Windparks auf landwirtschaftlichen Flächen gingen wertvolle Flächen für die Landwirtschaft verloren; gerade Niedersachsen verfüge über sehr ertragreiche Agrarstandorte. - Abg. **Marie Kollenrott** (GRÜNE) verweist auf die Diskussion zur Sicherung hochwertiger Agrarstandorte für die Lebensmittelproduktion, sodass die Hybridisierung bestehender Windenergiestandorte sicherlich nicht überall in Betracht komme. - Das sei für das südliche Niedersachsen auf jeden Fall richtig, räumt **Bastian Dittrich** ein, aber am Standort Uelzen bestehe eine andere Lage. Er erläutert, bei der Hybridisierung eines Windparks komme es nicht darauf an, die PV-Anlagen direkt unter den Windenergieanlagen aufzustellen - auch wenn das möglich sei, so zum Beispiel in einem früheren Tagebau in Ostdeutschland -, sondern darauf, durch die Wahl eines relativ nahen Standorts den bestehenden Netzanschluss mitnutzen zu können. Auf diese Weise könnten die ehrgeizigen deutschen PV-Ziele leichter erreicht werden. In diesem Zusammenhang seien auch erste Agri-PV-Projekte von Kronos Solar von Interesse. Und durch die gemeinsame, sich gegenseitig ergänzende Flächennutzung und Einspeisung würden Erneuerbarenziele effizienter erreicht.

Abg. **Thordies Hanisch** (SPD) erkundigt sich, ob Hybridanlagen mit Speicher - zum Beispiel PV und Speicher - aus einem Eigeninteresse des Unternehmens oder in Reaktion auf direkte oder indirekte Förderungen - beispielsweise über entsprechende Vergütungsmodelle - errichtet und betrieben würden. - **Bastian Ditttrich** erläutert, aus der Unternehmenssicht gebe es ein überwiegendes wirtschaftliches Interesse an der Kombination von PV- und Windenergieanlagen mit Speichern, weil diese Kombination einen besseren Betrieb ermögliche. An sonnenreichen Tagen sei in der Mittagszeit auch in Deutschland damit zu rechnen, dass tendenziell zu viel Strom erzeugt werde. Dieser Mittags-Peak könne mit den Speichern auf spätere Stunden verlagert werden. Insofern sei die Diskussion, ob ein Speicher ein Produzent oder ein Verbraucher sei, unsinnig - ein Speicher sei eine eigene Kategorie. Hinzu komme, dass auch jetzt noch im PV- und Windenergiebereich Subventionen genutzt werden könnten. Außerdem gingen die Kosten für Speicher derzeit zurück. Daraus ergebe sich eine für die edp interessante Gesamtsituation, wobei dieses Unternehmen davon profitieren könne, dass es sowohl Entwickler als auch Betreiber sei. Entscheidend für jede Hybridisierung sei die gleichmäßigere Energielieferung und die bessere Ausnutzung von Netzanschlüssen.

Pedro Miguel Oliveira informiert, in Portugal gebe es 50 Wasserkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 5 GW; die Hälfte der Kraftwerke sei als Pumpspeicherkraftwerke ausgelegt. Anschließend stellt er die Anlage in Alqueva vor, die mehreren Zwecken diene:

1. Bereitstellung von Trinkwasser,
2. landwirtschaftliche Bewässerung und
3. Energieversorgung mit Pumpspeicherkraftwerk, um von hohen Preisen im Tagesgang profitieren zu können, ohne dass Wasser für die beiden primären Nutzungen verlorengehe.

Auch am Standort Alqueva werde eine Hybridanlage betrieben:

- 510 MW Pumpspeicherkraftwerk,
- 5 MW Floating-PV (angelegt als Pilotprojekt) mit einer 2-MWh-Lithiumbatterie und
- 190 MW Freiflächen-PV.

Die edp habe eine regierungsseitige Ausschreibung gewonnen und werde die Anlage bis 2028 um je 70 MW Erzeugungsleistung mit Floating-PV und Windenergieanlagen ergänzen. Das Projekt werde auch durch EU-Horizon-Mittel gefördert.

Anschließend erläutert Herr Oliveira im Vortrag und vor Ort technische und betriebliche Aspekte der 4 ha großen Floating-PV-Anlage:

- Verankerung der Anlage mit elastischen Seilen (um Schwankungen des Wasserstands um bis zu 23 m auszugleichen) unter Nutzung eines innovativen Systems mit Hochleistungsbeton am Seeboden
- Ausrichtung der geeigneten PV-Paneele in Ost-West-Richtung zur Verminderung des Winddrucks; dadurch auch verbesserte Selbstreinigung
- Verwendung von Recycling-Kunststoff und Kork für die Pontons; dadurch Verminderung des CO₂-Fußabdrucks um 30 %
- Reinigung der PV-Paneele durch Roboter
- Die Floating-PV-Anlage werde von Vögeln als Rückzugsraum genutzt, wodurch der Reinigungsbedarf höher sei als ursprünglich geplant.

Évora Molten Salt Platform (EMSP): Forschungs- und Entwicklungsprojekt zur Gewinnung und Speicherung von Energie mit dem Medium Salzschnmelze⁶

Gesprächspartner:

- Dr. Pedro Horta, Institut für erneuerbare Energien der Universität Évora und der für EMSP verantwortliche Forschungsgruppenleiter
- Mirko Meyer-Grünefeldt, Institut für Solarforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt
- Paula Martins, Universität Évora

EMSP NUCLEAT ION

JOINT RESEARCH
INFRASTRUCTURE

Évora Molten Salt Platform (EMSP) aims at the development of research in molten salt-driven CSP, SHIP and thermal storage components, systems and technologies.

Research infrastructure jointly managed and operated by the Renewable Energies Chair of the University of Évora and the German Aerospace Center (DLR, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt).

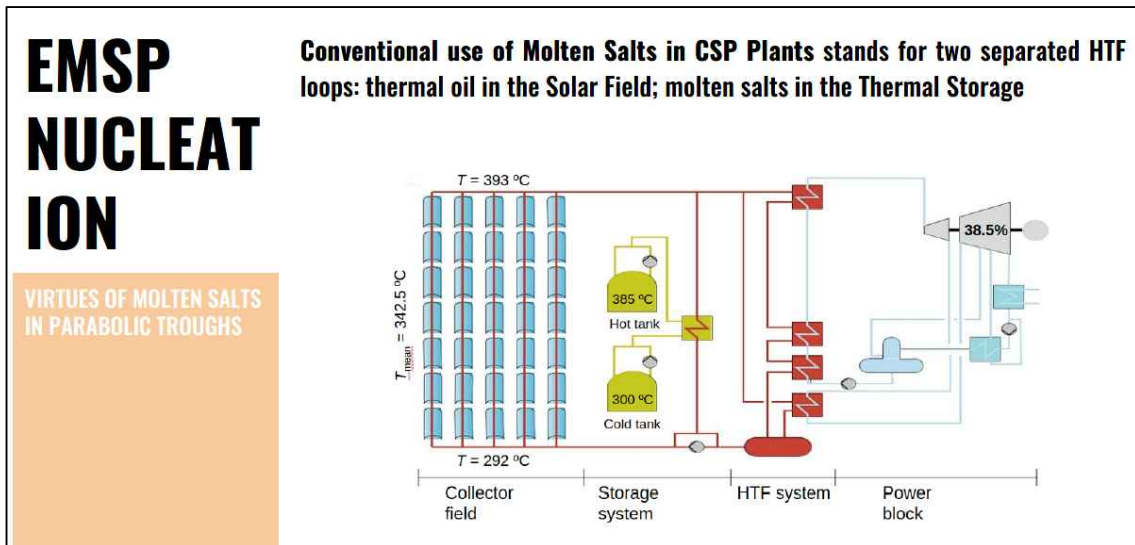
Steering Committee
Dr. Pedro Horta, University of Évora
Dr. Janka Stengler, DLR

Management Board
Paula Martins, University of Évora
Mirko Meyer-Grünefeldt, DLR

Dr. Pedro Horta stellt die Forschungsaktivitäten an der EMSP vor und führt hierzu im Wesentlichen wie folgt aus: Die Molten Salt Platform gehört zur nationalen portugiesischen Forschungsinfrastruktur und ist Teil des EU-Forschungsinfrastruktur-Konsortiums EU-Solaris, das sich mit Solarwärmekraftwerken (CSP, Concentrated Solar Power) und solarthermischer Energie (Solar Thermal Energy) beschäftigt. Hier in Évora beschäftigen wir uns mit der Anwendung von geschmolzenem Salz als Wärmetransport- und Speichermedium. Die EMSP wird von der Universität Évora und dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) getragen.

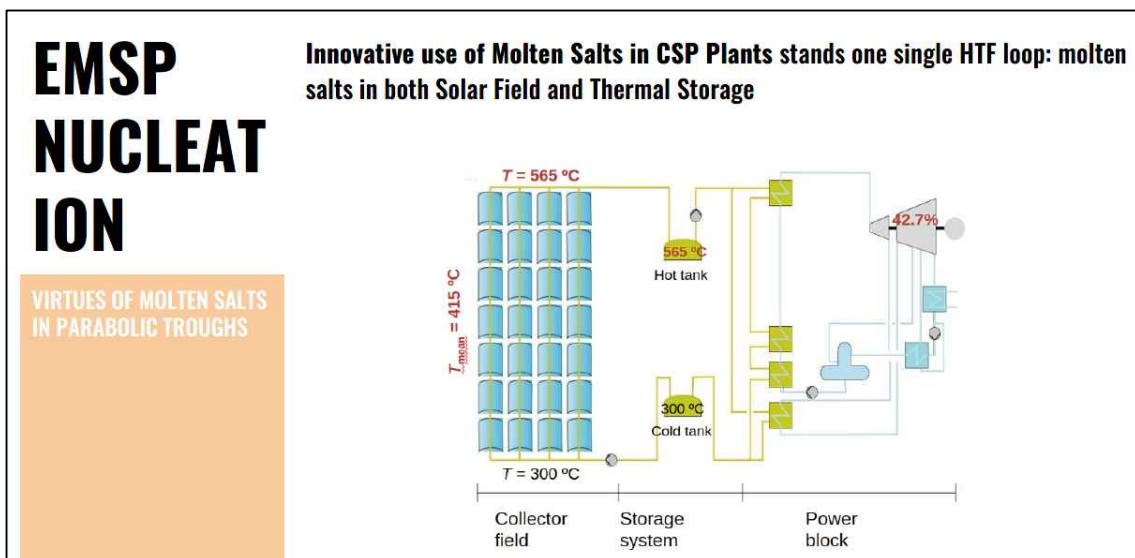
Zur Entstehung dieses Projekts: Im Jahr 2010 nahm Siemens Energy ein innovatives Projekt zu einem Solarwärmekraftwerk unter Nutzung von Parabolspiegeln und Salzschnmelze als Medium auf. Mittlerweile geht es unter anderem auch um die solare Prozesswärme (SHIP, Solar Heat for Industrial Processes).

