

# Windräder bremsen sich gegenseitig aus

geschrieben von Admin | 8. Juli 2021

**Regelmässiger Wind, keine Konflikte mit Anwohnern: Windparks vor der Küste gelten als grosse Hoffnung der Energiewende. Doch eine deutsche Studie dämpft die Erwartungen: Die Räder im Meer nehmen sich gegenseitig den Wind weg, was die Leistung empfindlich schmälert.**

von Alex Reichmuth, Nebelspalter

Weite Landschaften in Deutschland, vor allem im Norden, sind inzwischen «verspargelt». Fast überall sind sie anzutreffen, die furchteinflössend hohen Windturbinen, die das Landschaftsbild massgeblich prägen. Schon fast 30'000 dieser Ungetüme stehen auf deutschem Boden.

Um die Energiewende zu schaffen, sind aber noch viele weitere Zehntausend Windräder notwendig. Doch der Ausbau stockt. Fast überall laufen Bürgerkomitees und

Naturschutzorganisationen Sturm gegen neue Windpark-Projekte. Anwohner wehren sich gegen die Zerstörung des Landschaftsbildes und die Beeinträchtigung ihrer Gesundheit durch Lärm (lesen sie [x hier](#) und [hier](#)).

## Soviel wie acht Atomkraftwerke

Da bieten sich Offshore-Windparks, also Windparks weit vor den Küsten, als idealer Ausweg an: Es gibt dort draussen in der Nordsee und der Ostsee keine Anwohner, die die Baupläne vereiteln können. Und der Wind bläst erst noch kräftiger und regelmässiger als an Land. Zwar ist es teurer, Offshore-Windräder zu errichten, aber der Mehrertrag an Energie wiegt die teuren Investitionen auf.

2008 gingen in Deutschland die ersten Offshore-Anlagen in Betrieb und heute drehen bereits

1500 Räder über dem Meer. Sie haben eine Gesamtleistung von 8000 Megawatt, was acht Atomkraftwerken entspricht. Auch Grossbritannien, Dänemark, Belgien und die Niederlande haben in der Nordsee zahlreiche Rotoren aufgestellt. Vor wenigen Tagen haben der deutsche Chemiekonzern BASF und der schwedische Energieversorger Vattenfall bekanntgegeben, vor der niederländischen Küste einen neuen Windpark mit 140 Rotoren zu bauen. Der Wind auf dem Meer ist eine schier unbegrenzt bereitstehende Ressource. Das war zumindest die vorherrschende Meinung.

**«Wind ist eine begrenzte Ressource.»**

*Naveed Akhtar, Wissenschaftler am Helmholtz-Zentrum Hereon*

Doch jetzt dämpft eine neue Studie des deutschen Helmholtz-Zentrums Hereon, die im

Fachblatt «Nature Scientific Reports» erschienen ist, die Erwartungen an die Offshore-

Windenergie empfindlich. «Wind ist eine begrenzte Ressource», lautet das überraschende Fazit von Leitautor Naveed Akhtar, Experte für Klimamodellierung. Über die Studie berichtete die «Weltwoche» zuerst.

## **Auswirkungen bis zu 100 Kilometer**

Die Studie weist nach, dass sich Windräder, wenn sie zu nahe beieinander stehen, gegenseitig den Wind wegnehmen. Sie bremsen sich sozusagen aus. Denn strömt Wind durch einen grossen Offshore-Park, verlangsamt sich die Luftströmung durch das. Die dahinter stehenden Anlagen bekommen weniger Wind ab und können dadurch weniger Strom produzieren.

Dieser Bremseneffekt wirkt sich erstaunlich grossräumig aus. Wie Naveed Akhtar und sein Team zeigen konnte, ist der Wind nach Durchstreichung eines Offshore-Parks bei durchschnittlichen Wetterverhältnissen 35 bis 40 Kilometer weit verlangsamt. Bei eher ruhigen Wetterlagen, wie sie oft im März und April vorherrschen, können es sogar bis 100 Kilometer sein. Die Leistung eines benachbarten Windparks kann sich durch die Verlangsamung um 20 bis 25 Prozent verringern, was eine empfindliche wirtschaftliche Einbusse bedeutet. Und je mehr Windparks gebaut werden, desto enger stehen die einzelnen Anlagen beieinander.

Die Forschergruppe verwendete ein Computer-Modell, das auf den Informationen von Wetterdiensten beruht. Es ist in der Lage, die Witterungssituation für die gesamte Nordsee detailliert aufzulösen. Als Grundlage für die Studie dienten Winddaten der Nordsee von 2008 bis 2017.

## **Windparkplanung von 2015**

Die Forschergruppe hat dem Modell Daten über die Windparks beigelegt, wobei die Zahl und die Grösse der Anlagen eingeflossen sind. Als Grundlage diente dabei die Windparkplanung für die Nordsee von 2015, in der auch Windparks enthalten waren, die zum Teil auch heute noch nicht gebaut sind. So konnten die Wissenschaftler abschätzen, wie die Windparks sich künftig beeinflussen.

«Als ich zum ersten Mal die Karten der geplanten Offshore-Windparks in der Nordsee sah, war ich erstaunt über deren Vielzahl», sagte Leitautor Akhtar gegenüber den Medien. Er habe sich damals gefragt, wie die Windgeschwindigkeiten in Zukunft aussehen würden, wenn alle

Windparks gebaut sind, und wie sich die nahe zusammengebauten Anlagen auf deren Leistungsfähigkeit auswirken würden.

