

## Vorschlag zum Bau einer Pilotanlage zur Speicherung von überschüssigen Energiemengen aus Solar- und Windkraftanlagen sowie Möglichkeiten zur Netzstabilisierung

Ja, wir wissen, dies ist eine umfangreiche Präsentation und niemand liest gern viel und lange. Darum vorweg in Kurzform, was wir erreichen können.

1. Eine Speichertechnologie, die nicht auf einer chemischen Reaktion beruht, sondern auf einer Änderung des Aggregatzustands von Metall. D.h. **kein Leistungsverlust** auch über lange Zeiträume. 100% der Speicherkapazität steht auch noch nach 30 Jahren und mehr zur Verfügung. Kein Verschleiß.
2. Die Speicherung erfolgt sehr rasch – in der Standardeinheit können 30 MWh in 60 Minuten gespeichert werden. Die Regelung ist im Vergleich zu Lithiumbatterien extrem einfach und sicher. Keine Überhitzungs-, Brand- oder Explosionsgefahr.
3. Es lassen sich sehr rasch und kostengünstig große Speicherkapazitäten aufbauen, so dass im Rahmen des Einspeisemanagements keine Zwangsabregelungen mehr erforderlich sind. Z.B. 1,5 GWh sind gerade einmal 50 Einheiten.
4. Die Standardeinheit hat die Größe eines 20 Fuß Containertanks (Abbildung) und fasst 30 MWh Energie. Damit wird konventionelle, Solar- und Windenergie nicht nur speicher-, sondern auch transportfähig.



5. Die Technologie ist, bis auf einige patentierte Teile, Stand der Technik und wird von namhaften und erfahrenen Herstellern produziert. Die Kombination ist neu und die Tatsache, dass man bei der Energie-Rückgewinnung Gasturbinen ohne Gas nur mit Hitze betreiben kann (patentierte Technologie; Grundlagen in den 1950er Jahren in den USA erarbeitet).
6. Die Technologie ist zukunftsfähig, da man in Zukunft bestehende Erdgas-, Dampf- und Gas-/Dampf-Kombikraftwerke auf Solar- und Windenergieversorgung umrüsten kann. Das senkt die Investitionskosten bei der „Vergrünung der Energielandschaft.“
7. Unternehmen im Raum Berlin-Brandenburg haben die Gelegenheit, sich in eine Zukunftstechnologie einzuarbeiten, die die Energielandschaft verändern wird. So lassen sich mit großen Containerschiffen 300 GWh Solarenergie aus der Sahara nach Europa transportieren, oder in Kanada erzeugte Elektrizität aus Wasserkraft in die Karibik, wo die Einführung erneuerbarer Energien Probleme bereitet. Wir arbeiten bereits an einem Konzept mit einigen der Inseln.

## **Die Ausgangslage**

Aufgrund der Tatsache, dass inzwischen über 30% der elektrischen Energie aus erneuerbaren Quellen stammen, sehen sich die Energieversorger in Deutschland und insbesondere in Norddeutschland erheblichen Problemen bei der Netzstabilität und Netzbalance ausgesetzt. Da das Netz noch nicht auf das Nord-Süd-Gefälle bei der Windenergie eingerichtet ist, lässt sich auch mit der besten Software heute noch kein Ausgleich der schwankenden Energieeinträge von Solar- und Windkraftanlagen schaffen. Wegen der Leitungsverluste sollte ohnehin die Prämisse „lokale Produktion und lokaler Verbrauch“ Vorrang haben.

Im Ergebnis müssen die Energieversorger zu Zeiten besonders hoher Produktion von erneuerbaren Energien die Erzeuger dazu auffordern, die Anlagen abzuschalten, da die Grundlasterzeuger (Gas-, Kohle- und Atomkraftwerke) nicht rasch und problemlos ihre Produktion reduzieren können. In Deutschland wurden daher in 2015 4.722 GWh abgeregelt. In 2016 waren es nur noch 3.743 GWh, aber das lag in erster Linie an den ungünstigeren Windverhältnissen nicht so sehr an der Verbesserung des Netzes.

