

CRYO – P[®] – Energiespeicher, der neuartige Speicher für volatile Energiequellen

Erfinder: Dipl. - Ing. Werner Hermeling
Wissenschaftliche Bearbeitung: Ao. Univ. - Prof. Dr. tech. Dipl.- Ing. Wolfgang Sanz
Dipl. – Ing. Gerald Zotter

Wir wurden mit dieser Erfindung mit dem

- „energy globe award styria“ 2011,
- „energy globe award austria Kategorie Feuer“ 2011
- „energy globe award austria Gesamtsieg“ 2011

Herr Dipl. Ing. Zotter wurde für seine Diplomarbeit, einer Feasibility study zum Thema mit dem

- 1. Preis der TU Graz 2010 des „Forums Technik und Gesellschaft“ in der Kategorie Diplomarbeiten

ausgezeichnet.

Resümme:

Das System der Energiespeicherung wird als Idee eines Praktikers, der Erfinders, vorgestellt. Im partnerschaftlicher Arbeit wurde durch die TU Graz, Institut für Thermische Turbomaschinen und Maschinendynamik mit wissenschaftlichen Methoden die Machbarkeit überprüft. Diese Arbeit wurde vom FFG gefördert.

Kernaussage des Verfahrens ist, dass volatil anfallende elektrische Energie indirekt mit verflüssigtem Stickstoff gespeichert wird. Dieser flüssige Stickstoff wird durch Luftzerlegung gewonnen. Der Luftzerleger wird mit dem überschüssigen Strom des alternativen Stromerzeugers (Wind oder Sonne) betrieben. Der flüssige Stickstoff wird bei Strombedarf mit dem patentierten CRYO – P[®] - Verfahren regasifiziert. Das CRYO – P[®] – Verfahren überführt den flüssigen Stickstoff nicht nur in die Gasphase, sondern erzeugt dabei auch noch einen sehr hohen Druck, so dass der Stickstoff im überkritischen Bereich gespeichert werden kann. Die Verdampfungs – und die Kompressionsenergie wird, im Gegensatz zur Kompressionsmaschine, ausschließlich der Umgebung, der Luft, entzogen. Dazu wird das Gas in Luftverdampfer gedrückt, in denen die Energiezufuhr erfolgt. Dieses hochkomprimierte Gas wird in der Entspannungsturbine, welche mit dem Generator verbunden ist, entspannt.

In der Diplomarbeit von Herrn Dipl. – Ing. Zotter, begleitet von Herrn Ao. Univ. - Prof. Dr. tech. Dipl. - Ing. W. Sanz, wird dieser Prozess auf Machbarkeit in Anlehnung an den Clausius - Rankine - Kreisprozess untersucht. Für die Berechnung wurde eine elektrische Leistung von 10 MW vorgeben. Im Ergebnis wurde ein elektr.

Wirkungsgrad von 13 % errechnet. Daraus können pro 1m^3 flüssigem Stickstoff ca. 50KWh elektrische Leistung zurück gewonnen werden. An der Verbesserung dieser Leistungsausbeute wird erfolversprechend gearbeitet.

Die Anlage kann prinzipiell mit bekannten Anlagenkomponenten gebaut werden. Hervorzuheben ist, dass die Leistungsbereitstellung konstant ist und nicht bei fallendem Speichervolumen sinkt. Das ist ein wesentlicher Vorteil im Vergleich zu allen anderen Speichern. Geologische Bedingungen müssen nicht beachtet werden.

Einführung

Mit diesem Verfahren kann Wind - oder Sonnenergie zu einer zuverlässigen

Stromquelle werden. Die bisher bekannten Probleme der Netzbelastung insbesondere durch volatile Windenergie könnte damit überwunden werden.