## **Grössere Abstände zwischen den Windparks erhöhen die Kosten. Denn bei weiter**

**auseinanderliegenden Anlagen müssen mehr**

**Stromkabel im Meer verlegt werden. Zudem wird der Unterhalt aufwändiger.**

Die Studienautoren appellieren, die Bremswirkung künftig bei der Planung von Windparks zu berücksichtigen. Die Windräder dürften nicht zu nahe beieinander oder hintereinanderstehen.

Grössere Abstände erhöhen allerdings die Kosten. Denn bei weiter auseinanderliegenden Anlagen müssen mehr Stromkabel im Meer verlegt werden. Zudem wird der Unterhalt aufwändiger.

## **Veränderungen auch unter dem Wasserspiegel**

Die Luftstrom-Veränderungen, die Offshore-Windparks auslösen, könnten auch die Verhältnisse im Meer beeinflussen. Denn Wind und Wellen durchmischen das Meer und verändern so den Salz- und den Sauerstoffgehalt, die Wassertemperatur und sogar die Menge an Nährstoffen, die in bestimmten Wassertiefen bereitstehen. Die Wissenschaftler-Gruppe hat sich als Nächstes vorgenommen, diese Folgen tieferer Windgeschwindigkeiten unter Wasser zu erforschen. «Wir möchten jetzt herausfinden, wie sich die reduzierte Durchmischung auf das Verhalten der Tiere und ihre Vermehrung auswirkt», liess Naveed Akhtar verlauten.

Windräder sind also Ursache einer Art Klimawandel, die Auswirkungen auf die Meere hat.

Der Beitrag erschien zuerst beim Nebelspalter [hier](#)

---

## **Hohe Energiepreise gefährden Existenz von Unternehmen**

geschrieben von Admin | 8. Juli 2021

Kraftwerke abschalten und dann wundern.

von Holger Douglas

Einer der wichtigsten Standortfaktoren für viele Unternehmen, die Kosten für Energie, zeigen nur in eine Richtung, nach oben. Einen Energiepreisschock erleben auch Privatleute. Wie das Statistische Bundesamt mitteilte, stiegen die Energiepreise um 9,4 Prozent gegenüber dem Vorjahr.

In Hamburg wundern sie sich darüber, dass kein oder nur sehr teurer Strom vorhanden ist, seitdem das Kohlekraftwerk Moorburg abgeschaltet wurde. Und die Strategie von CDU/CSU und Grüne zeitigen sichtbare »Erfolge«: Immer mehr Unternehmen geht es an den Kragen. Einer der wichtigsten Standortfaktoren für viele Unternehmen, die Kosten für Energie, zeigen nur in eine Richtung, nach oben. Die Preise sind so hoch wie seit zwölf Jahren nicht mehr, schreibt das *Handelsblatt* unter dem Titel »Der Strompreis-Schock«.

Eine Megawattstunde Strom kostet auf dem Terminmarkt der EEX-Energiebörse bereits knapp 70 €. Die wird im kommenden Jahr geliefert. Im März vergangenen Jahres kostete sie noch 35 €. Seit Anfang dieses Jahres müssen die Unternehmen überdies noch zusätzlich auf Benzin, Diesel, Heizöl und Gas einen CO<sub>2</sub>-Preis bezahlen. Pro Tonne sind das derzeit 25 €, die sich in den kommenden vier Jahren auf 55 € mehr als verdoppeln.

Doch so wirklich schocken kann dieser Preis nicht. Die fatale Entwicklung ist absehbar: Wenn sich CDU/CSU und Grüne sowie SPD in einer wahnwitzigen Klima- und Energiepolitik gegenseitig überbieten wollen, dann bleibt für eine Wirtschaft kein Raum mehr. Derart hohe Energiepreise sind von CDU, SPD und Grüne gewollt. Wirtschaftliche Fragen interessieren in diesen Parteien niemanden mehr. Sie übersehen: Preiswerte und immer verfügbare Energie ist schon immer das Fundament einer prosperierenden Wirtschaft gewesen. Kappt man die Energieversorgung, wie das die derzeitige Politik tut, kann das nur im Desaster enden. Nur wer den Kontakt zur ökonomischen Wirklichkeit verloren hat, kann von einem Wechsel zu einer angebotsorientierten Energieproduktion phantasieren. Im Klartext: Unternehmen sollen nur noch dann produzieren können, wenn der Wind weht und die Sonne scheint. Grotesker geht es kaum.

Der vollkommen ergrünte Bundesverband der Energiewirtschaft (BDEW) verkündet fröhlich einen Industriestrompreis inklusive aller Umlagen von sagenhaften 191 Euro pro Megawattstunde. Große Verbraucher kommen dann leicht auf mehrere 100.000 Euro zusätzlich für die gestiegene Stromrechnung. Dass das nicht lange gut gehen kann, liegt auf der Hand. Überflüssig zu sagen, dass die BDEW-Angestellten bis hin zur grünen Spitze nichts produzieren müssen und von Mitgliedsfirmen bezahlt werden.

Währenddessen wird der Strompreis in den nächsten Jahren nur eine

Richtung kennen: steil nach oben. Denn die EEG-Umlage wird teurer.

Einen Energiepreisschock erleben auch Privatleute. Wie das Statistische Bundesamt mitteilte, stiegen die Energiepreise um 9,4 Prozent gegenüber dem Vorjahr an. Besonders an der Tankstelle sind die Preissteigerungen deutlich zu sehen: Im Juni kostete ein Liter super 23 Prozent mehr als im Vorjahr. Diesel 25 Prozent und Heizöl sogar 52 Prozent mehr. Diese Steigerung wird sich im Juli fortsetzen.

