

## Wer ist VENPOWER?

Die PM-Generators GmbH wurde im August 2009 von drei Gesellschaftern gegründet, mit dem Ziel, Generatorsysteme für Windkraftanlagen großer Leistung oberhalb 3 MW zu entwickeln, diese zu fertigen und zu vertreiben. Diese Systeme sind sowohl onshore, als auch offshore technisch und kommerziell geeignet, um als Komponenten in großen Windparks eingesetzt zu werden. Die Wertschöpfung mit ausreichenden Fertigungskapazitäten wird Deutschland erfolgen. Aktuelle und zukünftige Marktpreise sollen erreichbar sein. Alle nationalen und internationalen technischen Normen sind langfristig erfüllbar.

Grundlage war die Erfindung eines neuen Generatorkonzeptes durch den Hauptgesellschafter und Geschäftsführer der PM-Generators GmbH, Herrn *Hein*.

Herr *Hein* hat 1995 im größten Deutschen Elektrotechnik-Unternehmen den permanentenregten Großmaschinenbau aufgebaut - beginnend mit der Berechnung und Auslegung, der Konstruktion, der Entwicklung der Fertigungstechnologien und der Qualitätssicherung, sowie der kompletten technischen und kommerziellen Projektentwicklung. Neben großen Schiffsantrieben wurde in dieser Zeit (2006) auch der 3 MW Generator für SCANWIND fertiggestellt, der größte permanentenregte Generator der Welt zu dieser Zeit.

In Zusammenarbeit mit Herrn *Jacobs*, ehemaliger Mitgründer von Fa. REPOWER wurde das Potential dieses Konzeptes schnell erkannt. Ein angepasster entsprechender Vollumrichter konnte sowohl die Auslegung der Maschine und damit die Kosten als auch die Eigenschaften so entscheidend vervollkommen, dass die o.g. Aussage schon selbstbewusst erweitert werden kann, dahingehend, dass wir meinen:

***These: Nur mit unserem System können zurzeit und in den nächsten Jahren Windparks mit Anlageneinzelleistungen von mehr als 3 MW technisch und kommerziell aufgebaut und betrieben werden.***

Im Rahmen der Entwicklung sind zum Generator zwei Patente entstanden, zum Umrichter ein weiteres. Der Kreis der Entwicklungsingenieure ist wesentlich erweitert worden. Die Fa. ENASYS GmbH hat zusammen mit der TU Dresden, Lehrstuhl Leistungselektronik, Prof. Bernet die Systemsoftware für das Umrichtersystem erstellt und alle hervorragenden alleinstehenden Eigenschaften des Systems mit uns zusammen praktisch nachgewiesen. Dazu dient eine komplette Anlagennachbildung, die in Berlin als Entwicklungsumgebung eingerichtet wurde und für den Einsatz im neu errichteten, komplexen Prüffeld ertüchtigt wird. Dieses Prüffeld entsteht zurzeit in Rathenow. Dort werden die Umrichter mit Nennleistung getestet, die Generatoren mit einer mechanischen Anlagenleistung von 0,5 MW. Die Montage und IBS hat bereits begonnen. Insgesamt arbeiten rund 20 Diplom-Ingenieure an diesem Thema, 2 Promotionen werden gerade geschrieben.

Das Grundprinzip des Generators wird in der Fachliteratur nur englisch u.a. als „*switchflux-permanentmagnet machine*“ benannt, eine deutsche Übersetzung gibt es nicht. Wir haben deshalb den Namen **Permavent®** dafür kreiert und eintragen lassen. Dieses Grundprinzip wird seit ca. 2004 in einer Baureihe kleiner Linearmotoren für Werkzeugmaschinen angewendet.

Seit dem 1. November erfüllen wir unter unserem neuen Namen **VENPOWER** GmbH die o.g. These mit Leben.