Unabhängig von der Netzbelastung wird der durch Wind erzeugte Strom im Falle des fehlenden Bedarfs auf einen Luftzerleger oder Luftverflüssiger geschaltet. Ein Wechsel vom Netz auf diese Anlagen ist sehr schnell möglich. Setzt der Bedarfsfall ein – das Windrad erzeugt nicht genügend Strom -, wird der flüssige Stickstoff oder die flüssige Luft im CRYO – P® – System in den überkritischen Zustand gebracht. Das überkritische Produkt wird in den Hochdruckgasspeichern, entsprechend der Vorgabe, bei 200bar gespeichert. Der Speicherdruck kann problemlos höher sein. Unter diesen Voraussetzungen wird der Energiespeicher in Kombination mit der Windradanlage oder der Solarstromerzeugung zu:

- einem autarken Kraftwerk, welches beispielsweise eine entlegene Region mit Strom versorgen könnte (eine entsprechende Anfrage liegt aus Kasachstan vor) oder
- den teuren Spitzstrom des Netzes abdecken könnte.

Generell eröffnet diese Möglichkeit eine effektive Fahrweise der kalorischen Kraftwerksanlagen, insbesondere weil dieses Verfahren mit der Entspannungsturbine arbeitet und damit die Vorteile der Turbine zum Tragen kommen. Erstmals wird es möglich, durch Ergänzung des Energiebedarfs aus alternativer Quelle, eine planmäßig verfügbarere elektrischer Leistung zur Verfügung zu stellen. Damit wird die alternative Energie zu einem berechenbaren Energielieferanten. Sie unterstützt die Arbeit des kalorischen Kraftwerks, damit dieses ggf. an optimalen Betriebspunkten betrieben werden kann. Die Auswirkungen auf CO₂ – Bilanz und betriebswirtschaftliche Daten ist einfach nachzuvollziehen.

In Hinblick auf die in Vorbereitung befindlichen neuen Tarife für die Einspeisung alternative Energie in Deutschland, insbesondere für Windenergie, wird mit diesem Verfahren die Windkraft zu einem interessanten wirtschaftlichen Faktor. Der Windstromerzeuger speist nicht wie bisher Strom ein wenn Wind vorhanden ist, sondern wenn das Netz diesen Strom verlangt. Das ist bisher nicht möglich und damit ein wesentliches Novum.

Damit wird die alternative Stromerzeugung aus Wind oder Sonnenenergie zu einer planbaren Größe bei der Energieversorgung, das alles ohne Öl, Gas, Kohle oder Atomkraft und ohne jegliche Rückstände wie CO₂ und anderen Abfällen.

Beschreibung des Speicherprozesses

Die Erklärung erfolgt am Beispiel des Windrades. Das Windrad erzeugt in Abhängigkeit des Windes und dessen Stärke den Strom. Bis zu bestimmten Windgeschwindigkeiten kann das Windrad Strom erzeugen. In Zeiten von Starkwind müssen die Anlagen abgeschaltet werden, da die

Rotationsgeschwindigkeit die Flügel an die Grenze der Belastbarkeit führen. In Zeiten der Flaute wird kein Strom erzeugt, das bedeutet aber nicht, dass kein Bedarf besteht. Das ist das eigentliche Problem der Windkraft, so dass hinter jedem Windkraftwerk die konventionelle elektrische Leistung mit all ihren Nachteilen (Kapitaldienst, Betriebs- u. Wartungskosten, sinkende Rentabilität usw.) stehen muß.

Nicht erwähnt wurde bisher, dass durch die volatile Einspeisung erhebliche Netzbelastungen auftreten können, bzw. das Kraftwerk seinen optimalen Betriebspunkt, selbst bei aller Flexibilität der Fahrweise, verlassen muß. Das kostet Geld und schadet der Umwelt.