Derweil geben sich kluge Köpfe ganz überrascht über die Auswirkungen der sogenannten »Energiewende«. Die *FAZ* schreibt: »An diese dramatische Nebenwirkung des von der Politik beschlossenen schnellen Ausstiegs aus der Kohleverstromung hat niemand gedacht.«

In der Frankfurter Redaktion scheint man nicht mitbekommen zu haben: In Hamburg wurde das nagelneue Kohlekraftwerk Moorburg einfach abgeschaltet. Jetzt tritt die große Verwunderung auf, dass kein Strom oder nur viel zu teurer Strom vorhanden ist: »Energieintensiven Industrien, die sich als Cluster oft in der Nähe grundlastfähiger Kohlekraftwerke angesiedelt haben, droht wegen dramatisch steigender Netzentgelte das Aus.«

Der von der Bundesregierung im Ausstiegsgesetz nicht vorhergesehene Kostenanstieg „bedroht bereits jetzt Industriestandorte“, heißt es in einem Entschließungsantrag Hamburgs. Wirtschaftsminister Peter Altmaier (CDU) soll jetzt schnell das Gesetz anpassen.

In Hamburg, wo das moderne Kohlekraftwerk im Stadtteil Moorburg Anfang des Jahres als eines der ersten abgeschaltet wurde, spüren die ersten großen Industrieunternehmen die Auswirkungen schon jetzt. Die *FAZ* zitiert Heribert Hauck, Leiter Energiewirtschaft beim Aluminiumhersteller TRIMET: »Die Netzgelderhöhungen, die der Grundstoffindustrie drohen, sind bestandsgefährdend.« Auch das ist nicht so fürchterlich überraschend, dass eine Aluminiumhütte extrem viel Strom benötigt, um das Aluminium zu schmelzen. Bisher kam der Strom zur Hamburger Aluhütte von TRIMET über zwei kurze Leitungen direkt aus dem Kraftwerk Moorburg, sozusagen direkt vom Erzeuger. Das ist gut, weil Energietransport über lange Stromleitungen eine ziemlich dumme Idee ist. Die Verluste werden immer größer je länger die Leitungen.

Das wussten die früheren Ingenieure und bauten die Kraftwerke in die Nähe der großen Industriezentren. So ging verhältnismäßig wenig Energie auf dem Transportweg über Stromleitungen verloren. Doch jetzt wird die erst fünf Jahre alte, gut funktionierende Energiequelle Moorburg abgeschaltet. Nun kann noch das etwas entfernte Kraftwerk Brokdorf Strom liefern. Doch das ist ein Atomkraftwerk. Das wird 2022 abgeschaltet. Dann bleibt der Aluhütte nur Hoffen auf Windstrom von der Nordsee. Wenn dort aufgrund von Flaute nichts kommt, bleibt nur noch: Hütte abschalten.

Der Beitrag erschien zuerst bei TE hier

---

# Lilium überlistet die Naturgesetze – das fliegende Perpetuum mobile

geschrieben von Admin | 8. Juli 2021

von Manfred Haferburg

Deutsche Ingenieurskunst brachte immer schon hervorragende Neuerungen der Technikgeschichte hervor. Ein gutes Beispiel ist die fliegende Badewanne, in der ein Jünger Otto Lilienthals eineinhalb Kilometer zum Bäcker fliegt, um ein Brötchen zu holen. Die begabten Jungs aus dem Video haben viel Spaß, wollen aber auch nicht unbedingt Luftfahrtgeschichte schreiben.

Das will schon eher die deutsche Firma Lilium: „At Lilium we’re advancing how the world moves“, darunter tun sie es nicht bei dem E-Flugtaxi:

Welt online begeistert: *„Günstiger als ein Taxi? Lilium will für 1,16 Euro je Kilometer fliegen. „Im Zuge des anstehenden Börsenganges hat das Lufttaxi-Unternehmen neue Details zur Geschäftsidee veröffentlicht. Jetzt steht fest, wie teuer die Tickets werden, wann die Modelle wirklich starten – und wer die neuen prominenten Investoren sind. Einige Ziele wirken jedoch ambitioniert.“ „Ambitioniert“ ist hier so etwas wie „Herausforderung“ – der neue politische Schwurbelismus für eine handfeste Krise.*

Bis August ist die Kursnotierung an der US-Börse Nasdaq geplant. Der Ticketpreis für das Lilium-Flugtaxi wurde auch genannt: 2,25 Dollar pro Meile oder umgerechnet rund 1,16 Euro je Kilometer. Das wäre günstiger als eine Taxifahrt. Für Lilium geht es vor allem darum, weitere Investoren zu finden, die an das ambitionierte Vorhaben glauben und darauf vertrauen, dass sich das Unternehmen im Wettbewerb um Geld und Passagiere behauptet. Derzeit herrscht Goldgräber-Stimmung in dem neuen Markt. Wirklich real bei Lilium sind aber nur die schillernden Manager-Persönlichkeiten, die ihren Namen für diese neue Luftfahrtnummer hergeben, die stark an das Cargo-Lifter-Projekt erinnert. Immerhin ist die Cargo-Halle heute wenigstens ein Spaßbad. Die Investoren sind trotzdem geprellt und ihr Geld haben jetzt andere.

Lilium bietet den Hubschrauberflug der nächsten Generation an – voll elektrisch und voll leise. Das Lilium-Flugtaxi hat 36 ummantelte Elektro-Turbinen für den Schub. Sie seien insgesamt leiser als die offenen Rotoren bei der Konkurrenz, heißt es. Augenzeugen der Flugerprobung außerhalb des Unternehmens gibt es keine, ein Besuch der Flugtests wird Journalisten bisher nicht gewährt. Bis heute hat Lilium

nur einen unbemannten Prototyp für einen kleinen Hopser in die Luft gebracht. Im Februar 2020 brannte ein Lilium-Prototyp am Boden ab. Das alles ficht die Großankündiger bei Lilium zwecks Geldeinsammeln von gutgläubigen Anlegern nicht an. Es gibt jede Menge wunderbare Computergrafiken des Wunderfluggerätes.