### VENPOWER GmbH

Trenckmannstraße 35  
D-16816 Neuruppin  
T +49(0)3391 7759975  
T +49(0)3391 7759976  
[mail@venpower.de](mailto:mail@venpower.de)

Geschäftsführer: Peter Hein  
USTIDN: DE 266227264  
Amtsgericht Neuruppin: HRB 8612 NP

### Bankverbindungen:

Sparkasse Ostprignitz-Ruppin  
Kontonummer: 172 004 6995  
Bankleitzahl: 160 502 02

Deutsche Bank AG  
Kontonummer: 570 205 500  
Bankleitzahl: 267 700 95

**Wie ist der Stand der Technik und welche Risiken bergen die aktuellen Anlagenkonzepte oberhalb der 3 MW für Anlagenbauer und Betreiber?**

**These: Für Leistungen von mehr als 3 MW sind WKA-Konzepte mit Getrieben, insbesondere bei Anwendungen in großen Windparks, die wie ein Kraftwerk 25 Jahre betrieben werden sollen, technisch und kommerziell nicht geeignet.**

Wenn der Markt höhere Leistungen von Windkraftanlagen fordert, aktuell Anlagen von mindestens 5 MW, heißt dies für die Ingenieure, die bisher bekannten und gerade ertragbaren Anlagenbelastungen und Gewichte nicht nur leistungsproportional, sondern entsprechend der Physik im Verhältnis des Drehmomentes, und damit deutlich überproportional zu berücksichtigen.

Werden die Werkstoffe der ersten Getriebestufe bei 2,5 MW-Anlagen bereits über ihre Dauerfestigkeit beansprucht, werden diese schnell versagen bzw. erfordern aufwendige Wartung. Es macht deshalb keinen Sinn, Anlagen mit 3-fachem Drehmoment überhaupt so zu konzipieren. Zahnräder werden linienförmig belastet. Die Option, die Fläche der ersten Krafteinleitung zu vergrößern, um den Druck zu reduzieren, gibt es physikalisch und technisch nicht. Die Lebensdauer der Getriebe reduziert sich. Offshore ist dies ausgesprochen problematisch.

Deshalb setzen viele Entwickler zu Recht auf **getriebelose** Konzepte, aktuell ausschließlich mit Synchrongeneratoren, elektrisch bzw. permanenterregt.

**These: Für Windparkanwendungen bei Leistungen von mehr als 3 MW sind getriebelose Konzepte mit Synchrongeneratoren technisch prinzipiell möglich, jedoch kommerziell insbesondere für offshore nicht darstellbar, selbst wenn die Einspeisevergütung und die Endverbraucherpreise für Strom stetig steigen würden.**

Wie bei den Getrieben erhöht sich physikalisch bedingt das Gewicht dieser Generatoren drehmomentenabhängig und damit ebenfalls überproportional der Leistung. Direkte Folge sind die ungeheuren Massen und Durchmesser der Anlagen. Das führt neben den überproportionalen Materialkosten der Generatoren auch zu immensem Zusatzaufwand bei Montage und Wartung. Um die Gewichte etwas zu reduzieren, werden permanenterregte Lösungen vorgeschlagen und entwickelt. Die exponentiell gestiegenen Rohstoffpreise, speziell bei den seltenen Erden könnten diesen technischen Umstieg prinzipiell gefährden.

Während man bei kleinen elektrischen Maschinen den Luftspalt zwischen Läufer und Stator sehr klein ausführen kann, ist dies bei klassischen Konzepten im Großmaschinenbau nicht mehr möglich. Dies führt dazu, dass der Erregerbedarf überproportional ansteigt. Bei elektrisch erregten Generatoren führt dies damit zu überproportionalen Mehrkosten und Wirkungsgradeinbußen, bei permanenterregten Systemen zu überproportional höherem Magnetmaterialbedarf.

Der Rotor einer permanenterregten Synchronmaschine ist ein riesiger Magnet mit ungeheuren Anziehungskräften. Die Fertigung und Montage dieser Komponente ist sehr aufwendig, benötigt viel Platz und Investment. Statoren großer Synchrongeneratoren werden weltweit in Handarbeit hergestellt. Einzig die Spulenfertigung ist teilmechanisiert. Dies begrenzt die Stückzahlen der jährlichen, realistisch fertigmachen Einheiten in Europa auf kleinere zweistellige Werte. Die nachhaltige Erreichung des maximal erzielbaren Marktpreises ist auf Grund der hohen und nicht über die Zeit realistisch reduzierbaren Stückkosten so gut wie ausgeschlossen, zumal Dynamoblech, Kupfer und Magnete in den nächsten Jahren mit großer Sicherheit teurer werden.