⁶ Vortrag auf Deutsch



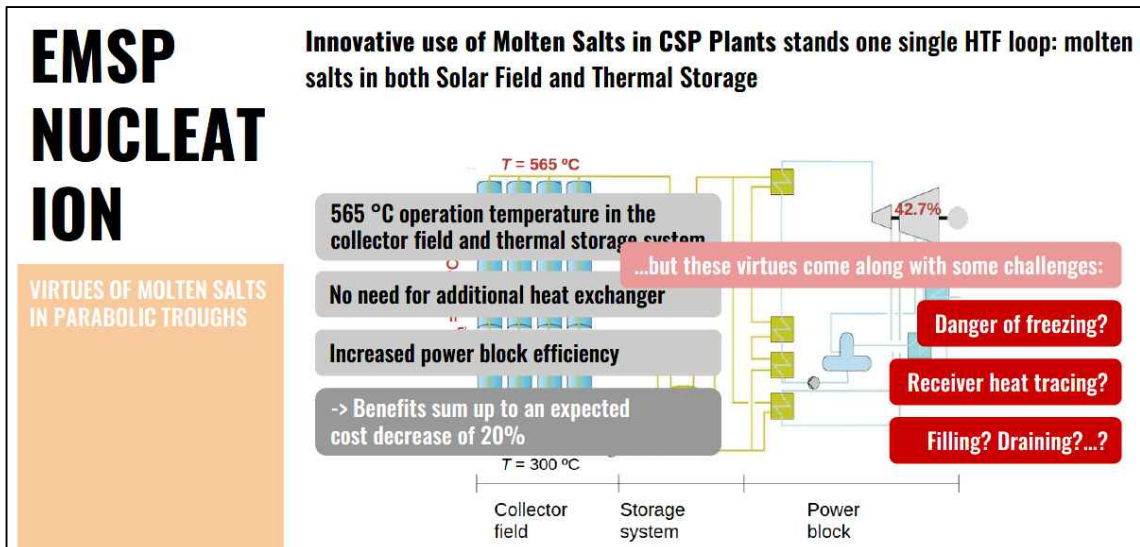
Den Ausgangspunkt bildete die Arbeit mit zwei separierten Kreisläufen für zwei Wärmetransportmedien (HTF, Heat Transfer Fluid): Thermo-Öl und Salzschnmelze. Das ist die konventionelle Anlagenbauweise. Hierbei wird ein Wärmetransfer (im HTF-System) zwischen beiden Kreisläufen benötigt.

Durch die Nutzung von Thermo-Öl ist die Temperatur auf 393 °C begrenzt. Daraus ergibt sich, dass der angeschlossene Generator Strom mit einer Effizienz von 38,5 % arbeiten kann.



Jetzt arbeiten wir mit einem innovativen Anlagendesign: Es gibt nur einen Kreislauf und nur ein Wärmetransportmedium, nämlich geschmolzenes Salz. Damit werden das Kollektorenfeld, der Speicher und der Wärmetauscher für den Generator direkt miteinander verbunden.

Damit ist es möglich, das Wärmetransportmedium in der Kollektoranlage nicht nur auf 393 °C, sondern auf 565 °C zu erhitzen. Daraus ergeben sich Vorteile im thermodynamischen Block, wo die Wärme mittels konventioneller Technik in Strom umgewandelt wird; denn er erreicht hiermit einen Effizienzgrad von 42,7 %. Außerdem kann auf den Wärmetauscher zwischen den beiden Kreisläufen verzichtet werden. Wir gehen davon aus, dass sich durch diese Systemvereinfachung die Kosten um rund 20 % senken lassen.



Mit dieser Entwicklung sind auch einige Herausforderungen verbunden, an denen wir arbeiten; denn die Handhabung einer solchen Salzschnmelze ist nicht einfach.

Mirko Meyer-Grünefeldt: Daran erkennen Sie, dass Forschung und Entwicklung noch nicht abgeschlossen sind. Die Handhabung der Salzschnmelze ist nicht einfach, und es besteht die Gefahr des Einfrierens der Salzschnmelze. Vor diesem Hintergrund, aber auch für die Energiespeicherung arbeiten wir mit Siemens an einem Erhitzer für die Salzschnmelze.

Dr. Pedro Horta: Für besonders interessant halte ich die Speicherfunktion, die mit großen Anlagen realisiert wird. Dafür werden keine kritischen Materialien benötigt, also auch kein Lithium. Ich halte diesen Gesichtspunkt für uns Europäer für sehr wichtig. Ich sehe darin eine gute Antwort auf die Herausforderungen sowohl der Energiewende als auch bezüglich der Verringerung der kritischen Abhängigkeit von anderen Regionen der Welt.

Welche Ziele verfolgen wir bei unserer Forschungs- und Entwicklungstätigkeit?

RESEARC H TARGETS

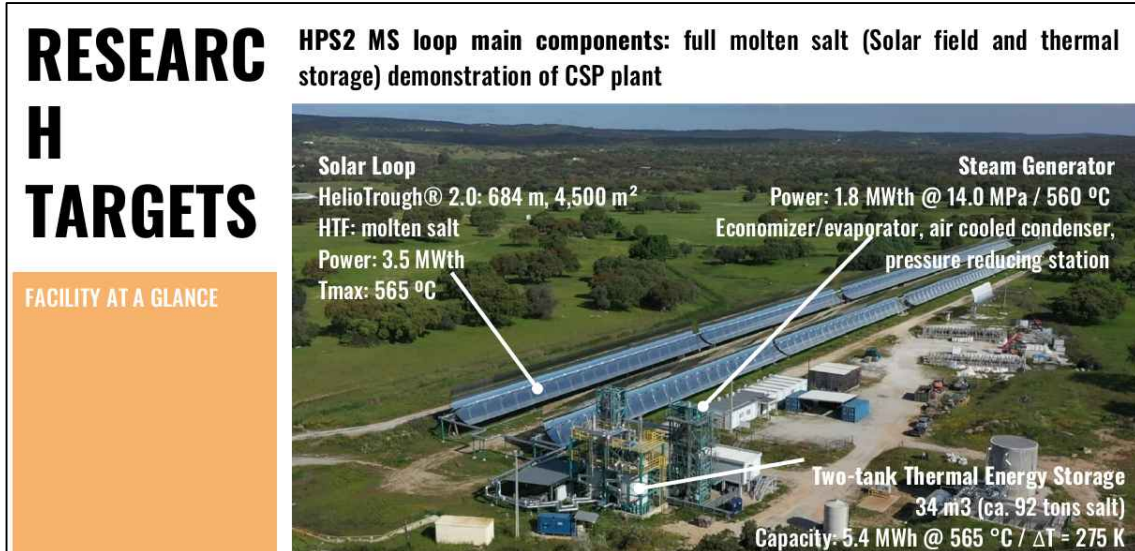
Our joint research targets: tackling stakeholders' major concerns

- Develop safe and reliable molten salt operation procedures
- Evolve improved control strategies
- Analyze degradation, corrosion and failure mechanisms

→ Transfer research results to commercial applications

ERECTION OF A RESEARCH INFRASTRUCTURE

Es gibt viele technische Fragen zu beantworten. So geht es darum, die Salzsammelze sicher und zuverlässig in großen Kreisläufen und Anlagen zu handhaben. Ferner sind verbesserte Regelungs- und Kontrollstrategien zu entwickeln. Aber auch Verschleiß, Korrosion und Mängel sind zu verstehen. Das Ziel ist, die Forschungsergebnisse für Anwendungen in der Wirtschaft bereitzustellen und zu übertragen.



Dieses Luftbild gibt einen Überblick über die gegenwärtig eingesetzten Anlagen: die Parabolspiegel, der Speicher und der Dampferzeuger. Diese Anlagen sind das Ergebnis einer intensiven Zusammenarbeit auch mit deutschen Unternehmen. Der Speicher hat eine energetische Kapazität von 5 MWh (thermisch), woraus sich derzeit etwa 1,5 MWh Strom erzeugen lassen.



Seit dem Oktober 2021 haben wir etwas mehr als 6 000 Stunden Betriebserfahrung mit der Anlage gesammelt; wir sind also noch etwas weiter, als diese Grafik besagt. In dieser Zeit haben wir mit verschiedenen Salzmischungen und unterschiedlichen Betriebsvarianten gearbeitet. Auf diese Weise haben wir viel Erfahrung im Umgang mit geschmolzenem Salz für Solaranwendungen gesammelt, auch im europäischen und weltweiten Vergleich. Diese Kooperation deutscher und portugiesischer Partner war also sehr erfolgreich.