Die Erfindung geht davon aus, dass im Falle des Stromüberschusses dieser Strom auf einen im stand by – gefahrenen Luftzerleger geschaltet wird. Dieser wird bedarfsgerecht hoch gefahren, so dass das entsprechende Flüssigprodukt erzeugt und gespeichert werden kann. Der bei der Luftzerlegung anfallende Sauerstoff wird verkauft. Das verbessert die Wirtschaftlichkeit des Prozesses. Der flüssige Stickstoff wie auch der flüssige Sauerstoff werden in großen atmosphärischen Tanks (z. B. Durchmesser 20m x Höhe 30m) gelagert. Das entspricht einem Volumen von ca. $9420\text{m}^3 = 471\text{MWh}$.

Im Falle des Strombedarfs wird aus diesen Tanks das Produkt abgezogen. Der Dosierspeicher wird immer so positioniert, dass ein Zufluss ohne Fremdenergie möglich ist.

Beschreibung der Stromerzeugung

Das unter Druck stehende Gas wird in einer Stickstoff – Entspannungsturbine entspannt. Diese ist mit dem stromerzeugenden Generator gekoppelt. Das Gas kommt aus dem Hochdruckgasspeicher, in dem das überkritische Produkt gespeichert ist. Der Speicher hat vor allem die Aufgabe, die Druckschwankungen bei der Erzeugung der Gasphase zu glätten. Eine Speicherung im klassischen Sinn ist nicht sinnvoll, das Speichervolumen müßte extrem groß sein.

Es darf davon ausgegangen werden, dass das in die Turbine eintretende Gas eine Temperatur unterhalb der Umgebungstemperatur hat. In der Turbine erfolgt eine weitere Abkühlung. Dieser Effekt könnte zur Verbesserung des Wirkungsgrades genutzt werden, indem dieses kalte Gas zur Kühlung von Rekuperatoren verwendet werden. Durch diese wird die Ansaugluft des Luftzerlegers geleitet. Die Luft entfeuchtet und gekühlt. Diese Energie kann gespart werden. Beim üblichen Luftzerleger tritt diese Prozessphase nicht auf, da dieser das flüssige Produkt abgibt. Damit kann diese Kälte für die Abkühlung der Ansaugluft nicht verwendet werden.

Beschreibung des CRYO – P[®] - Moduls

Mit dem CRYO – P[®] – Modul wird das flüssige Produkt in den überkritischen Zustand überführt. Die Energiezufuhr für die Umwandlung des flüssigen Gases erfolgt im Luftverdampfer. Das Gas befindet sich, durch Ventile getrennt, in einem abgeschlossenen Raum, so dass sich auf der Linie V = Konstant der entsprechende Gasdruck einstellt. Es findet eine Kompression statt, so dass richtiger Weise der Ausdruck des CRYO – P[®] – Kompressors geprägt wurde.

Dieser Kompressor unterscheidet sich im Wesentlichen vom herkömmlichen Kompressor, indem der Kolben durch den aufzubringenden Gasdruck ersetzt wird. Dieser Gasdruck kommt vom parallel geschalteten Strang. Der Gasdruck wird durch Öffnen und Schließen von Ventilen geregelt. Der durch Gas ersetzte Kolben reduziert extrem die Betriebs- und Wartungskosten. Die Ventile erlauben durch ihre Spezifik eine jahrelange, wartungsfreie Arbeit.

Mit jeweils einen der beiden parallel geschalteten Dosierspeicher wird die Menge aus dem Tank entnommen, die dem zu erwartenden Druck zuzuordnen ist. Der Zulauf erfolgt durch die geodätische Höhe. Ist der Füllstand erreicht, wird der Dosierspeicher durch Schließen der Ventile vom atmosphärischen Tank getrennt.

Der Prozess ist dadurch gekennzeichnet, dass in einem der beiden Stränge zwangsläufig immer ein höherer Druck herrschen muß als im anderen. Diese Druckdifferenz wird genutzt, um den Dosierspeicher mit geringerem Druck in den Luftverdampfer zu entleeren. Ist das Produkt im Luftverdampfer, beginnt die Verdampfung. Das flüssige Gas wechselt in den überkritischen Zustand und wird so im Hochdruckgasspeicher gespeichert.