**These: Für große Windparkanwendungen sind aktuelle Umrichter technisch den Anforderungen an die Netzverträglichkeit der nächsten Jahre nicht gewachsen.**

Möchte man große Windparks mit großen Einzelanlagenleistungen betreiben, müssen zukünftige Anlagen mit immer komplexeren Stromnetzen verträglich zusammenarbeiten. Die aktuell modernsten Umrichter können dies nur bedingt und benötigen dazu aufwendige Ausgangsfilter. Diese können sich aktuellen Netzverhältnissen nicht automatisch anpassen. Große Windfarmen erfordern jedoch Umrichter, die wie die großen Generatoren in einem Kohle- oder Wasserkraftwerk, einen stabilen sinusförmigen,

oberwellenfreien, schnell und genau regelbaren Strom ins Netz speisen können, bzw. Blindleistung auf Wunsch remote optimal zur Verfügung stellen.

**Wie sieht das Anlagenkonzept der Zukunft aus und wie wird es durch unser Permavent®-System abgebildet?**

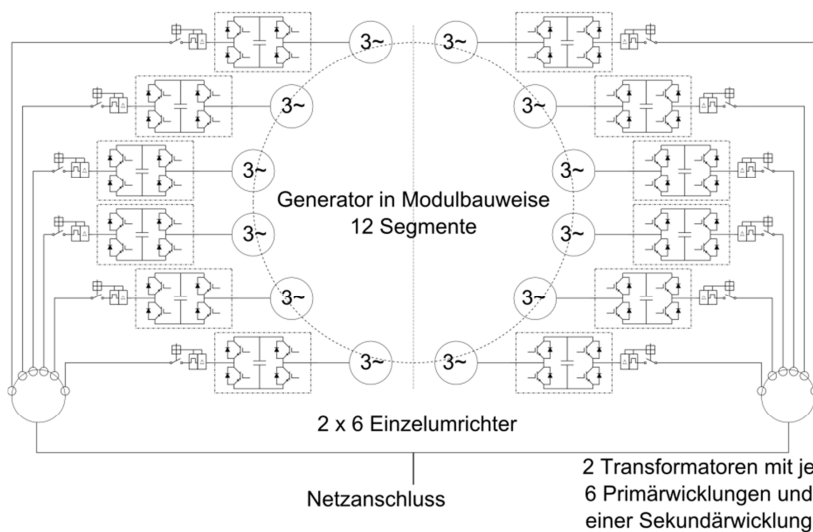
**These: Für den Anlagenbetreiber sind die Verfügbarkeit, der Wirkungsgrad, das Betriebsverhalten und ein geringer Wartungsaufwand neben der Investition ausschlaggebende Kriterien.**

Permavent® ist ein durchgehend modulares, in sich redundantes System. Die Grundbausteine, angepasst an die moderne Leistungselektronik mit ihren Primepack-IGBTs, bilden 420kW-Einheiten. Für eine 5 MW-Anlage besteht der Generator aus 12 Modulen im Stator. Ein derartiges Segment wiegt ca. 2 t. Neben den Wicklungen, die ein vollständiges, unabhängiges, 3-phasiges Drehstromsystem abbilden, sind die Magnete in diese Baugruppen eingebaut und so vor Korrosion und Beschädigungen über die Anlagenlebensdauer geschützt. Ein innovatives Flüssigkeitskühlsystem nach dem Funktionsprinzip der Heatpipes, jedoch mehrfach effektiver, ist integriert. Selbst bei Nennleistung erwärmt sich dadurch keine Komponente über 70°C. Dies wirkt sich sehr stark auf den Wirkungsgrad, aber auch auf die Lebensdauer aus und bietet die Möglichkeit, Isolierstoffsysteme einzusetzen, die betauungsresistent und salznebelbeständig sind und das komplette Modul schützen.

Der Rotor des Generators ist ein reines Stahlbauteil. Es sorgt lediglich dafür, dass sich beim Drehen der magnetische Widerstand und die Richtung des Magnetflusses durch die Wicklungen ändern. Da sich dies oberflächennah im cm-Bereich abspielt kann dieser Läufer sehr gut gewichts- und steifigkeitsoptimiert ausgeführt werden. Für 5 MW z.B. lässt es sich an dieser Stelle mit rund 22 t Gewicht auskommen.

Die Ständermodule werden radial anpassbar in eine Tragkonstruktion derart eingesetzt, dass anlagen-spezifisch der Luftspalt optimiert werden kann und damit auch der Bedarf an teurem Magnetmaterial. Dies führt dazu, dass gegenüber den Drehfeldmaschinen bis zu 30% weniger NEODYM verbaut werden muss. Die niedrige Betriebstemperatur der Magnete nutzt diese zusätzlich höher aus. Wie beim Läufer ist diese Tragkonstruktion gewichts- und steifigkeitsoptimiert. Lediglich um die 31 t bei 5 MW sind für die auch teilbare Struktur aufzuwenden.