Die Betreiber werden zwar wegen des Vorrangs von erneuerbaren Energien entschädigt, aber volkswirtschaftlich und für die Verbraucher, die letztendlich die Zeche bezahlen müssen, ist dies ein großer Schaden, der auf Dauer nicht tragbar ist.

Die Erfahrungen in Deutschland und Kalifornien, das ein ebenso hohen Anteil an schwankenden Energiequellen hat wie Deutschland, haben gezeigt, dass sich die Problematik mit steigendem Anteil von erneuerbaren Energien nicht vermindert sondern weiter verschärft. Kalifornien musste allein im Frühjahr 2017 über 7000 GWh abregeln. Eine effektive Speichertechnologie kann hier Abhilfe schaffen. Die Entschädigungszahlungen in der Bundesrepublik von 478 Mio. Euro im Jahre 2016 hätten ausgereicht, um 1350 x 30 MWh (41 GWh) Speicherkapazität zu schaffen. Damit wäre das Abregelungsproblem bundesweit aus der Welt gewesen.

## **Konventionelle Speicherung mit Lithiumbatterien**

Dank einer geschickten Werbestrategie von TESLA und anderen werden auch in Deutschland derzeit große Speicheranlagen mit Lithiumbatterien gebaut. Das geht natürlich, aber ist es sinnvoll?

Lithiumbatterien sind eine hervorragende Speichertechnologie. Aber man darf nicht außer Acht lassen, dass jede Technologie eine Kernkompetenz hat und andere Bereiche, die mehr „das können wir auch“ sind. Großanlagen gehören ganz eindeutig NICHT zur Kernkompetenz von Mini-Lithiumzellen.

Die einzelnen Lithiumzellen für Großspeicher sind sehr klein, nur ca. 6,5x1,7 cm. Das ist für Kleingeräte, wie Smartphones hervorragend und wird derzeit von keiner anderen Batterietechnologie übertroffen. Man kann sie auch sehr gut noch zu Kombi-Batterien im Kilowattbereich für E-Mobilität und Speicherung im Haushalt verwenden. Aber um 8MW (32MWh) zu speichern, muss man 600.000 (!) Zellen kombinieren und ansteuern, um Überhitzung zu vermeiden

Hinzu kommen die bekannten Gefahren von Lithium Ionen Batterien. Sie können nur relativ langsam geladen werden dürfen, da sie zur Überhitzung neigen, was dann zu einer „run-away“ Reaktion mit anschließendem Brand oder Explosion führen kann. Die Luftfahrtbehörde der USA (FAA) hat neue Regeln zum Massen-Transport von Li-Batterien implementiert, um dieser Gefahr zu begegnen.

## Wie arbeitet das Speichersystem?

Das Grundprinzip der Aufnahme von großen Energiemengen liegt in der hoch effektiven Isolierung von flüssigem Metall. Sie ist aus der Stahlindustrie in den zum Transport von der Roheisengewinnung zur Thomasbirne verwendeten Torpedopfannenwagen bekannt.



Hierin kann das flüssige Eisen ohne Probleme tage- und wochenlang transportiert werden, ohne dass es erhärtet.

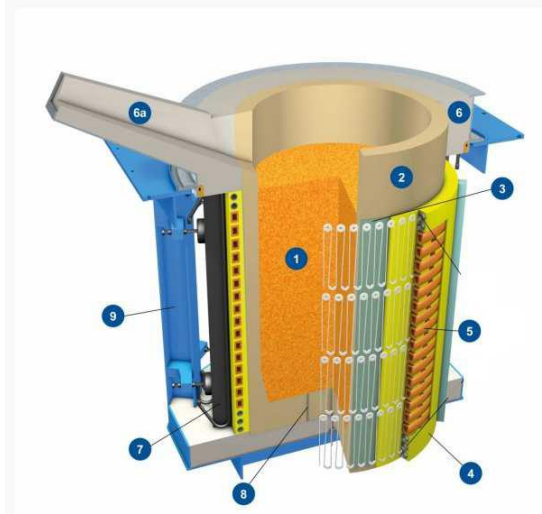
Die grundlegende Technologie zum „Laden“ der thermischen Batterie liegt in der **Induktionsheizung** von Metallen, wie sie **seit rund 120 Jahren** in der Stahlindustrie verwendet wird, um große Stahlteile im Walzwerk aufzuheizen. Sie ist also ebenfalls seit langem Stand der Technik.