ACHIVEMENTS

CSP AND BEYOND

Large-scale test site for molten salt research and demonstration part of ERIC EU-SOLARIS hosts several new projects and undergoes major upgrades

- BMWK_MSOpera: Plant operation with Solar Salt
- CSP-EraNET_EuroPatMoS: Control concept, digital twin implementation
- CSP-EraNET_ADVIA MOS: Steam generator performance
- EU SolarSCO2OL: Electric heater and sCO₂ turbine demonstration

- Replacement of steam generator feedwater pump
- Expansion of the electrical capacity to 3 – 5 MW scale

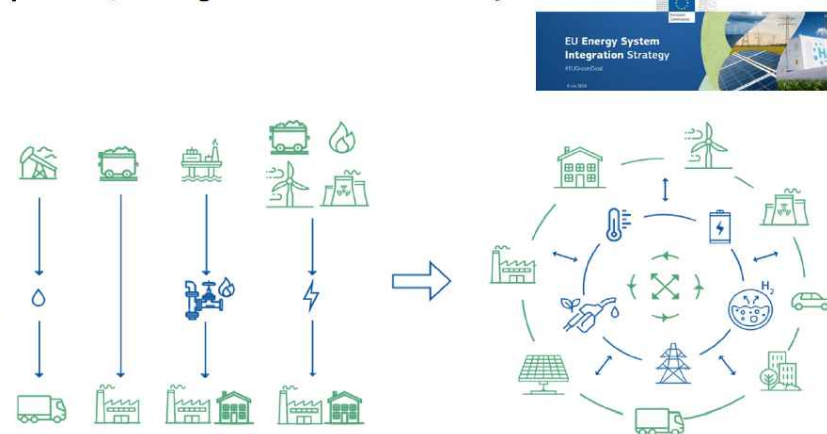
Auf der Grundlage dieser Infrastruktur haben wir in den zurückliegenden Jahren eine ganze Reihe weiterer Projekte und Aktivitäten entwickelt. So wird die Dampfgeneratoreinheit verbessert und ein neuer Generator gebaut. Bislang leistete der Generator 0,8 MW; der neue soll 3 bis 5 MW leisten.

Damit komme ich zu den zukünftigen Einsatzmöglichkeiten von geschmolzenem Salz im Energiesystem. Aber werfen wir zunächst einen Blick auf das bisherige Energiesystem, in dem jeder Verbraucher im Prinzip über einen separaten Energieträger verfügt:

MOLTEN SALTS IN FUTURE ENERGY SYSTEM

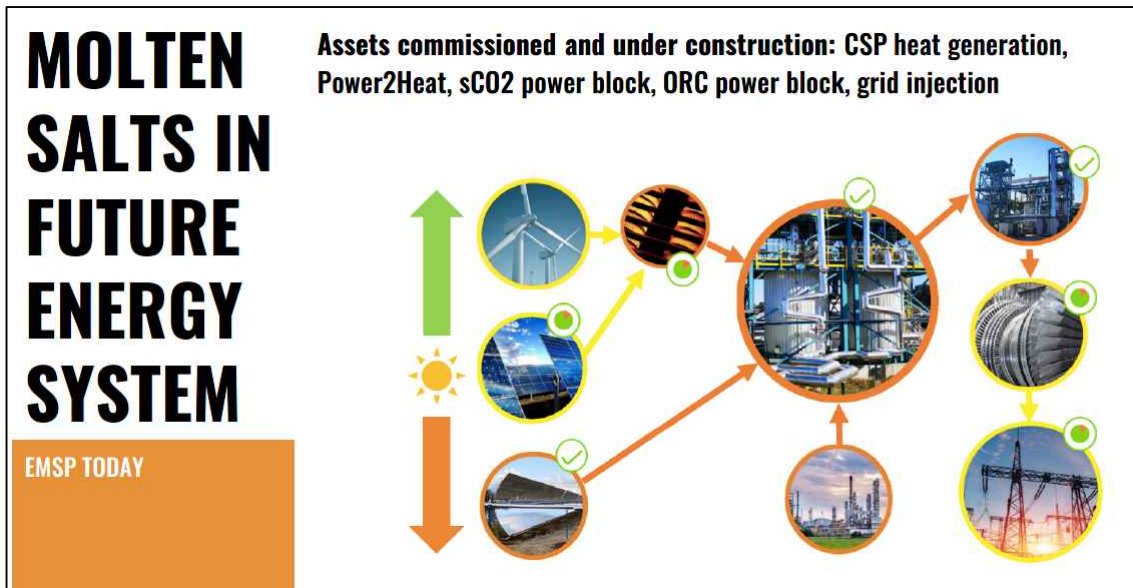
EU VISION

Future EU integrated energy system: energy flows between users and producers, reducing wasted resources and money



Erdöl dient also ganz überwiegend der Mobilität, Kohle der Stromerzeugung und manchen Industriebereichen, Erdgas der Wärme in Haushalten und der Industrie; hinzu kommen weitere Formen der Elektrizitätserzeugung für Gewerbe, Industrie und Haushalte.

Auf der rechten Seite sehen Sie das neue Energiesystem, das sich mit der Energiewende durch die Sektorenkopplung entwickelt. Dabei sind die Energieträger miteinander verbunden, da sie umgewandelt werden können. Auf diese Weise können erneuerbare Energien für alle Anwendungen genutzt werden.



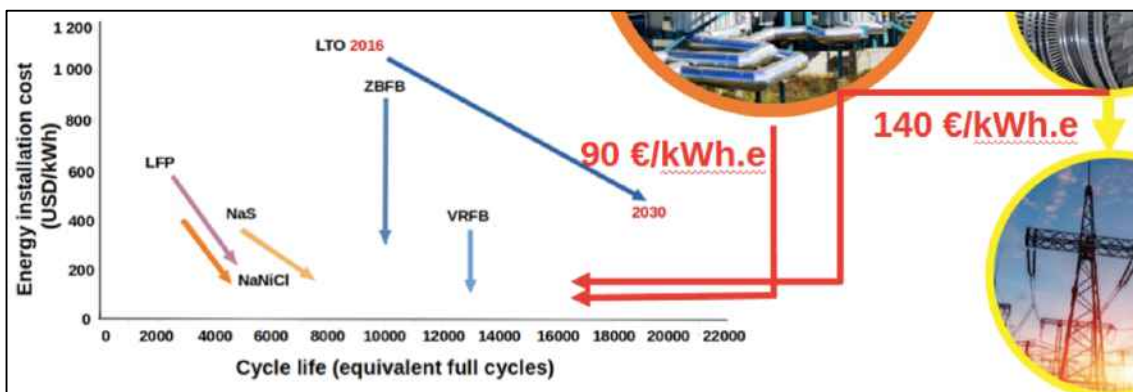
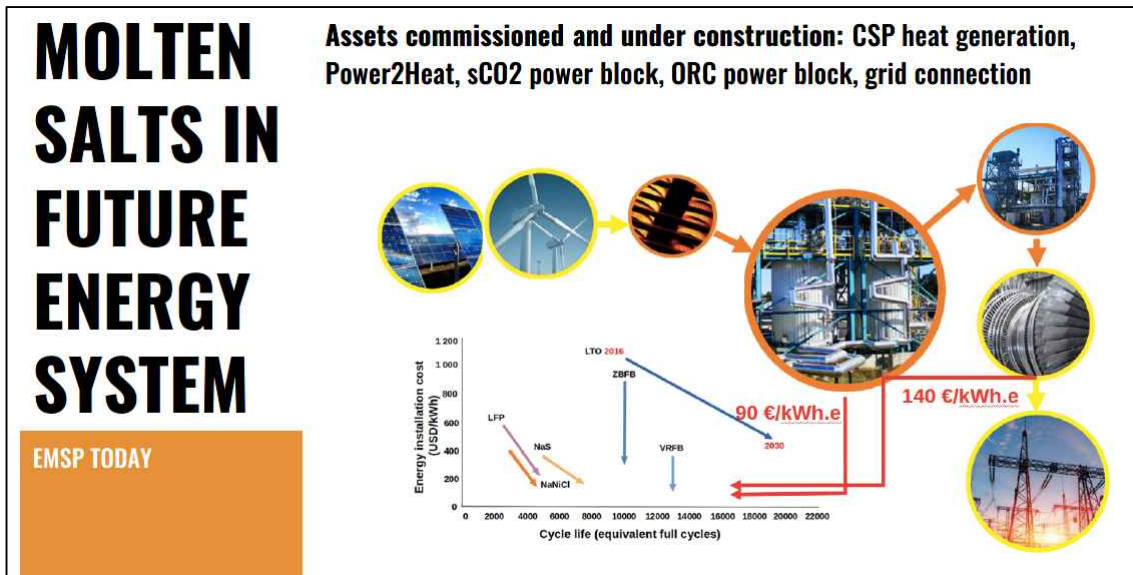
Genau das möchten wir mit unseren neuen Projekten demonstrieren. Mit jedem neuen Projekt wird eine neue Komponente in dieses „Puzzle“ eingefügt, und es ergeben sich dabei jedes Mal neue Verbindungen.

Der Kopf oder das Zentrum dieser Energiestruktur ist der Energiespeicher. Bislang wurde die Wärme mit den Parabolspiegeln (links unten) erzeugt und dem Speicher zugeführt. Aber auch mit Strom aus PV- und Windenergieanlagen kann Wärme erzeugt (Power2Heat; links oben) und dann eingespeichert werden. Aber auch die Abwärme aus Industrieanlagen (unten) kann eingespeichert werden.

Anschließend wird diese Wärme einem Dampfgenerator zugeführt, der den Dampf für eine Turbine zur Stromerzeugung liefert - das sehen Sie auf der rechten Seite.

Das ist faktisch eine Batterie: Sowohl „vor“ als auch „nach“ dem Wärmespeicher wird mit Strom gearbeitet.

Dieses Verfahren ist unter thermodynamischen Gesichtspunkten nicht sehr effizient - aber es geht nicht um Energieeffizienz, sondern um Wirtschaftlichkeit: Am Markt wird das System eingesetzt, das bei ähnlicher Qualität billiger ist.