## Permavent



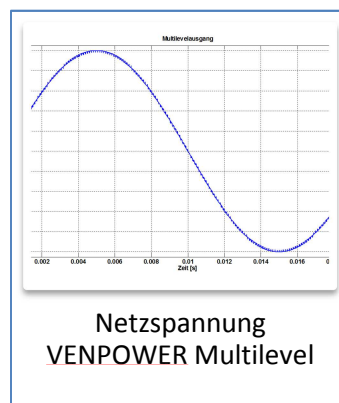
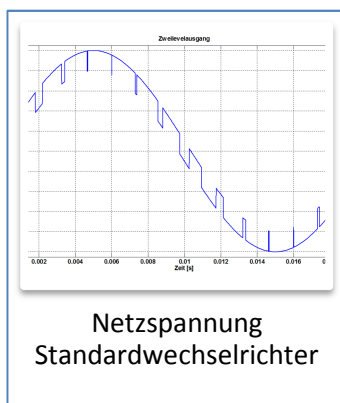
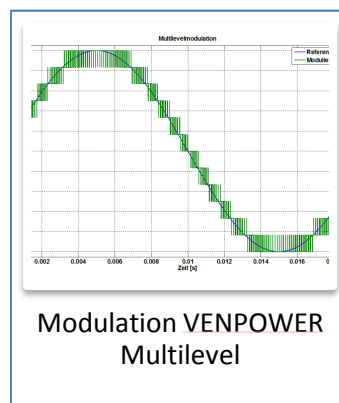
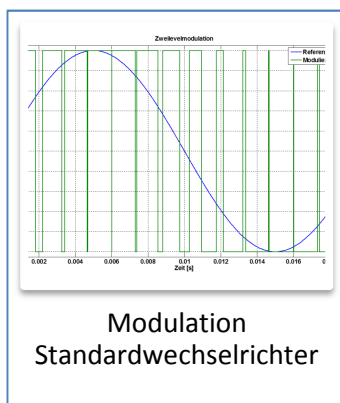
Jedem aktiven Ständersegment ist ein Umrichtermodul potentialfrei zugeordnet. Eine kurzschluss sichere, elektrische Verbindung und die Tatsache, dass Fehlerströme nicht größer als der Nennstrom werden können, erlauben einen direkten Anschluss ohne Schaltgeräte und Sicherungen. Über angepasste Leistungsschalter und 2 spezielle Netztransformatoren wird symmetrischer, 3 phasiger, sinusförmiger Strom, unabhängig vom Oberwellengehalt der momentanen Netzspannung eingespeist. Selbstverständlich ist der Leistungsfaktor dabei remote einstellbar. Nur mit diesem Generatortyp lässt sich dies mittels Multilevelmodulation mit minimalem Aufwand realisieren. Schon mit 4 Modulen sind die aktuellen Gridcodes zu erfüllen.

Heutige Wechselrichter benötigen dazu LCL-Filter zur Dämpfung der von den Rückspisewechselrichtern erzeugten Spannungsüberschwingungen. Die Oberschwingungen werden mit der Schaltfrequenz der Leistungshalbleiter erzeugt. Diese liegt üblicher Weise zwischen 1 kHz und 4 kHz.

Die Filter werden so ausgelegt, dass deren Resonanzfrequenz deutlich unter der Schaltfrequenz liegt und diese damit soweit dämpfen können, dass die Gridcodes eingehalten werden. Die Filtergröße ist maßgeblich von der Schaltfrequenz abhängig. Je höher die Schaltfrequenz, desto kleiner kann der Filter ausgelegt werden, aber desto größer werden die Schaltverluste in den Leistungshalbleitern.

Auf Grund der Schwingungsfähigkeit der Filter kann es durch Oberschwingungen auf der Netzspannung zur Anregung der Resonanz des Filters kommen, was zu einer zusätzlichen Erwärmung führt, die im Extremfall eine Zerstörung des Filters zur Folge haben kann.

Das VENPOWER-Multilevel Konzept erlaubt es auf den LCL-Filter zu verzichten und gleichzeitig die Schaltfrequenz niedrig zu halten. Dies wird durch den Einsatz von 12 parallelen Wechselrichtern, welche perfekt synchronisiert im Verbund arbeiten und gemeinsam eine Multilevelmodulation ausführen, erreicht.