Bitte folgendes Video ansehen: <https://www.youtube.com/watch?v=7ipZ4vdivbU>

Es ist nur 13 Sekunden lang, aber es zeigt deutlich wie schnell das Teil an zu glühen fängt und dass sich die Spule dabei nicht erhitzt. Dies ist der Grund, dass nur ca. 2% der Energie bei diesem Prozess verloren geht. Die rund 30 Tonnen Legierungs-Material können bei Bedarf **innerhalb nur einer Stunde auf 1650°C** aufgeheizt werden und 30 MW speichern.



Die Grundstruktur einer thermischen Batterie ist nahezu identisch mit der eines Induktions-Schmelzofens, wie er z.B. von der Firma Otto Junker (Lammersdorf bei Aachen) produziert wird.



- |                          |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| 1. Zu erheizendes Metall | 2. Hochwärmefeste Isolierung |
| 3., 4. Isolierungslagen  | 5. Induktionsspule           |

Es gibt jedoch drei wesentliche Unterschiede.

1. Es gibt keine Öffnungen nach außen und es fehlt an der Entnahmeöffnung, da der geschmolzene Kern immer in der Batterie verbleibt. Es kann also nicht zu Korrosion kommen.
2. Statt Stahl enthält die Batterie eine spezielle Legierung, die einen deutlich höheren Schmelzpunkt hat als Stahl. Sie kann bis auf 1650°C aufgeheizt werden und dadurch bis zu 30 MWh aufnehmen.
3. Die hochfeste Wärmeisolierung reicht nicht für so hohe Temperaturen. Stattdessen liefert das österreichische Unternehmen Rath, das über 100 Jahre Erfahrung auf diesem Gebiet hat, ein spezielles Keramikmaterial für diesen Zweck.

### Technische Ausführung



Die Batterie sieht so aus, links mit Verkleidung, rechts ohne, mit sichtbarer Spule. Die Maße sind 2,4x6m.

Nehmen wir an, dass es zu einer Netzüberlastung gekommen ist und ein Windpark dazu aufgefordert werden müsste, 30 MW seiner Leistung abzuregeln. In diesem Fall könnte die Windkraftanlage weiter laufen, weil die erzeugte Energie gespeichert wird. Hierzu durchläuft der produzierte Strom die Induktionsspule und erhitzt die Legierung im Innern auf 1650°C. Die Isolierung ist so gut, dass der Wärmeverlust pro Monat nur 15% beträgt.

## Rückgewinnung der Energie

Die unmittelbare Rückgewinnung der Energie erfolgt durch eine Gasturbine, die jedoch ohne Gas betrieben wird. Dies klingt anachronistisch, ist jedoch eine erprobte und patentierte Wärmetauscher-Technologie. Statt Kraftstoff oder Gas zu verbrennen, wird die von der Kompressorphase der Turbine komprimierte Luft direkt von einem Wärmetauscher aufgeheizt und treibt durch die Expansion die Turbinenstufe an.

Das Turbinen ausschließlich mit Hitze betrieben werden können, ist seit den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts bekannt. Zur Zeit des kalten Krieges führten sowohl die Amerikaner als auch die Russen intensive Versuche mit Atomantrieb von Flugzeugen durch. Dabei wurde im Reaktor Luft stark erhitzt und in die Turbine geleitet. Der einzige Unterschied zu diesem Verfahren ist, dass wir keine Atomkraft verwenden und die Wärme direkt in der Brennkammer der Turbine induzieren. Die Wärmeleiter zwischen Batterie und Wärmetauscher sind ebenfalls Stand der Technik und ein handelsübliches Produkt.