Wir rechnen mal kleinlich nach

Grundrechenarten? Fehlanzeige. Da wollen wir mal etwas kleinlich nachrechnen.

Die Lufttaxis sollen durchschnittlich 25 Flüge pro Tag mit durchschnittlich 100 Kilometer Distanzen bewältigen und dabei zehn Stunden fliegen... So, so.

Sagen wir mal, der Tag hätte ungefähr 24 Stunden. Das heißt, bei ununterbrochenem Einsatz von 25 Flügen wie angekündigt, bleibt pro Tag weniger als eine Stunde pro Flug von 100 km. Davon ist der Vogel mehr als eine halbe Stunde in der Luft. Bleiben ganze 30 Minuten zum Laden der Lilium-Batterien für den neuen Flug. Bei einem Besuch von Kanzlerin Merkel und Wirtschaftsminister Altmaier, Herr Söder war auch dabei, behauptete CEO Daniel Wiegand, dass dafür eine Ladezeit von 30 Minuten, bei den „neuen Batterien“ nur 15 Minuten benötigt würde. Steffen Seibert bei Twitter: „E-Mobilität auch in der Luftfahrt – beim Digitalgipfel beeindruckt das weltweit erste senkrecht startende und landende Jet-Flugzeug.“

Herr Söder hat ja schon reichlich Erfahrungen mit solchen Luftnummern. Wo der Strom herkommen soll, hat CEO Wiegand nicht gesagt. Und keiner der tief beeindruckten dreinblickenden Politiker hat gefragt.

Es ist schon erstaunlich, wie gerne sich führende Politiker mit Luftnummern schmücken. Und überhaupt, tolle Batterien sind das. 15 Minuten Ladezeit für 300 km durch die Lüfte. Ist das mit oder ohne Sicherheitsreserve? Da kann die weltweite Autoindustrie noch was lernen. Besonders, wenn man bedenkt, dass für die gleiche Reichweite beim Fliegen im Vergleich mit dem Fahren der Energieverbrauch ungefähr beim Faktor fünf liegt.

Zwischen den Versprechungen und den Ergebnissen liegen Welten

Lilium soll fünf Personen mit einer Geschwindigkeit von 300 km/h über eine Strecke von 300 Kilometern befördern können?

Dazu braucht es ungefähr ein 1,5t Fluggerät, nämlich ca. 500 Kilogramm für Passagiere und Gepäck und etwa 500 Kilogramm für Zelle und Antrieb. Dazu muss von etwa einem Drittel Akkugewicht ausgegangen werden. Bei der heute verfügbaren Energiedichte von rund höchstens 240 Wh/kg, dem mit hohen Verlusten behafteten Antrieb mit kleinen Propellern und der energieintensiven Senkrecht-Start-Flugphase- und Landephase ergibt sich eine verfügbare Schwebeflugzeit von wenigen Minuten. Da bleibt nicht mal

Zeit für den extrem schwierigen Übergang vom Senkrechtstart in die horizontale Flugphase. Es ist nur zu hoffen, dass das Ding wenigstens Motoren in den Rädern zum Fahren hat, damit die Passagiere nicht zum Terminal laufen müssen. Ach nein, es hat ja keine Räder.

Mit seiner Einschätzung über die Lilium-Luftnummer ist der Autor nicht ganz alleine. In der Ausgabe 2/2020 hat der „aerokurier“ eine kritische Analyse zum Lufttaxi Lilium veröffentlicht – mit dem Ergebnis, dass die versprochenen Leistungswerte mit heutiger Technologie nicht zu erreichen sind. Und fragt bezüglich der Lilium-Manager: „Hoffnungsträger oder Hochstapler?“ In einer ausführlichen Berechnung kommen die „aerokurier“-Experten auf eine Reichweite von 18 statt 300 Kilometern bei einer maximalen Schwebeflugdauer für Start und Landung von rund 70 Sekunden. Selbst wenn sich die Experten ein bisschen irren – zwischen ihren Ergebnissen und den Versprechungen liegen Welten. Konfrontiert mit den Ergebnissen, reagierte Lilium-Investor Frank Thelen denn auch extrem dünnhäutig.

Flugtaxis – ich würde mich riesig über die Lösung eines Problems freuen, das keiner hat. Ich würde neidlos und demütig Asche auf mein Haupt streuen, wenn ab 2024, also in gut zweieinhalb Jahren, die versprochenen ersten Einnahmen aus dem kommerziellen Betrieb von Lilium fließen, samt Produktion von 90 Modellen.

Der Beitrag erschien zuerst bei ACHGUT hier

---

## **Der russische BREST – OD-300 Reaktor – Beginn einer neuen Ära?**

geschrieben von Admin | 8. Juli 2021

von Dr. Klaus Dieter Humpich

Im Juni 2021 begann der Bau eines neuen Reaktors im sibirischen chemischen Kombinat Seversk. Der Ort ist nicht zufällig gewählt, sondern es handelt sich um ein grundsätzlich neues System: Ein spezieller Reaktor mit angeschlossener Wiederaufbereitung. Ziel ist ein Kernkraftwerk, dem lediglich Uran (aus abgebrannten Brennelementen) zugeführt wird und nur (endlagerfähige) Spaltprodukte abgeführt werden. Der entscheidende Punkt gegenüber herkömmlichen Reaktoren ist der Abfall Spaltprodukte. Die Problematik der Endlagerung über sehr lange Zeiträume wäre damit vom Tisch, da Spaltprodukte in weniger als 300 Jahren zerfallen sind. Die sehr langlebigen Transurane werden bei diesem Reaktor kontinuierlich „mit verbrannt“. Diese „Stromfabrik“ besteht also

aus drei Einheiten: Der (neuartigen) Brennelemente-Fabrik, dem Kernreaktor und der Wiederaufbereitungsanlage. Die Brennelemente-Fabrik soll 2023 und die Wiederaufbereitung 2024 gebaut werden. Der Reaktor soll 2026 in Betrieb gehen.