Die Ausgangsspannung ist im Vergleich zu einem Standardwechselrichter so überschwingungsarm, dass eine LCL-Filterung nicht notwendig ist. Gleichzeitig erlaubt die schnelle Regelung einen sicheren „Fault Ride Through“ Betrieb.

Die strikte Potenzialtrennung bis hin in die beiden Netzanschlusstransformatoren und die niedrigen Fehlerströme machen einen Totalausfall aus dem System heraus unmöglich. Kein anderes Konzept erreicht eine derartige Verfügbarkeit. Ein integrierter Schutz vor den Folgen von Störlichtbögen rundet das Verfügbarkeits- und Schutzkonzept ab. Im Fehlerfall muss das entsprechende Modul nicht sofort ausgetauscht werden, da die Anlage mit den verbleibenden Einheiten ggf. sogar weiterhin mit Nennleistung einspeisen kann. Der Austausch eines Generatormoduls erfordert lediglich Vorrichtungen und 2 Monteure zu minimalem Aufwand. Alle Bauteile sind für die erwartete Anlagen-Betriebsdauer von 25 Jahren ausgelegt. Durch die minimale Anzahl an Bauteilen wird ein extrem guter MTBF-Wert erreicht. Mit einem redundanten Prozessleitsystem, bestehend aus lokalen controls mit Notbetriebseigenschaften und einer redundanten zentralen control mit universellen Schnittstellen zu allen aktuellen Leitetechniken, kann ein optimales Monitoring erfolgen, wie in einem richtigen Kraftwerk.

Auf Grund der Modularität lassen sich somit große Generatoren mit Fertigungsverfahren des Kleinmaschinenbaus produzieren. Diese sind wesentlich produktiver, weil tiefer automatisierbar, und damit auch qualitätssicherer. Große Anlagenstückzahlen lassen sich mit wesentlich weniger Investitionen, bzw. überhaupt in Europa realisieren. Einspeisevergütungen sind politische Rahmenbedingungen, die gerade in der heutigen Zeit ständig auf dem Prüfstand stehen und damit wirtschaftlich in die Kalkulation des Investments und des Wartungs- und Reparaturaufwandes nicht fest eingeplant werden sollten.

Als Fa. VENPOWER verfügen wir sowohl über das Know-how der Generatorauslegung und Konstruktion, selbstverständlich mittels FEM, als auch über die Kompetenz zur Umrichterentwicklung und Fertigung. Zusammen mit unseren Partnern ENASYS, der Neuenhauser Gruppe und der Unterstützung durch Wissenschaftler der TU Dresden, können wir auch für das komplette Permavent®-System die Verantwortung übernehmen und an die jeweilige WKA und den Anwendungsfall optimal anpassen. Eine vollständige Entwicklungsumgebung steht uns zur Verfügung.

Klar definierbare Schnittstellen, sowohl zur mechanischen Integration als auch elektrisch-elektronisch wurden von uns vorgesehen und lassen die wenigen Komponenten in die jeweiligen Windanlagen- und Windparksysteme einfach einfügen. Das technische Risiko beschränkt sich im Wesentlichen auf die drei überschaubaren Baugruppen: Generatormodul, Umrichtermodul und Netztrafo. Die 3 MW und mehr entstehen dadurch, dass die entsprechende Anzahl von Modulen mechanisch über eine einfache Tragkonstruktion, ein Stahlbauteil, drehmomentenmäßig „kreisförmig in Reihe geschaltet“ wird und die entsprechenden Umrichtermodule jeweils mit drei Leitungen am Generatormodul und mit drei Leitungen über jeweils einen Leistungsschalter an den jeweiligen Trafo angeschlossen werden. Die Kühllvor- und Rücklaufanschlüsse sind mit dem zentralen Rückkühler zu verbinden. Einige Ethernet-Verbindungskabel sind einzustecken, die Sensorik anzuschließen und die Hilfsstromversorgung von 24 V bzw. 230 V~ ist aufzulegen.

Die Leistungsanpassung erfolgt einfach über die Anzahl der typgeprüften Generator- und Umrichtermodule mit ihrer Firmware, die Drehmomentenanpassung über die Festigkeit und Steifigkeit der Stator und Rotortragkonstruktion. Und genau darin sehen wir nicht nur für den WKA-Produzenten, sondern auch für den Betreiber eine gute Chance zur Akzeptanz gegenüber allen anderen aktuellen Konzepten.

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Ministeriums für Wirtschaft und Europaangelegenheiten des Landes Brandenburg und der EU gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.