Während die Amerikaner nur Versuche auf dem Boden durchführten, haben die Russen tatsächlich eine Maschine geflogen. Die Entwicklung der interkontinentale Raketen machten solche Flugzeuge dann aber obsolet. Daher wurden die Versuche auf beiden Seiten noch vor 1960 eingestellt. Die modifizierten, aber ansonsten konventionellen General Electric J47 Turbinen liefen jedoch 1954 über 1000 Stunden ununterbrochen.

Gasturbinen haben einen elektrischen Wirkungsgrad von bis zu 38%, d.h. ein Teil der Energie wird durch die Rückgewinnung mit Turbinen als Wärmeenergie frei. Optimal sind also Anwendungen, wo auch Wärme, bzw. Kälte (für Kühlhäuser mit Absorptionskühlern) verwendet werden kann. Hotels haben z.B. ein fast ideales Verbrauchsspektrum von 35% Elektrizität und 65% für Wärme und HVAC (Raumklimatisierung) und Warmwasserversorgung. Fernwärmesysteme sind eine weitere Applikation, wobei letztere ja schon heute durch den Betrieb von Wärmepumpen zur Netzstabilisierung verwendet werden.

Wird jedoch mehr elektrische Energie gewünscht und benötigt, kann ein Gas-/Dampf-Kombikraftwerk verwendet werden. Auch hier ist Kraft-Wärmekopplung empfehlenswert. Hierdurch lassen sich bis 60% der Energie als Elektrizität zurückgewinnen. Schaltet man ein ORC-System (Organic Rankine Cycle) nach lassen sich noch einmal 5-10% mehr elektrische Energie gewinnen. Selbst wenn man also keine Verwendung für die Wärme hat und diese zur „Abwärme“ wird liegt die Technologie aber schon im Bereich von Lithiumbatterien.

Es ist nämlich ein Trugschluss, dass sich die eingespeiste Energie von Lithiumbatterien wieder vollständig zurückgewinnen lässt. Bei der Netzbalance kann man vier Verbrauchsstufen definieren – thermischer Verlust im Gleichstromwandler für die Umwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom, Ladungswärme- und Entladungswärme-Verlust sowie Verlust im Wechselstromwandler, um die Elektrizität wieder in das Netz einspeisen zu können. Zusammen macht das ca. 30% aus. Dazu dann noch die Klimaanlage des Gebäudes.

Der Vorteil der Turbinen-Abwärme gegenüber der Abwärme bei Lithiumbatterien (ist, dass sich die Abwärme besser und einfacher nutzen lässt. Es wäre sogar denkbar, die Kühlung für eine bestehende Lithiumbatterie zu liefern.

## Platzbedarf

Durch die hohen Temperaturen ist die thermische Batterie extrem platzsparend. Dies gilt insbesondere gegenüber der Batterietechnologie wie die oben gezeigten Fotos bereits deutlich machen. Hier noch ein weiteres Beispiel aus Hawaii. Die TESLA Batteriefarm mit 54 MWh Speicherkapazität nimmt 100 x 100m ein, während 2 bis 3 (je nach Bedarfsmuster) thermische Batterien dieselbe Speicherleistung haben.



Aber auch gegenüber anderen thermischen Speicherungsmethoden hat die thermische Batterie mit Metallkern neben den geringeren Kosten auch deutliche Platzvorteile.



Acht thermische Speicher mit geschmolzenem Salz in der Größe 6m x 2,4m speichern 30 MWh Energie

=



Eine einzige unserer thermischen Batterien hat dieselbe Leistung von 30 MWh Energie



## Kosten

Ein großer Vorteil der thermischen Batterien sind die deutlich niedrigeren Kosten. Es sind die niedrigsten elektrischen Speicherkosten pro Kilowattstunde auf dem Markt.

**Thermische Batterie** ... US\$80 (~€68) pro kWh (auf Grundlage der Umwandlung von thermischer in elektrische Energie mit einer Dampfturbine mit einem Wirkungsgrad von 35%. Ergänzen muss man den zusätzlichen Wert der überschüssigen Wärme, die thermische Energie zum Heizen oder Kühlen liefern kann. Dadurch erhöht sich die Effizienz auf rund 98%.)