## Der BREST-OD-300

Das Entwicklungsziel dieses Reaktors der vierten Generation war „natürliche Sicherheit“. Das Kühlmittel ist nicht Wasser unter hohem Druck, sondern nahezu druckloses Blei. Der Reaktorkern befindet sich deshalb nicht in einem dickwandigen Druckbehälter, sondern in einem (nahezu drucklosen) Tank für flüssiges Blei. Der Schmelzpunkt von Blei liegt bei rund 330°C. Dies ergibt ein neuartiges Sicherheitsproblem, denn es muß gewährleistet sein, daß das Blei an keiner Stelle einfriert und irgendwelche Kanäle verstopft. Andererseits ist der Siedepunkt mit über 1700°C so hoch, daß sich kein Druck im Reaktorkreislauf aufbauen kann. Leckagen sind unproblematisch, da Blei weder mit Luft noch mit Wasser heftig reagiert. Blei wird praktisch auch nicht aktiviert, sodaß nur ein einfacher Kreislauf nötig ist, was Kosten spart und das System vereinfacht. Die Austrittstemperatur des Blei beträgt rund 540°C. Ist also weit von der Siedetemperatur entfernt. Hinzu kommt die große Wärmespeicherfähigkeit des Blei (spezifisch und über das Tankvolumen), die alle Lastsprünge abfedert. Ein solcher Reaktor ist in seinem (sicherheitstechnischen) Verhalten sehr gutmütig.

Blei ist ein sehr schlechter Moderator, der die Neutronen kaum abbremsst. Schnelle Neutronen können zwar alles Uran, Plutonium und sogar die minoren Aktinoide spalten – das allerdings mit einer weit geringen Wahrscheinlichkeit. Als Konsequenz muß man entweder eine hohe Anreicherung oder einen höheren Gehalt an Plutonium verwenden. In diesem Sinne sind solche Reaktoren sinnvollerweise als Nachfolger der Leichtwasserreaktoren anzusehen. Erst wenn man entsprechend viele abgebrannte Brennelemente besitzt – von „Atomkraftgegnern“ fälschlicherweise als „Atom Müll“ bezeichnet – aus denen man das Plutonium extrahieren kann, kann man sinnvollerweise mit dem Aufbau einer Flotte schneller Reaktoren beginnen. Für jede Erstbeladung muß das Plutonium von außen kommen. Läuft ein solcher Reaktor, kann er genug neues Plutonium bilden um für seinen Weiterbetrieb selbst zu sorgen. Man muß dann nur die Spaltprodukte entfernen (die nukleare Asche) und die gespaltenen Kerne durch  $U^{238}$  – ebenfalls von „Atomkraftgegnern“ als „Atom Müll“ bezeichnet – ersetzen. In diesem Sinne verfügen wir bereits heute über gigantische Energievorkommen in der Form abgebrannter Brennelemente aus Leichtwasserreaktoren. Bisher war die Nutzung wegen der geringen Natururan-Preise noch unwirtschaftlich. Allerdings kommen die stets steigenden Lagerkosten für abgebrannte Brennelemente einer schnelleren Nutzung entgegen.

Da Blei ein schlechter Moderator ist, kann man die Gitterabstände im Kern vergrößern. Durch den verringerten Strömungswiderstand kann man

mehr Wärme über Naturkonvektion abführen, was die Notkühlung auch nach einem Blackout (Fukushima) ermöglicht. Zu diesem Zweck sind Kamine (2 von 4 genügen) vorhanden, die die Restwärme passiv an die Umgebungsluft abführen. Selbst unter vollständigem Verlust der Wärmesenke bei voller Leistung von 700 MW<sub>th</sub> erreicht die Hüllrohr-Temperatur am ungünstigsten Brennstab keine 900°C. Für die Hüllen aus Stahl kein großes Problem: Ein Unglück wie in Fukushima wäre gar nicht möglich. Es könnte kein Knallgas entstehen (Reaktion der Zirconium-Hüllen mit Wasserdampf) und es wäre keine aktive Not-Kühlung nötig. Treffender kann man nicht verdeutlichen, was mit „natürliche Sicherheit“ gemeint ist.

## Die Brennstäbe

Auch hier geht man neue Wege. Bei herkömmlichen Reaktoren verwendet man Uranoxid als Brennstoff in Hüllrohren aus Zirkalloy. Uranoxid ist eine (spröde) Keramik mit schlechter Wärmeleitung. Es kann bei einem Störfall passieren, daß die Brennstäbe in ihrem Zentrum bereits aufschmelzen und Spaltprodukte frei setzen, während sie ansonsten noch intakt sind. Fallen sie kurzzeitig und lokal trocken (Kühlmittelverlust-Störfall), kann die Abschreckung durch die Notkühlung fatale Konsequenzen haben (Harrisburg, Fukushima).

Bei diesem Typ verwendet man Uran-Plutonium-Nitrid als Brennstoff. Es besitzt eine um 30% größere Dichte, eine 4 bis 8 fache Wärmeleitung, gute Rückhaltung für Spaltprodukte, gute Formstabilität und geringe Reaktionen mit der Edelstahl-Hülle. Die hohe Dichte und gute Wärmeleitung führen zu geringeren Temperaturgradienten zwischen Zentrum und Umfang. Dies führt zu einer hohen Lebensdauer der Brennelemente (Brennstoffwechsel nur alle fünf Jahre) und großen Sicherheitsreserven für Störfälle.