(Ausschnittvergrößerung; LFP = Lithium-Eisenphosphat-Batterie, NaS = Natrium-Schwefel-Batterie, NaNiCl = Natrium-Nickelchlorid-Batterie, LTO = Lithium-Titanoxid-Batterie, ZBFB = Zink/Brom-Flow-Batterie, VRFB = Vanadium-Redox-Flow-Batterie)

Wir sehen ein erhebliches ökonomisches Potenzial für dieses Konzept, weil sich in der Kombination dieser Komponenten Anlageninstallationskosten von 90 Euro/kWh (elektrisch) erreichen lassen. Voraussetzung ist, dass ein großer Speicher zur Anwendung kommt. Dieser Preis liegt erstens unter der für die Lithium-Technologie, und zweitens werden keine kritischen Rohstoffe benötigt; denn gerade Lithium ist in Europa ein recht seltener Rohstoff. Das ist auch im Hinblick auf die Wertschöpfungskette interessant.

Bei diesem Konzept kann konventionelle Kraftwerkstechnik nach einer technischen Aktualisierung weitergenutzt werden, auch zum Beispiel aus der Kohleverstromung.

Abg. **Gerd Hujahn** (SPD): Wie lange kann die Wärme in Form der Salzschnmelze gespeichert werden? Und wie weit kann diese Technik herunterskaliert werden?

Abg. **Britta Kellermann** (GRÜNE): Ab welcher Größe ist der Einsatz dieser Technologie sinnvoll?

Dr. Pedro Horta: Eine lange Speicherung kann über das Speicherdesign ermöglicht werden. Eine Speicherung über zwei Tage ist genauso wie über zwei Wochen möglich. Dabei kommt es aber

auf die Anlagengröße an. Eine Anwendung zum Beispiel in einem Einfamilienhaus ist grundsätzlich möglich, aber nicht zu diesem Preis; denn diese Komponenten sind für kleine Systeme viel zu teuer. Das Konzept zielt also auf eine großtechnische Anwendung in Energiesystemen ab, also im größeren Megawatt- und Gigawattbereich.

Erfahrungen mit Flüssigsalzspeichern in dieser Größenordnung gibt es bereits, zum Beispiel in Spanien.

Abg. **Britta Kellermann** (GRÜNE): Als Abnehmer dieser Wärme kämen also auch Industrieunternehmen mit hohem Wärmebedarf, zum Beispiel Glashersteller, infrage?

Abg. **Gerd Hujahn** (SPD): Oder auch Wärmenetze?

Dr. Pedro Horta: Genau, beides! Wärmenetze spielen in Deutschland eine wichtige Rolle, in Portugal nicht.

Auf die konkurrenzfähigen Kosten und den Verzicht auf kritische Rohstoffe als Vorteile bin ich schon eingegangen, aber es gibt noch einen dritten: Solche Speicher können fast überall errichtet werden. Ein Stausee bzw. ein Pumpspeicherkraftwerk kann nur an topografisch usw. geeigneten Stellen errichtet werden. Ein Flüssigsalz-Thermalspeicher kann überall errichtet werden. Sie können also dort errichtet werden, wo sie besonders netzdienlich sind. Wie Sie wissen, sind Investitionen in Stromnetze sehr kostspielig.

Abg. **Thordies Hanisch** (SPD): Die Speicherung von Wasserstoff in Kavernen ist ein wichtiges Thema für uns. Hierbei sind Herausforderungen in den Bereichen der Sicherheit und der Effizienz zu bewältigen. Können Sie sagen, wie hoch die Effizienz der Rückverstromung von grünem Wasserstoff ist?

Dr. Pedro Horta: Die Effizienz der Erzeugung von Wasserstoff mit Elektrolyseuren mit Strom - nur dieser Teil - liegt derzeit bei 60 bis 70 %. Zusätzlich ist die Effizienz der Rückverstromung in einer Brennstoffzelle zu sehen, die ebenfalls bei rund 60 % liegt. Nur mit diesen beiden Werten kommt man zu einer Gesamteffizienz von rund 40 %. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass Kavernenspeicher nicht überall errichtet werden können.

Entscheidend ist aber die Frage, was am Ende eine Kilowattstunde Strom kostet. Und wir meinen, dass dieses Konzept eines Thermalspeichers mit geschmolzenem Salz auch in der Hinsicht sehr interessant ist. Hinzu kommt: Hier in Europa haben wir die Industrie, die Erfahrung und die Materialien, die hierfür benötigt werden. Und diese Anlagen können fast überall gebaut werden.

Abg. **Gerd Hujahn** (SPD): Und im Gegensatz zur Energiespeicherung mit Wasserstoff wird kein hochreines Wasser benötigt - und Wasser wird allmählich knapper. Hochwertiges Wasser aus dem Prozess der Energiespeicherung herauszuhalten, ist mehr als sinnvoll. Denn es wird ja auch als Trink- und Beregnungswasser usw., aber auch für industrielle Prozesse wie die CO₂-neutrale Stahlherstellung benötigt.

Dr. Pedro Horta: Wir haben hier in Portugal auch zur Wasserstofferzeugung und -nutzung geforscht. Wir haben mit Meereswasser und Entsalzungsanlagen gearbeitet. Wir benötigen dafür also kein normales Süßwasser. Aber das hängt natürlich vom Standort ab.

Wasser wird im Prozess der Energiespeicherung mit Salzschnmelze kaum benötigt, nur zum Beispiel für die Anlagenreinigung.

Abg. **Britta Kellermann** (GRÜNE): Welche Salze verwenden Sie? Könnte dafür Salze von Abraumhalden aus dem Salzbergbau verwendet werden?

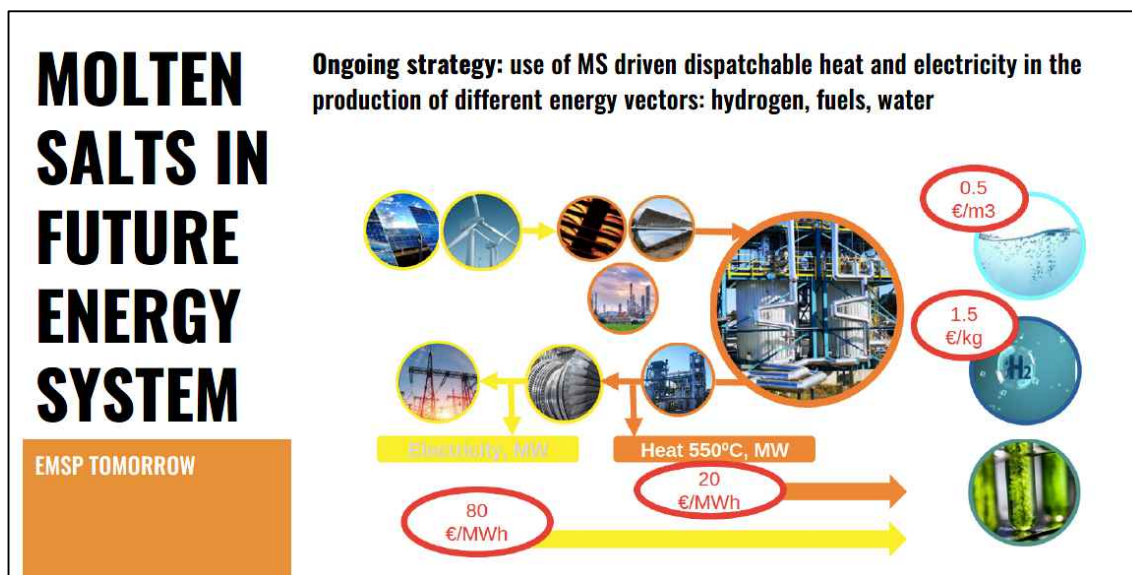
Dr. Pedro Horta: Wir verwenden einen Mix verschiedener Natriumverbindungen von der Firma Yara - grundsätzlich dieselben Salze, aus denen Dünger hergestellt wird. Die von uns genutzten Salze können also nach ihrer energetischen Nutzung in der Düngerproduktion weiterverwendet werden. Aber Salzabfälle können nicht direkt verwendet werden.

Wichtig ist, dass die erforderlichen Salze reichlich und an vielen Orten zur Verfügung stehen und nicht sonderlich teuer sind. Zurzeit wird zum Einsatz von Chloriden geforscht.

Abg. **Gerd Hujahn** (SPD): Mit welchen Kosten müssten Stadtwerke für eine solche Speicheranlage und die Integration ins Wärmenetz rechnen?

Dr. Pedro Horta: Da gibt es sehr viele Einflussfaktoren. So kommt es darauf an, ob bestimmte Komponenten schon vorhanden sind und an welchem Standort genau die Anlage errichtet werden soll. Es gibt also eine große Bandbreite, die stark von der spezifischen Situation abhängt. Entscheidend ist, dass der Energiepreis am Ende wettbewerbsfähig ist.

Unsere weiteren Forschungen werden sich auch mit der Frage befassen, wie und zu welchen Kosten die Wärme und der erzeugte Strom in andere Energievektoren umgewandelt werden kann:



Wir denken da an Wasserstoff, Treibstoffe und Wasser. Hierfür haben wir immer die marktüblichen Kosten im Blick; denn wenn unser Konzept zu teuer ist, dann wäre das Ergebnis unserer Arbeit nur etwas technisch sehr Interessantes ohne Anwendungsperspektive. Die Forschung muss also markttaugliche Ergebnisse erzielen.

Lassen Sie mich abschließend einige weitere Projekte vorstellen, an denen wir hier arbeiten und die zu dem Konzept eines Flüssigsalzspeichers passen.

EMSP site visit Meeting, Évora, 30.-31.03.2023



TECHNOLOGY HUB EMSP

CONCLUDED AND ONGOING PROJECTS

Solar concentrators



Wir arbeiten an einer anderen Form von Solarkollektor. Im Gegensatz zu den bislang verwendeten Parabolspiegeln arbeiten wir an einem Fresnel-Spiegel-Kollektor.