**Thermische Batterie** ... US\$60 (~€51) pro kWh (auf Grundlage der Umwandlung von thermischer in elektrische Energie mit einer Gas-/Dampfturbinenkombination mit einem Wirkungsgrad von 58%. Ergänzen muss man den zusätzlichen Wert der überschüssigen Wärme, die thermische Energie zum Heizen oder Kühlen liefern kann. Dadurch erhöht sich die Effizienz auf rund 98%.)

## Zum Vergleich andere Wärmespeicher:

Geschmolzenes Salz ... um US\$600 pro kWh

Flow Batterien ..... um US\$500 pro kWh - keine nutzbare thermische Energie

Blei-Säure-Batterien... um US\$320 pro kWh - keine nutzbare thermische Energie

Lithium-Ionen-Batterien... um US\$250 pro kWh (voraussichtlich 2020) - keine nutzbare thermische Energie

## Sicherheit

Vielfach werden in Gesprächen Bedenken zur Sicherheit bei der Lagerung und Handhabung von geschmolzenem Metall geäußert. Diese sind jedoch unbegründet. Torpedopfannenwagen werden seit rund einhundert Jahren – nach unseren Recherchen – unfallfrei eingesetzt. Unfälle in Stahlwerken mit flüssigem Metall geschehen meist, wenn das Metall umgefüllt oder offen transportiert wird. Meist ist auch mangelnde Wartung oder menschliches Versagen im Spiel (Qinghe Special Steel Corporation, 2007). Die Batterien sind hermetisch geschlossen, schon um Oxidation zu vermeiden und werden im Regelfall nicht bewegt. Das Material unterläuft keinem chemischen Prozess sondern nur einer Aggregatzustandsänderung. Hierbei kommt es, wie bei Wasser, das zu Eis wird, zu Ausdehnungserscheinungen die konstruktiv berücksichtigt sind. Transportbehälter haben eine entsprechende Konstruktion, die Erschütterungen dämpft. Der Aufbau der Isolierlagen ist wie bei einer Zwiebel mehrschichtig und daher flexibel. Im Ergebnis kann man den Behälter aus zwei Meter Höhe herabfallen lassen oder mit einem LKW rammen, ohne das flüssiges Metall austritt. Die Firma Rath hat in einem Jahrhundert umfangreiche Erfahrungen gesammelt. Aus Sicherheitsgründen werden wir aber dennoch Thermosensoren (Kameras) der Firma Automation Technology GmbH in Bad Oldeslohe einsetzen, die die Behälter rund um die Uhr automatisch überwachen. Das Unternehmen ist weltweit führend auf diesem Gebiet.

Die Übertragung der Wärme mit 900°C bis 950°C erfolgt mit einem handelsüblichen Festkörpersystem und die Gasturbine ist ein Standardgerät in der Energieerzeugung.

Es bestehen demnach keine akuten Gefahren bei der Nutzung dieser Batterien.