Der Kern besteht aus 169 Brennelementen, hat eine Höhe von lediglich 1,1m und beinhaltet rund 20 to Brennstoff. Die Brennelemente sind sechseckig, wodurch sich eine sehr dichte Packung ergibt. Sie sind rundum offen, um bei einer etwaigen Verstopfung auch Querströmung zu ermöglichen. Auf Grund der Brennstoffeigenschaften und der Konstruktion ist die Neutronenökonomie so gut, daß keine separate Brutzone erforderlich ist und trotzdem eine Konversionsrate von Eins („Selbstversorgung“) erzielt wird.

## Wiederaufbereitung

Bisher wurde großtechnisch nur das PUREX-Verfahren angewendet. Dieses nass-chemische Verfahren zielt – ursprünglich aus der Rüstung kommend – auf die Rückgewinnung von möglichst reinem Uran und (insbesondere ) Plutonium ab. Alles andere ist Abfall. Dieser ist wegen der minoren Aktinoide besonders langlebig und erfordert ein geologisches Tiefenlager zur Endlagerung. Bei diesem Reaktorkonzept sieht die Fragestellung gänzlich anders aus. Hier gilt es nur die Spaltprodukte – die nukleare

Asche – zu entfernen. Alles andere soll und kann als Energieträger verbleiben. Die Spaltprodukte können anschließend weiterverarbeitet oder verglast werden und in Edelstahlbehälter abgefüllt werden. Wegen der relativ geringen Halbwertszeiten kann dieser Abfall je nach Gusto „tiefengelagert“ oder „ingenieurgelagert“ werden. Auf jeden Fall, zu verschwindend geringen Kosten gegenüber der Endlagerung von kompletten Brennelementen.

## **Der BREST-OD-300 im Allgemeinen**

Der Reaktor verfügt über eine elektrische Leistung von  $300 \text{ MW}_{\text{el}}$  bei einer thermische Leistung von  $700 \text{ MW}_{\text{th}}$ . Er wäre per Definition damit noch ein SMR. Der Hersteller selbst betrachtet ihn eher als Vorläufer für einen Reaktor mit  $1200 \text{ MW}_{\text{el}}$ , der etwa Anfang der 2030er Jahre gebaut werden soll. Es ist der russische Weg der kleinen, aufeinander aufbauenden Schritte mit immer mehr gesammelten Erfahrungen, die in das jeweilige Nachfolgemodell einfließen können. In diesem Zusammenhang muß man feststellen, daß die Entwicklung bleigekühlter Reaktoren in Russland eine Jahrzehnte lange Tradition hat. Sie reicht bis auf die U-Boote der Alfa-Klasse (Bauzeitraum 1968–1975, Außerdienststellung 1983 bis 1997) zurück. Zahlreiche Probleme bezüglich Korrosion und Verschleiß konnten inzwischen gelöst werden.

Der Aufbau ähnelt klassischen Druckwasserreaktoren: In der Mitte befindet sich der Reaktor. Von ihm gehen vier Kühlkreisläufe (flüssiges Blei) ab. Jeder Kühlkreislauf versorgt zwei Dampferzeuger. Das in den beiden Dampferzeugern abgekühlte Blei wird von einer Umwälzpumpe angesaugt und dem Reaktor wieder zugeführt. Die acht Dampferzeuger produzieren etwa  $1500 \text{ to/h}$  Dampf mit einer Temperatur von über  $500^\circ\text{C}$ . Auf Grund der höheren Dampftemperaturen ergeben sich bessere Wirkungsgrade und andere Anwendungsgebiete (z. B. Wasserstoffherstellung durch Hochtemperatur-Elektrolyse, Raffinerien, chemische Industrie etc.). Jeder Kühlkreislauf bildet eine separate Baugruppe mit kompletter Notkühlung, Umwälzpumpe etc. in einer eigenen „Betonkammer“. Das Ganze ist von einem Betonzylinder als Schutz gegen Einwirkungen von außen umgeben.

Anders als bei Leichtwasserreaktoren wird der Kern durch eine Lademaschine versorgt. Sie kann Brennelemente entnehmen, umsetzen und durch frische ersetzen. Verbrauchte Elemente werden im Bleitank bis zum erforderlichen Abklingen zwischen gelagert. Sie stehen also stets unter dem gleichen Schutz (Fukushima) wie der Reaktorkern. Ein Brennstoffzyklus dauert fünf Jahre (Leichtwasserreaktor 9 bis 16 Monate üblich). Sind erst einmal die üblichen Kinderkrankheiten beseitigt, kann man von einer noch besseren Verfügbarkeit als heute (etwa 90%) ausgehen. Geplant ist ein Abbrand zwischen 5,5% und 9% Schwermetall. An dieser Stelle erscheint es sinnvoll, sich die Materialströme und Abfallmengen zu verdeutlichen. Wenn dieser Reaktor das ganze Jahr voll durchläuft (Grundlast) verbraucht er etwa  $270 \text{ kg}$  Uran. Das ist gleichzeitig die

Menge hochaktiver Spaltprodukte die jährlich anfällt. Geht man von einem mittleren Abbrand von 8% Schwermetall aus, sind etwa 3,5 to frische Brennelemente jährlich nötig. Das alles erinnert mehr an eine Anlage im Labormaßstab. Wollte man diese Strommenge von 2,6 TWh mit einem Offshore-Windpark erzeugen, müßte dieser mindestens 1000 MW umfassen oder bei einem Photovoltaik-Park mindestens 2000 MW. Wobei dies lediglich die gleiche Energieproduktion wäre. Da aber Wind und Sonne nur zufällig und unvorhersehbar sind (Wettervorhersage), müßten noch die zwingend erforderlichen Stromspeicher (zusätzliche Investitionen) und deren Verluste (ca. 50% für längere Ausfallzeiten) hinzugerechnet werden. Diese wenigen Zahlen machen deutlich, daß zumindest Russland nicht zurück ins Mittelalter will, ob nun „Klimakatastrophe“ oder nicht.