EMSP site visit Meeting, Évora, 30.-31.03.2023



TECHNOLOGY HUB EMSP

CONCLUDED AND ONGOING PROJECTS

Photovoltaics (power2heat)



Außerdem entwickeln wir eine andere Technologie zur Solarenergiegewinnung; auch hier soll Salzschnmelze eingesetzt werden. In Verbindung mit dieser Anlage soll ein anderes Speicherkonzept eingesetzt werden. Bislang haben wir immer mit zwei Speichern gearbeitet: einem kalten (290 °C) und einem warmen (565 °C) Speicher. Hier soll zukünftig nur *ein* Speicher eingesetzt werden, wobei sich kaltes Salz unten und warmes Salz oben befindet. Dieses Konzept soll erprobt werden.

Wir arbeiten auch mit Agri-PV-Anlagen.

EMSP site visit Meeting, Évora, 30.-31.03.2023

TECHNOLOGY HUB EMSP

CONCLUDED AND ONGOING PROJECTS

Turbines (heat2power)

SolarSCO2OL H2020 November'24

Agenda Mob. ATE PRR November'24

Auf zwei anderen Teilen unseres Geländes wollen wir zwei Turbinenarten erproben. Dabei handelt es sich nicht um Dampfturbinen; denn dazu ist Forschung nicht mehr wirklich erforderlich. Wir arbeiten an kleinen Turbinen, die anstelle von Dampf mit einer organischen Substanz angetrieben werden.

Dabei handelt es sich um einen neuen Ansatz; denn wir setzen als Arbeitsgas für den Turbinenantrieb superkritisches CO₂ ein. Eine solche Anlage ist vergleichsweise klein und leicht, aber trotzdem hocheffizient. Wir hoffen, dass damit in Zukunft Strom günstig erzeugt werden kann. Das erste derartige System in Europa wird - so hoffen wir - hier in sechs Monaten installiert. Bislang gibt es nur zwei solcher Turbinen, nämlich je eine in Amerika und in China. Die Europäische Kommission ist an diesem - sehr komplizierten - Projekt namens SolarSCO2OL sehr interessiert und fördert es im Rahmen von Horizon 2020. Bei diesem Konzept ist die Bereitstellung von Wärme entscheidend.

Ein weiteres Projekt wird von portugiesischer Seite (PRR) aus gefördert und ist Teil der Aktivitäten der hiesigen Allianz für die Energiewende (ATE).

EMSP site visit Meeting, Évora, 30.-31.03.2023

TECHNOLOGY HUB EMSP

CONCLUDED AND ONGOING PROJECTS

Thermal storage

HPS, HPS2
BMWK
April'23

NewSOL
H2020
November'24

Insofern ist die Weiterentwicklung von Anlagen zur Wärmespeicherung mit Salzschnmelze im Rahmen der Projekte HPS (High Performance Solar) und NewSOL (New StOrage Latent and sensible concept for high efficient CSP Plants) sehr wichtig. An dieser Komponente ist die Industrie hoch interessiert, auch wegen der Möglichkeit der Stromspeicherung und -erzeugung.

EMSP site visit Meeting, Évora, 30.-31.03.2023

TECHNOLOGY HUB EMSP

CONCLUDED AND ONGOING PROJECTS

Carnot battery

Agenda Mob. ATE
PRR
November'24

Zu diesen Speicherkonzepten zählt auch die Carnot-Batterie, bei der Strom in Form von thermischer Energie gespeichert wird.

EMSP site visit Meeting, Évora, 30.-31.03.2023



TECHNOL OGY HUB EMSP

CONCLUDED AND ONGOING
PROJECTS

Biomass pyrolysis (plug-in)



EMSP site visit Meeting, Évora, 30.-31.03.2023



TECHNOL OGY HUB EMSP

CONCLUDED AND ONGOING
PROJECTS

High-temperature electrolysis (plug-in)



Zwei andere wichtige Entwicklungen betreffen die Verbindung von Salzschnmelze und thermochemischen Reaktionen, wie sie für die Produktion von flüssigen oder gasförmigen Treibstoffen aus Biomasse erforderlich sind. Damit können am Ende mit einem zentralen thermischen Speicher Strom, Wärme, Treibstoffe und/oder Wasserstoff erzeugt werden.

EMSP site visit Meeting, Évora, 30.-31.03.2023



TECHNOLOGY HUB EMSP

ONGOING PROPOSALS

Strong focus on expanding Solar Fuels and Water Desalination activities



- SOLIVE (HEUROPE) - (w/ DLR IFF) x
- FLEXREGAS (HEUROPE) - (w/ DLR IFF) x
- PYRAGRAF (HEUROPE) - ✓
- MSA-TROUGH (HEUROPE) - (w/ DLR ISR) ?
- SUNGAS (HEUROPE) - (w/ DLR TFF) ?
- sMOREsCO2OP (HEUROPE) - ?
- SOLARIZE (HEUROPE) - ?

Und wir verfolgen weitere Projekte, wie diese Grafik andeutet.

EMSP site visit Meeting, Évora, 30.-31.03.2023



TECHNOLOGY HUB EMSP

ONGOING PROPOSALS

CER Campus expansion under assessment, Technology Free Zone 6.3 ha to 13.5 ha, streamlined licensing for R&D



Dafür stehen auch die erforderlichen Erweiterungsflächen zur Verfügung. Das gilt auch für ein Agri-PV-Projekt, das Strom für den thermischen Speicher liefern würde.

Die Molten Salt Platform erhält Fördermittel unter anderem vom deutschen Bundeswirtschaftsministerium, von der portugiesischen Regierung und der EU, gerade auch über Horizon 2020. Die nächsten beiden Grafiken nennen unsere industriellen und forschungsseitigen Partner:



Abg. **Thordies Hanisch** (SPD): Wie viel Fläche nimmt ein solcher thermischer Energiespeicher in Anspruch? Nutzungskonkurrenzen und die Unlust, besondere technische Anlagen neben dem eigenen Haus zu haben, spielen in Deutschland eine große Rolle.

Dr. Pedro Horta: Natürlich benötigt ein solcher Speicher weniger Platz als ein Pumpspeicherkraftwerk, aber er benötigt auch weniger Platz als eine entsprechend leistungsfähige Lithiumbatterie. Der Platzbedarf ist also kein Problem.

Flächenkonkurrenz spielt auch hier eine Rolle. Die Region um Évora ist stark landwirtschaftlich geprägt. Auch hier kamen Zweifel auf, ob PV-Anlagen schön aussehen oder zu ausgedehnte Flächen in Anspruch nehmen. Aber die Flächen, die für die Energiewende benötigt werden, nehmen nur ein Viertel der Fläche in Anspruch, die hier derzeit von Olivenbäumen bestanden sind. Auch diese Form der Landnutzung hat ihre Auswirkungen. Insofern kommt es auf die Perspektive und das Verständnis der damit verbundenen Folgen an. Natürlich kann man PV-Anlagen nicht als Natur bezeichnen und auch nicht essen. Aber wollen wir stattdessen Kohlekraftwerke haben? An der Stelle muss man sich Folgen klarmachen und Kompromisse schließen. Und es kommt auf seriöse Forschung mit soliden Messergebnissen für belastbare Informationen als Grundlage für Antworten und Entscheidungen an.

Abschließend ergänzen **Dr. Pedro Horta** und **Mirko Meyer-Grünefeldt** ihre Darlegungen auf einer Führung über das Gelände.

Donnerstag, 8. Mai 2025

Pilotanlage von Floene zur Erzeugung grünen Wasserstoffs und dessen Netzeinspeisung⁷

Gesprächspartner:

- *Bruno Ribeiro Tavares, Stakeholder und Public Affairs Manager von Floene*
- *Weitere Floene-Mitarbeiter*

Bruno Ribeiro Tavares stellt zusammen mit weiteren Mitarbeitenden von Floene anhand einer Präsentation ([Anlage 3](#)) das Unternehmen mit seinem Hintergrund als Erdgasnetzbetreiber in weiten Teilen Portugals vor (Grafik 4) und erläutert, das ganz überwiegend junge Netz bestehe meist aus Polyethylenleitungen, womit es grundsätzlich auch für Wasserstoff geeignet sei. Seit 2023 befasse sich Floene intensiv mit der Energiewende (Grafik 5), wofür der Nationale Energie- und Klimaplan 2030 und weitere Strategien und Pläne (Grafik 7) den Rahmen bildeten. Das Ziel (Grafik 8) sei die Reduktion der Treibhausgasemissionen aus fossilen Quellen um 100 % bis 2050, wobei grüner Wasserstoff und Methan aus nachwachsenden Rohstoffen und Abfällen die zentrale Rolle spielten (Grafiken 9, 10 und 14). Zu den ersten wichtigen Teilprojekten zähle das Green Pipeline Project, mit dem die Einspeisung von Wasserstoff in Erdgasnetze erprobt werde; 82 Kunden würden darüber versorgt. Im Juni 2025 werde das Projekt in Rio Maior zur Belieferung von 14 000 Kunden mit einem Wasserstoff-Methan-Gemisch umgesetzt; das sei dann das weltweit größte Wasserstoff-Einspeiseprojekt.

Floene habe mit Unterstützung von Roland Berger einen Weg zur Entwicklung des Gasnetzwerks bis 2050 erarbeitet, wobei es nicht nur auf die Reduktion fossiler Treibhausgase, sondern auch auf ein zielgerichtetes Zusammenwirken mit Stromnetzen und eine darauf ausgerichtete staatliche Regulierung ankomme (Grafik 12).

Anschließend geht er auf einen ausgewogenen und für Portugal optimalen Mix von grüner Elektrizität und grünem Gas (Grafik 13) ein. Ein solcher Mix von Energietechnologien steigere auch die Ausfallsicherheit. Die Folgen einer umfassenden Elektrifizierung seien beim jüngsten Black-out deutlich geworden. Von daher sollten grüne Gase nicht nur in der energieintensiven Industrie mit hohem Wärmebedarf und in der Mobilität eingesetzt werden, sondern auch im Bereich der privaten Haushalte, wozu dort allerdings bei hoher Wasserstoffbeimischung Geräte anzupassen seien. Bis zum Jahr 2050 werde der Einsatz von Gasen ohne fossile Treibhausgasemissionen vorgesehen (Grafiken 14 bis 17). Bei Realisierung eines ausgewogenen dekarbonisierten Energiemixes (Grafik 18) seien die geringsten Investitionskosten zu erwarten.