## Zukunftssicherheit

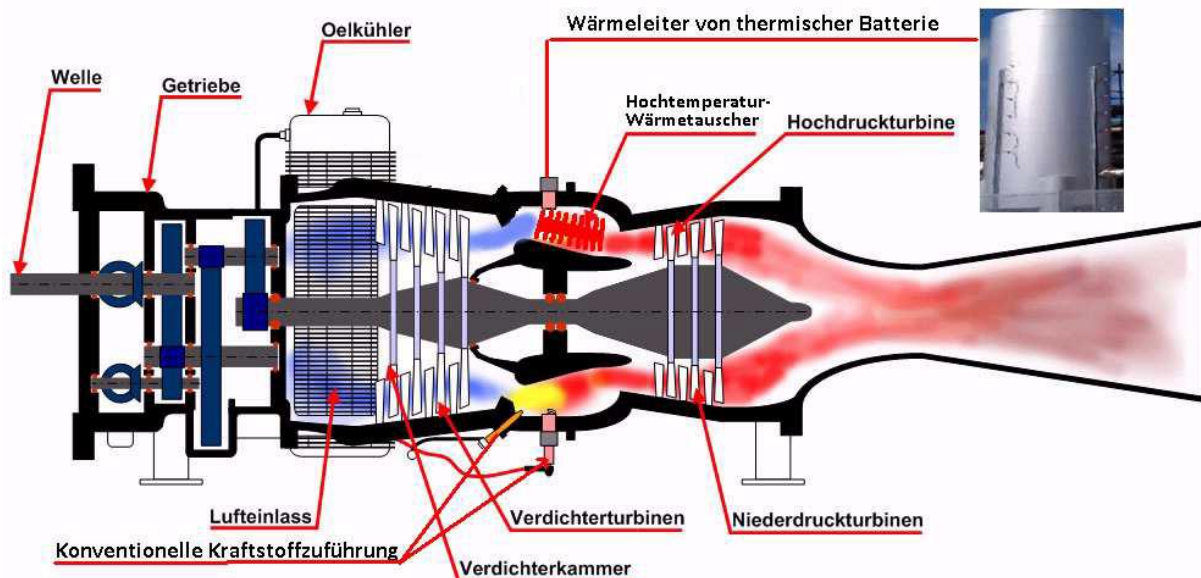
Zur Rückgewinnung der thermischen Energie und Erzeugung von Strom sind Turbinen erforderlich. Dadurch ergibt sich so ganz nebenbei ein ganz erheblicher Vorteil der thermischen Batterien. Bestehende Energie-Erzeuger und erneuerbare Energien lassen sich miteinander verknüpfen und beidseitig nutzbar machen.

Anders ausgedrückt können durch Zwischenschaltung von thermischen Batterien die von Solar- und Windkraft erzeugte Energie dazu verwendet werden, direkt bereits bestehende Gas- oder Dampfturbinen sowie CCGP (Gas/Dampf-Kombikraftwerke) anzutreiben. Gegenwärtig mit fossilen Brennstoffen wie Kerosin oder Erdgas angetriebene Gasturbinen können daher nach Umrüstung völlig kohlenstoffneutral von der durch Solar- und Windkraftanlagen erzeugten Energie betrieben werden. Hierzu ist die Verwendung der von unseren Partnern patentierten Technologie erforderlich.

Dagegen können bei Dampfturbinen die Boiler direkt von thermischen Batterien und Wärmetauschern betrieben werden. Im Prinzip wäre es sogar möglich, die Boiler und Turbinen von Kernkraftwerken mit erneuerbaren Energien zu betreiben.

Derartige Turbinen, insbesondere Dampfturbinen, haben eine Lebensdauer von Jahrzehnten und die potenzielle Weiterverwendung von bestehenden Anlagen senkt die Hürden zur Einführung von erneuerbaren Energien ganz erheblich.

# Gasturbinenantriebsaggregat





### **Transportfähigkeit**

Ein ganz besonders interessanter Aspekt der thermischen Batterien ergibt sich aus deren Transportfähigkeit. Die Abmessungen sind bewusst so gewählt, dass die zylindrische Batterie in ein 20 Fuß Container-Gestell passt. Das Erscheinungsbild und Gewicht der Batterien ist daher identisch mit typischen Flüssigkeitscontainern und sie können entsprechend genauso als Gefahrgut transportiert werden.



Anders ausgedrückt können nun Fernwärmesysteme in Ortschaften gebaut und mit erneuerbaren Energien betrieben werden, ohne dass in der Nachbarschaft große Abwärmemengen von Fabriken o.ä. zur Verfügung stehen. 30 MWh genügen, um drei Häuser für eine gesamte Heizperiode mit Wärme zu versorgen.

### **Kooperation**

Projektpartner sind erwünscht. Bei Interesse kontaktieren Sie:

#### **Ralf Steppeler**



EES Cavallino GmbH & Co. KG  
Letter Str. 34  
D 33442 Herzebrock-Clarholz  
Mobil +49 (0) 171 2104759  
info@cavallino-online.com  
<http://www.cavallino-online.com>