## **Sicherheit**

Die vierte Generation soll noch einmal um Größenordnungen „sicherer“ sein als die derzeitige dritte Generation. Gemeint ist damit die Wahrscheinlichkeit für Unglücke, bei denen Radioaktivität das Betriebsgelände überschreitet und damit Anlieger gefährdet. Diese Reaktoren sollen so sicher sein, daß sie unmittelbar in einer Chemieanlage betrieben werden können, denn sie sind nicht gefährlicher als diese Anlagen selbst, wodurch völlig neue Anwendungen für Kernenergie möglich sind.

Da diese Kernkraftwerke mit dem „Abfall“ der bisherigen Kernkraftwerke betrieben werden können, sind sie extrem „nachhaltig“. Damit sind nicht nur die abgebrannten Brennelemente gemeint, sondern auch das „Abfall-Uran-238“ aus den Anreicherungsanlagen. Ganz neben bei, löst sich auch die „Endlagerfrage“. Spaltprodukte sind im Vergleich zu den Aktinoiden kurzlebig. Diese Form von „Atomüll“ ist nach wenigen Jahrzehnten weiterverarbeitbar. In ihnen sind jede Menge wertvoller Stoffe enthalten. Schon heute werden seltene Isotope aus dem Abfall der militärischen Wiederaufbereitung für z.B. medizinische Anwendungen gewonnen. Wer aber unbedingt möchte, kann sie auch weiterhin in geologischen Tiefenlagern verschwinden lassen. Nur eben zu viel geringeren Kosten.

Der Beitrag erschien zuerst auf dem Blog des Autors, hier

---

# **Lange Leitungen gefährden die Stromversorgung**

geschrieben von Admin | 8. Juli 2021

**von Hans-Günter Appel**

Wenn jemand eine lange Leitung hat, braucht er lange bis zur richtigen Erkenntnis. Das gilt wohl auch für die vielen Politiker, die lange Stromleitungen von Nord nach Süd fordern, um den Windstrom von der Küste zu den Verbrauchern in Hessen, Bayern und Baden-Württemberg zu leiten. Denn dort sollen bald alle Kern- und Kohlekraftwerke abgeschaltet und durch Wind- und Solarstrom ersetzt werden. Die Schwächen und die Gefahr eines Blackouts durch lange Stromleitungen haben sie wohl nicht begriffen.

## **Teure Leitungen**

Neue Übertragungsleitungen mit einer Spannung von 380 Kilovolt (kV) kosten als Drehstrom-Freileitungen etwa eine Million Euro / Kilometer. Als Gleichstromleitungen in die Erde verlegt steigen die Kosten um das 6 bis 8-fache. Dazu kommen die Kosten für die Umspannwerke mit Konvertern zum Wechsel von Drehstrom auf Gleichstrom und umgekehrt an beiden Leitungsenden. Die Übertragungsnetzbetreiber haben für die geplanten Leitungen bereits viele Milliarden Euro eingeplant.

Reparaturen an den Leitungen sind aufwendig. Bei den Überlandleitungen dauern sie nach Angaben der Netzbetreiber Stunden bis Tage. Die erdverlegten Leitungen sind erst nach Tagen bis Wochen wieder betriebsklar.

## **Teurer Transport**

Doch auch der Stromtransport selbst ist nicht zum Nulltarif zu haben. Die Verluste in den Umspannwerken werden mit etwa 2 Prozent angegeben. Die Leitungsverluste für 100 Kilometer liegen bei 1 – 2 Prozent. Die Leitungen erwärmen sich bei maximaler Leistung bis auf 60 Grad Celsius. Als Faustregel kann man mit Stromverlusten von 10 Prozent rechnen, wenn Strom von der Küste in den Süden geleitet wird.

Darin sind die Aufwendungen für die Kompensation des Blindstroms nicht enthalten. Blindstrom entsteht auf dem Leitungsweg durch Induktionsvorgänge des Wechselstroms, die zum Verschieben der Spannung gegen die Stromstärke führen. Im Idealfall sollten die beiden Phasen synchron mit der gleichen Sinusfrequenz schwingen. Dann ist die Leistung, das Produkt aus Spannung mal Stromstärke, am höchsten. Durch eine Verschiebung nimmt die Wirkleistung ab, weil dann zeitweise eine positive Stromstärke mit einer negativen Spannung im Netz ist. Durch sogenannte Phasenschieber (Kondensatoren, Generatoren) können die Phasen wieder in Einklang gebracht werden.

Die Phasenschieber führen zu weiteren Leitungsverlusten und Kosten. Für die Stromwirtschaft gilt seit vielen Jahrzehnten die Faustregel: Es ist wirtschaftlicher, die Brennstoffe zum Verbraucher zu bringen und dort zu verstromen, wenn die Entfernung mehr als 200 Kilometer beträgt. Diese Erkenntnis ist der Energiewende zum Opfer gefallen. Für die

Wendeideologen und die Profiteure ist der Stromtransport offensichtlich kostenlos und ohne Verluste.