In der anschließenden Diskussion arbeiten Abg. **Britta Kellermann** (GRÜNE) und die **Vertreter von Floene** die Unterschiede zwischen Deutschland und Portugal bezüglich der Verfügbarkeit erneuerbarer Energien und des Wärmebedarfs privater Haushalte - nur in Deutschland spielten Heizung und Fernwärmenetze eine Rolle - heraus.

Im weiteren Verlauf präsentieren die Vertreter von Floene das Pilotprojekt „Green Pipeline Project“ (Grafiken 21 und 22 sowie Wandbild als [Anlage 4](#)) im Vortrag sowie vor Ort am Elektrolyseur und an der Einspeisestation. Dieses Projekt diene dazu, Erfahrungen mit der Produktion, der Speicherung, dem Transport und der Einspeisung im praktischen Betrieb einschließlich Aus- und Weiterbildung, Kundenkommunikation (Hotline), Wartung und Reparaturen zu sammeln.

⁷ Vortrag überwiegend auf Portugiesisch mit konsekutiver Dolmetschung

Dazu seien geräteseitig ein Elektrolyseur, ein Speicher, eine 1 400 m lange Leitung für den Transport des reinen Wasserstoffs bis zur Station zur Einspeisung und Beimischung in das Erdgasnetz neu errichtet worden; dem Erdgas würden bis zu 20 % Wasserstoff beigemischt, wobei jeweils der thermische Brennwert erfasst werde. Mit diesem Gasgemisch würden 78 private und kleingewerbliche Kunden sowie 4 industrielle Kunden - ein kleines repräsentatives Abbild der portugiesischen Verbraucher - beliefert. Dabei hätten sich bislang keine Probleme ergeben.

Ergänzendes Briefing durch den deutschen Honorarkonsul Christian Bothmann, einen Vertreter der Deutsch-Portugiesischen Außenhandelskammer und Marisa Rio, die Direktorin des Fraunhofer-Instituts AWAM

Honorarkonsul **Christian Bothmann** und ein **Vertreter der Deutsch-Portugiesischen Außenhandelskammer** stellen ihre Arbeitsschwerpunkte insbesondere in den Bereichen

- konsularische Vertretung,
- Außenhandelsförderung,
- Messevertretung und
- duale Ausbildung sowie Weiterbildung

vor.

Anschließend gibt **Marisa Rio** einen kurzen Überblick über gegenwärtige Aktivitäten des Fraunhofer Center for Advanced Water, Energy and Resource Management (Fraunhofer AWAM) als Kooperation der Fraunhofer-Gesellschaft, Fraunhofer Portugal und der Universitäten Évora und Trás-os-Montes e Alto Douro, zum Beispiel zu Projekten wie H2tALENT (grüner Wasserstoff) und METHAREN (Biomethan).

Freitag, 9. Mai 2025

Schritte zur Kreislaufwirtschaft im Großraum Porto - Organisation des Gemeindeverbands LIPOR und Betrieb der Abfallsortierung und -verwertung⁸

Gesprächspartner:

- *Rui Rodrigues, Project Manager und Senior Consultant im Bereich International Business Development*
- *Fernando Coello*

Rui Rodrigues stellt anhand einer Präsentation ([Anlage 5](#)) LIPOR als modernes Abfallentsorgungs- und Recyclingunternehmen eines Verbands von acht Kommunen des Großraums Porto vor, das zwei Anlagenkomplexe betreibe (Grafiken 4 bis 9 und 24). Dabei erbringe LIPOR auch verschiedenste Leistungen im Zusammenhang mit den Zielen der Kreislaufwirtschaft wie

- die Sanierung und Nachnutzung einer alten Abfallhalde (unter Erfassung und Nutzung der Haldengase) als Freizeitgelände (Grafiken 8 und 21),
- die Restabfallverbrennung zur Stromerzeugung für bis zu 150 000 Haushalte (Grafiken 9, 28 und 29),
- internationale Beratung in Fragen der Abfallbehandlung und -beseitigung (Grafiken 16 und 17),
- eine Düngerproduktion aus organischen Abfällen (Grafiken 26 und 27),
- den Verkauf von sortierten Abfällen als Sekundärrohstoffe (Grafik 25) und
- Umweltbildungsaufgaben.

Die Leitlinien all dieser Aktivitäten sei neben den UN-Nachhaltigkeitszielen (Grafik 13) die umgekehrte Pyramide (Grafik 23) mit der Restabfalldeponierung unten und der Abfallvermeidung oben.

In der anschließenden Aussprache erbitten Abg. **Thordies Hanisch** (SPD), Abg. **Britta Kellermann** (GRÜNE), Abg. **Marcus Bosse** (SPD), Abg. **Heike Koehler** (CDU) und Abg. **Uwe Dorendorf** (CDU) nähere Informationen zu diesen Aspekten und bringen zusätzliche Themenfelder zur Sprache. - **Rui Rodrigues** führt hierzu im Wesentlichen wie folgt aus:

Umweltbildung sei eine wichtige Grundlage, um die vorgegebenen und selbst gesteckten Ziele erreichen zu können, da die Mitarbeit der Bürgerinnen und Bürger entscheidend sei; diese Bildungsmaßnahmen würden über die kommunalen Träger und EU-Fördermittel finanziert.

Die Beratungstätigkeit von LIPOR erstreckte sich nicht nur auf den internationalen Bereich, sondern das Unternehmen wirke auch in nationalen Arbeitsgruppen zur Umsetzung nationaler und EU-rechtlicher Regelungen zur Kreislaufwirtschaft in Portugal mit.

Bei LIPOR liege der Anteil der Fremdstoffe in erfassten Abfällen bei 7 %. Dieser für Portugal sehr niedrige Wert werde durch die getrennte Erfassung von fünf Haushaltsabfallsorten bei wöchentlicher Leerung und Umweltbildungsmaßnahmen erreicht.

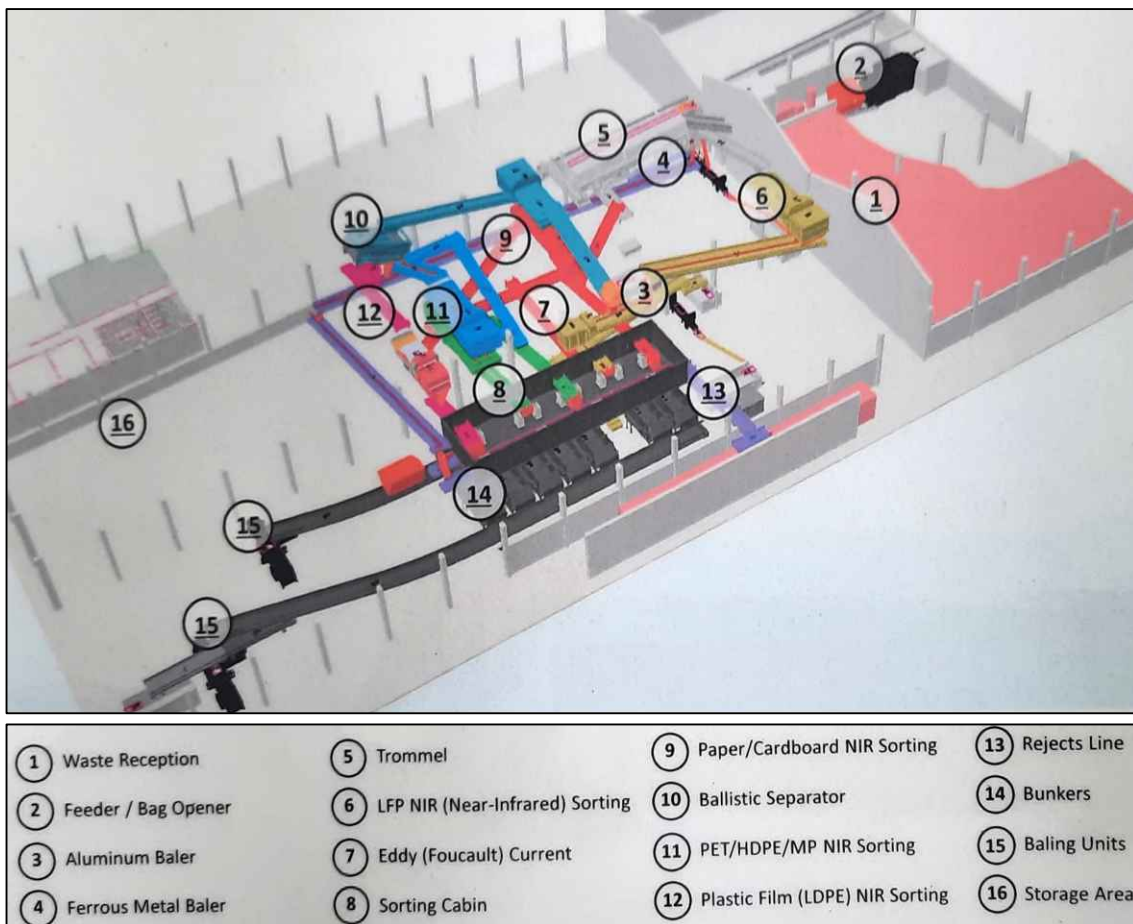
⁸ Vortrag auf Portugiesisch mit konsekutiver Dolmetschung

Portugal habe bereits ein Pfand auf Plastik- wie Glasflaschen eingeführt, was zu einer verbesserten Erfassung von leeren Flaschen geführt habe.

Die Abfallgebühren für Privathaushalte seien derzeit noch an die Wasserrechnung gekoppelt: Je höher der Wasserverbrauch sei, desto höher seien auch die Abfallgebühren. Dieses überkommene System werde zurzeit auf ein gewichtsbasiertes umgestellt.