Der Dosierspeicher steht nach Entleerung in den Luftverdampfer unter einem wesentlich höheren Druck als der das flüssige Gas speichernde Tank. Eine erneute verlustlose Befüllung des Dosierspeichers wäre demnach nicht möglich. Deshalb wird das Gas im Dosierspeicher in die Gasphase des Tanks durch einen Drosselprozess entspannt. Nach Joule – Thompson zerfällt dabei das Gas – und Flüssigphase. Dieser Prozess muß links des kritischen Punktes stattfinden. Dazu wird das Gas zusätzlich gekühlt, so dass sich durch die Kühlung bereits ein Kondensat bilden kann, welches anschließend gedrosselt wird. Der dabei ausfallende Gasanteil ist sehr gering. Damit wird durch die Gasrückführung ein Druckanstieg im Tank vermieden.

Bei konventionell verrohrten vakuumisolierten Tanks wird immer die kalte, am Boden befindliche Flüssigkeit zuerst abgezogen. Das führt zur allgemeinen Erwärmung der verbleibenden Flüssigkeit und damit zum Druckanstieg.

In dem neu konzipierten Tank wird die Flüssigkeit auch unten entnommen, jedoch wird durch einen eingebauten Druckverlust, einem feinmaschigen Sieb, immer zuerst von oben die Flüssigkeit in diesen Käfig strömen, da am oberen Rand der Druckverlust Null ist, im Bereich des Siebes ein kleiner aber vorhandener herrscht. Die eingebrachte Wärme des Gases wird an die Flüssigkeit in dem Käfig abgegeben. Die Flüssigkeit erwärmt sich im Käfig, wird aber durch den bestehenden Druckverlust in diesem verbleiben. Wird nun unten die Flüssigkeit abgezogen, so wird durch den eingebauten Druckverlust zuerst die „warme“ Flüssigkeit entnommen. Die nachströmende Flüssigkeit wird von oben erfolgen, also wieder die wärmste Flüssigkeit nachströmen. Durch diesen Einbau soll die Strömung im Tank anforderungsgemäß beeinflusst werden.

Die Module Tank und Dosierspeicher sind vakuumisoliert. Hier wurden völlig neue Wege der Isolierung beschritten, denn mit herkömmlicher, doppelwandiger Isolierung kann die Anlage kaum gestaltet werden. Es werden ebene Vakuummodule, bekannt aus der Bauindustrie, eingesetzt. Sie unterscheiden sich jedoch wesentlich von den Elementen der Bauindustrie, da deren Folien den extrem niederen Temperaturen

nicht standhalten würden.

Beschreibung des neuen, vakuumisolierten Tanks

Dieses modulare Isolierverfahren erlaubt eine völlig neue und vor allem einfachere Kryo – Tankkonstruktion. Statt wie bekannt die Verrohrung in die Zwischenwand zu legen, wird dieser Tank sehr einfach über Rohrbündel verrohrt. Das Rohrbündel wird von unten in den Tank geschoben, die austretenden Rohre werden in die Isolierung einbezogen, so dass die Verbindung Tank – CRYO – P[®] – Modul voll vakuumisoliert ist. Das wirkt sich positiv auf den Druckanstieg im Tank aus.

Beschreibung der Luftverdampfer

Luftverdampfer neigen immer zur Vereisung. Deshalb müssen sie Zeiten zur Erwärmung haben. Dabei tauen sie bei Temperaturen über 0 °C ab, im Winter erwärmt sich das Eis. Eis ist in jedem Fall leistungsreduzierend. Um einen 24h – Betrieb zu garantieren müßte man ersatzweise Luftverdampfer installieren. Diese Investition soll gespart werden. Stattdessen werden die Luftverdampfer beschichtet, so dass die Vereisung minimiert wird und die Eiskristalle auf der Oberfläche nicht haften können.