## **Stromqualität nimmt ab**

Für die Wechselstromleitungen ist nicht nur die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Stromstärke ein Problem. Die Korrektur des Blindstroms wie auch Einspeisungen und Ausspeisungen an Knotenpunkten führen zur Deformation der Sinusschwingungen und zu hochfrequenten Oberschwingungen. Letztere erschweren oder verfälschen Signale, die über die Leitungen zum Steuern des Netzes geschickt werden. Die Fachleute sprechen von einem Verschmutzen des Netzstromes.

## **Netzkosten für Großabnehmer**

Die Netzkosten für Großabnehmer richten sich nach der Entfernung zum nächsten Kraftwerk, das die benötigte Leistung bereitstellen kann. Die Wendepolitik zeigt, dass durch das Abschalten von Kohle- und Kernkraftwerken Betriebe plötzlich deutlich höhere Netzgebühren zahlen müssen, weil das nächstgelegene Kraftwerk abgeschaltet wurde. Ein Beispiel ist nach einem Bericht in *Die Welt* das Trimet-Aluminiumwerk in Hamburg mit einer Anschlussleistung von rund 300 Megawatt (MW). Das ist fast die halbe Leistung eines Blockes des Kohlekraftwerks Moorburg. Das Werk hat zwei Blöcke mit je 800 MW Leistung. Bis zum Kraftwerk Moorburg sind es nur wenige Kilometer. Die Netzgebühren waren moderat. Zum 1. Januar 2021 wurde das Kraftwerk nach dem Kohleausstiegsgesetz abgeschaltet. Damit steigen die Netzgebühren, denn das nächste leistungsfähige Kraftwerk ist das etwa 60 Kilometer entfernte Kernkraftwerk Brokdorf. Für Trimet steigen dadurch die Netzgebühren um einen zweistelligen Millionenbetrag. Mit der geplanten Abschaltung von Brokdorf noch in diesem Jahr nimmt die Entfernung zum nächsten Kraftwerk nochmals kräftig zu. Trimet wird dann nicht mehr wirtschaftlich produzieren!

## **Stromnetz wird geschwächt**

Der Transport von Strom über lange Strecken ist nicht nur teuer und technisch aufwendig. Er bedroht auch eine sichere Stromversorgung und kann zum Zusammenbruch des Netzes führen. Dies zeigen die Ereignisse am 8. Januar 2021. Es wurde Strom vom Balkan nach Frankreich geschickt, um dort Elektroheizungen zu versorgen. Die Hauptleitung wurde defekt. Darauf wurden auch die Umleitungen im Verbundnetz überlastet und schalteten sich automatisch ab. Es kam zu einem dramatischen Frequenzanstieg zunächst auf dem Balkan, der zum Trennen der osteuropäischen Regelzone vom übrigen Europa führte. Darauf fiel die Frequenz in den westlichen Regelzonen ab, weil dort Leistung fehlte. Zum Glück waren vor allem in Deutschland viele Dampfkraftwerke am Netz, da der Wind schwach war. Sie verhinderten mit ihrer Momentan-Reserve eine kritische Frequenzminderung und konnten durch Erhöhen ihrer Leistung die

Sollfrequenz in kurzer Zeit wieder sichern.

Die Schilderung zeigt, es wird sehr kritisch, wenn Wind- und Solarstrom über große Strecken geleitet werden. Kommt es hier zu einem Leitungsausfall, gibt es im Zielgebiet zu wenig Strom. Die Frequenz fällt. Im Zielgebiet Süddeutschland gibt es aber mit der fortschreitenden Abschaltung der Kern- und Kohlekraftwerke immer weniger Momentan-Reserve und Regelenergie. Die Momentan-Reserve ist die Rotationsenergie der schweren Generatoren, die kurzfristig in Strom umgewandelt wird und so Spannungsschwankungen mildert. Um die Momentan-Reserve zu sichern, sollen daher die Generatoren der abgeschalteten Kraftwerke weiter laufen, angetrieben mit Netzstrom. Das ist ein weiterer Kostenfaktor. Es fehlt aber weiterhin die Regelenergie, die nur durch Dampfkraftwerke verlässlich erzeugt werden kann. Wind- und Solarstromanlagen kann man zwar herunterfahren, aber nicht auf höhere Leistungen bringen. Ohne Dampfkraftwerke ist eine kritische Unterversorgung in Süddeutschland programmiert, die zum Blackout führt, wenn das dortige Übertragungsnetz abgeschottet wird. Die angrenzenden Netze werden durch Strommangel oder Überfluss instabil und können gleichfalls kollabieren. Ein europaweiter Blackout wäre die Folge.

Es zeigt sich immer mehr, wir können auf die Dampfkraftwerke quer durch Deutschland nicht verzichten. Eindrucksvoll wurde das demonstriert während der Krise am 8 Januar. Das Kohlekraftwerk Heyden in Ostwestfalen wurde zum Jahresanfang abgeschaltet und bereits eine Woche später wieder reaktiviert, um einen Netzzusammenbruch an den Folgetagen zu vermeiden. Inzwischen war es weitere fünfmal am Netz. Es wird spannend. Wenn weitere Kraftwerke abgeschaltet werden, wird ein Blackout unvermeidlich. „Experten“ der Regierung überlegen zurzeit, wie man durch gezielte Abschaltungen von Industriebetrieben und Versorgungsbereichen bei Dunkelflauten den Zusammenbruch des Netzes verhindern kann, wenn die Regelenergie aus Dampfkraftwerken nicht mehr ausreicht. Wir müssen uns wohl auf Strommangel wie in der früheren DDR einstellen.

Prof. Dr.-Ing. Hans-Günter Appel

Pressesprecher

Stromverbraucherschutz NAEB e.V.