Für die Abfallverbrennung, deren Emissionen intensiv überwacht würden, würden PM₁₀- und PM_{2,5}-Filter eingesetzt; NO_x und SO₂ würden aus den Abgasen eliminiert. Für die Restwärmenutzung - über die interne Nutzung hinaus - würden derzeit Konzepte entwickelt, zum Beispiel zur Versorgung des Flughafens mit Dampf. Hierfür sei die Umsetzungsphase aber noch nicht erreicht.

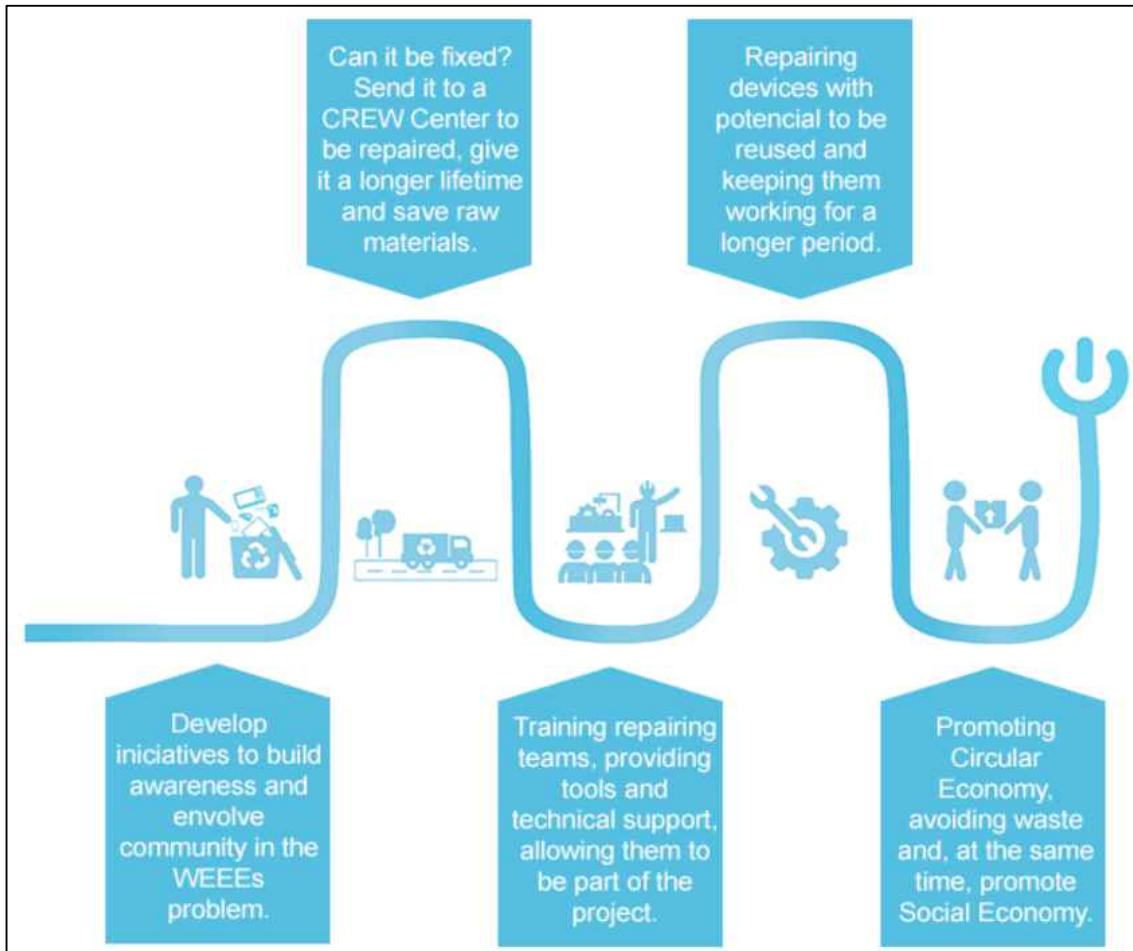
Während der anschließenden Führung über das Betriebsgelände geht **Fernando Coello** im Besucherzentrum zunächst ergänzend auf verschiedene Ansatzpunkte für Umweltbildung mit Schwerpunkt Recycling ein.



Nachfolgend erläutert er die verschiedenen Schritte der Abfallannahme, -sortierung und -aufbereitung für den Weiterverkauf (siehe vorstehendes Anlagenschema) bzw. für die Produktion von Dünger.

In diesem Zuge stellt er auch das CREW-Center vor, das der Reparatur von Elektro- und Elektrogeräten diene, womit ein anderer Ansatz zur Verwirklichung der Kreislaufwirtschaft verfolgt

werde. Einige Techniker und mehrere Freiwillige begutachteten entsorgte Geräte und seien bestrebt, diese zu reparieren - im Zweifelsfall nach dem Motto: „Aus zwei mach eines“. Die instandgesetzten Geräte würden Institutionen oder bedürftigen Familien gespendet. Das CREW-Center arbeitete mit der European Recycling Platform (ERP) zusammen. Durch diese Zusammenarbeit werde ein anderes Level der Verbindlichkeit und der Leistungen als durch Repair Cafés erreicht, die im Übrigen auch durch das CREW-Center unterstützt würden. Zu den Aufgaben zähle aber auch die Beratung zum Aufbau solcher Center im Ausland, zuletzt in Angola.



Pilotprojekt von CorPower Ocean zur Erzeugung von Strom aus Wellenkraft mit Generatorbojen⁹

Gesprächspartner: Eduardo Pacheko, Senior Composite Manufacturing Engineer

Eduardo Pacheko: CorPower Ocean ist ein schwedisches Unternehmen, das sich zum Ziel gesetzt hat, die Wellenenergie in elektrische Energie umzuwandeln. Es ist letztlich noch ein Start-up, wenn auch mit fast 100 Mitarbeitenden ein relativ großes. Bevor ich vor fünf Jahren bei CorPower angefangen habe, habe ich 15 Jahre lang für Enercon gearbeitet.

⁹ Vortrag auf Portugiesisch mit konsekutiver Dolmetschung

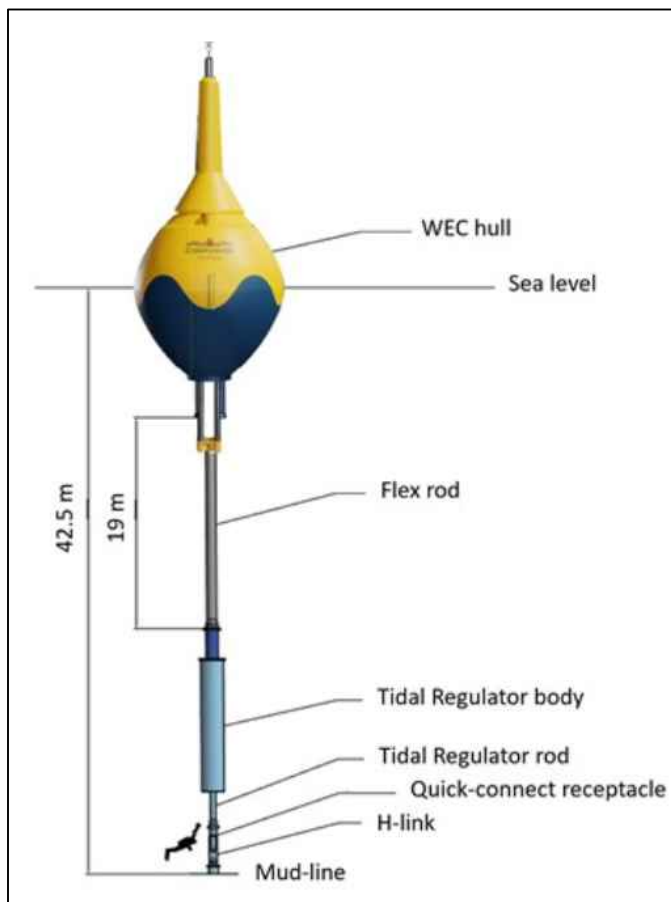
CorPower arbeitet seit 2012 an dem Thema, zunächst in der Forschung. In den vergangenen fünf Jahren wurden Prototypen gebaut und erprobt. Unser Unternehmen stellt für die Energieerzeugung Bojen aus Kompositmaterialien her, die denen aus dem Bau von Rotorblättern von Windenergieanlagen ähnlich sind.

Lassen Sie mich nun die Technologie dieser Wave Energy Converter (WEC) etwas näher vorstellen:

Bei der Windkraft kann umso mehr Energie aufgenommen und in Strom umgewandelt werden, je größer die Rotoren sind. Deshalb geht die Entwicklung zu immer größeren Windrädern. Bei der Stromgewinnung aus Wellenkraft ist die Größe der Generatorbojen durch die Größe und die Frequenz der Wellen begrenzt; denn zu große Bojen würden sich nicht mehr im vollen Maße mit den Wellen bewegen und zu wenig Strom erzeugen.

Auf dem offenen Ozean kann mit unserer Technologie auf einem Drittel der Fläche ebenso viel elektrische Energie erzeugt werden wie mit Windenergieanlagen - einschließlich der Abstände zwischen den Anlagen -, wobei man von einer Windenergieanlage je Quadratkilometer ausgehen kann. Dieser geringere Platzbedarf ist auch wegen des geringeren Kabelbedarfs interessant.

Unsere Generatorboje hat einen Durchmesser von 9 bis 10 m und ist im Meeresboden verankert.



Zunächst zum Anker¹⁰: Der Anker ist neuartig und wurde von CorPower Ocean entwickelt; diese Bauform ist - neben weiteren Technologien in der Generatorboje - patentiert. Man kann sich das so vorstellen: Der Anker hat eine zylinderähnliche Grundform. Er wird auf dem Meeresboden abgesetzt und mit einer genau bestimmten Frequenz in Vibration gesetzt, sodass er sich in das Meeresbodensediment senkt. Anschließend wird die Frequenz geändert, sodass der Boden um den Anker verdichtet wird. Man kann sich das wie einen Vakuumeffekt vorstellen. Anschließend ist auf dem Meeresboden nur der Kopf des Ankers zu sehen, also kein Beton usw. Das haben wir erstmals 2023 gemacht und dabei viel gelernt.

¹⁰ Quelle der Grafik: <https://www.compositesworld.com/articles/industrial-scale-wave-energy-system-enabled-by-mobile-filament-winding> auf der Grundlage von CorPower Ocean

Der Anker muss, damit die Anlage den Meeresbedingungen standhält, sehr robust sein. Mit konventioneller Verankerungstechnologie wäre der Betrieb unserer Bojen wirtschaftlich nicht umsetzbar gewesen. Unser Anker musste also bei gleicher Leistungsfähigkeit leichter und preiswerter sein. Zum Vergleich: Ein herkömmlicher Betonanker gleicher Leistungsfähigkeit würde 1 500 t wiegen. Bei unserem aktuellen Projekt C4 - das erste Pilotprojekt in der endgültigen Größe - befindet sich ein Anker seit 2023 vor Ort und funktioniert seitdem.



Die Boje an der Meeresoberfläche ist nicht mit einem herkömmlichen Kabel mit dem Anker verbunden, sondern mit einer Komponente für den Ausgleich des Tidenhubs (Tidal Regulator) und einer halbfesten Struktur, einem Flex Rod - ein flexibler Stab - aus Kompositmaterial, der sowohl eine Auf-und-ab- als auch eine Seitwärtsbewegung der Boje erlaubt. Das gegenwärtige Pilotprojekt C4 befindet sich in rund 40 m tiefem Wasser, aber Wassertiefen von bis zu 100 m sind möglich.

Zur Generatorboje selbst: Unsere Technologie ähnelt in der Funktionsweise einem Herz: Mit einem Herzschlag wird Blut sowohl angesaugt als auch ausgestoßen. So ist auch unser Generator aufgebaut. In der Boje befindet sich ein Zylinder mit einem kaskadenartig aufgebauten Getriebe und Generator, der auf einem Schienensystem nach oben und unten läuft und durch zwei nach oben bzw. unten verlaufende Federsysteme unter Zugspannung steht.¹¹ Durch dieses Design kann Strom sowohl bei der Aufwärts- wie bei der Abwärtsbewegung der Boje auf der Welle erzeugt werden. Außerdem führt das Design mindestens zu einer Verdreifachung des Wellenhubs für den Generator.

Wenn die Boje von einer Welle angehoben wird, wird die eine Sprungfeder gespannt. Auf dem Weg zum Wellental entspannt sich diese wieder, und die andere Sprungfeder wird gespannt. Hierdurch wird der Zylinder mit dem Generator auf- und abbewegt. Durch die beiden Federn wird die Wellenbewegung um das Drei- bis Fünffache verstärkt, sodass zum Beispiel auch schon eine 0,5 m hohe Welle zur Stromerzeugung führt.

¹¹ Das Prinzip wird hier auch grafisch erläutert: <https://corpowersocean.com/wave-energy-technology/>; Quelle der Grafik: <https://www.ansys.com/blog/tapping-into-biggest-battery> auf der Grundlage von CorPower Ocean)

Eine Boje wiegt rund 15 t, die Gesamtkonstruktion wiegt rund 100 t. Der dynamische Teil der Gesamtanlage ist also vergleichsweise leicht.

Zu den Kosten: Moderne Windkraftanlagen gibt es seit rund 30 Jahren, wogegen Wellenkraftwerke völlig neu sind. Bei dieser Technologie ist CorPower führend. Das Unternehmen ist nur noch einen Schritt von der kommerziellen Nutzung entfernt; denn der Prototyp C4 weist die endgültige Größe auf und hat auch schon Winterstürme überstanden.

Aber warum gab es in den vergangenen Jahrzehnten keine Wellenkraftwerke? - So etwas hat bislang auf dem Meer nicht überlebt. Hier setzt unsere neue Technologie an. Der Prototyp C4 wurde im August 2023 hergestellt, dann installiert und hat uns seitdem geholfen, eine Menge zu verstehen. Damit das Material den Wetterbedingungen und dem Meer widerstehen kann, muss es ausgesprochen robust sein. Solche Konstruktionen wären vor wenigen Jahren noch so teuer gewesen, dass ein wirtschaftlicher Einsatz nicht möglich war.

Benötigt werden für die Stromerzeugung durch Wellen leichte, widerstandsfähige und billige Materialien, wofür Kompositmaterialien zur Verfügung stehen. Uns ist es gelungen, daraus die Bojen zu einem wirtschaftlich tragfähigen Preis herzustellen.



Am Modell und an der Materialprobe in der Halle

An diesem Modell erkennen Sie die Wasserlinie und - angedeutet mit der blauen Farbe und der Skala - die um jeweils 10 m nach oben und unten erfolgende Bewegung mit den Wellen. Der blaue Anstrich enthält Antifouling-Mittel, zumindest noch. Wir testen derzeit verschiedene organische Substanzen, um den Einsatz von umweltschädlichen Chemikalien so weit wie möglich zu reduzieren.

Die Boje besteht aus einem Sandwich-Kompositmaterial, nämlich aus einer Glasfaserschicht, einer Schaumstoffschicht und wiederum einer Glasfaserschicht. Glasfaser-Kompositmaterial kennen Sie von Rotoren an Windenergieanlagen. Für diese Rotoren werden Glasfaser-matten in der dafür perfekten Struktur - Ausrichtung, Maschengröße - zugekauft, was aber teurer ist als das hier eingesetzte Material - das hilft dabei, im Vergleich zu Windenergieanlagen zu einer höheren Gesamtwirtschaftlichkeit zu kommen. Deshalb arbeiten wir mit schmalen Glasfaserbändern, sozusagen

Fäden. Es kommt nun darauf an, diese Fäden in der richtigen Maschengröße und in der richtigen Ausrichtung zum Kompositmaterial zu verarbeiten. Dazu verwenden wir eine Wickeltechnik, was wiederum preiswerter ist als die Arbeit mit Gussformen wie für Rotorblätter. Damit die Wicklung zu der richtigen Struktur führt, arbeiten wir mit einem Wickelkern mit hoher Friktion, damit die Glasfaserbänder nicht abrutschen. Als Wicklungskern verwenden wir einen speziellen Ballon, der zur erforderlichen Größe und Stabilität aufgepumpt wird. Wenn das Kompositmaterial ausgehärtet ist, wird der Ballon herausgeholt.

Im Entwicklungsraum: vor der in Bau befindlichen Boje

Eine in fünf Achsen bewegliche Wicklungsmaschine wickelt das Glasfaserband in der richtigen Struktur und Dichte um den Kernballon. Nach der Glasfaser-Innenlage wird für die Sandwich-Bauweise ein Schaumstoffmaterial aufgetragen. Für den Prototyp C4 wurde dafür mit Rillen versehener Schaumstoff aufgebracht, woran wir mit acht Leuten einen Monat lang gearbeitet haben. Dieses Verfahren ist also nicht für die Serienproduktion geeignet. Deshalb werden wir zukünftig eine Art Schaum aufspritzen, einem Bauschaum ähnlich.

Auf Nachfragen der Abgeordneten **Heike Koehler** (CDU), **Thordies Hanisch** (SPD), **Marcus Bosse** (SPD) und **Gerd Hujahn** (SPD) ergänzt **Eduardo Pacheko** seine Ausführungen zu folgenden Themen:

Zur Entwicklungsdauer: Im Jahr 2020 hat CorPower Ocean bei einem portugiesischen Unternehmen angefragt, ob es an einer Zusammenarbeit interessiert sei; dort sind zuvor Rotorblätter für Windenergieanlagen produziert worden. Diesem Angebot sind wir nähergetreten. Im Jahr darauf wurde das Projekt näher ausgearbeitet. Bis zum Jahr 2023 haben wir die Pilotprojekt-Boje gebaut. Seitdem produzierte sie im offenen Meer immer wieder Strom. Kürzlich war sie aus dem Meer herausgeholt und untersucht worden, und vor zwei Tagen war sie wieder im Meer installiert worden. Jetzt benötigt sie einige Tage der Überwachung, bis sie wieder ins Netz einspeist.

Zu den Kosten der Stromerzeugung und zur Wettbewerbsfähigkeit mit Offshore-Windenergieanlagen: Die Konzepte zeigen, dass die Kosten je Megawattstunde bis zum Jahr 2035 unter denen von Windenergieanlagen liegen werden. Das setzt aber voraus, dass wir die Kosten bis dahin durch den Schritt in die industrielle Serienproduktion absenken; derzeit ist das natürlich nicht möglich.

Ein gutes Offshore-Windrad wird in naher Zukunft eine Erzeugungsleistung von 9 bis 10 MW aufweisen. Solche Anlagen werden aber nur in größerer Küstenferne aufgebaut, und je Windrad ist ungefähr 1 km² vorzusehen. Unsere Boje weist eine Erzeugerleistung von 0,35 MW auf, die aber deutlich dichter verbaut werden können, sodass die Energieausbeute je Flächeneinheit bei unseren Generatorbojen höher ist.

Zur Konkurrenzsituation: Leider gibt keine weiteren Unternehmen, die denselben Weg wie wir verfolgen; bislang gibt es keine ernstzunehmenden Wettbewerber. Ich betone „leider“: Nach meiner Auffassung haben die Windenergieanlagen ihren heutigen Entwicklungsstand nur deswegen erreicht, weil es einen Wettbewerb in der Branche gab.

Zu den Einsatzorten: Die Generatorbojen können grundsätzlich an der gesamten Küste eingesetzt werden. Selbstverständlich sind nicht alle Küstenabschnitte dafür gleich gut geeignet. Ein

Einsatz ist ab 25 cm Wellenhöhe möglich. Hohe Wellen sind kein Problem. Der Prototyp C4 hat beim Sturm im November 2023 Wellen von 18 m Höhe ohne Ausfall bewältigt.

Das größere Problem für die Wahl des Einsatzortes ist die Meerestiefe und nicht die Wellenhöhe. Derzeit erfordert die Technologie eine Tiefe von mindestens 40 m.
