
Optimierter Synchrongenerator einer getriebelosen Windenergieanlage

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Synchrongenerator einer getriebelosen Windenergieanlage. Außerdem betrifft die Erfindung eine getriebelose Windenergieanlage.

Windenergieanlagen sind allgemein bekannt, sie erzeugen elektrische Energie aus Windenergie. Hierzu wird üblicherweise eine sog. Horizontalachsenwindenergieanlage verwendet, wie sie bspw. in Fig. 1 dargestellt ist. Diese weist einen aerodynamischen Rotor auf, der sich vom Wind angetrieben um eine im Wesentlichen horizontale Achse dreht und dabei einen Generator antreibt. Besonders zuverlässige Windenergieanlagen sind getriebelos ausgelegt, so dass der aerodynamische Rotor unmittelbar mit dem Generator, nämlich dem elektrodynamischen Rotor des Generators gekoppelt ist. Der aerodynamische Rotor und der elektrodynamische Rotor, der zur Vermeidung von Missverständnissen nachfolgend als Läufer bezeichnet wird, drehen dabei mit gleicher Geschwindigkeit. Hierfür sind jedenfalls für Windenergieanlagen mit großen Leistungen, die heutzutage im Megawattbereich liegen, entsprechende Synchrongeneratoren mit großer Bauform, nämlich insbesondere großem Luftspaltdurchmesser erforderlich. Mit anderen Worten wird ein Luftspaltdurchmesser umso größer und damit die Bauform des Synchrongenerators insgesamt umso größer, je mehr Leistung der Synchrongenerator erzeugen soll.

Die Größe eines Generators kann aber nicht beliebig erhöht werden. Insbesondere Transportbedingungen auf öffentlichen Straßen begrenzen die Baugröße eines Generators.

Die derzeit wohl leistungsstärkste Windenergieanlage der Welt, die E126 der ENERCON GmbH, hat einen Luftspaltdurchmesser von 10 m und löst das Transportproblem dadurch, dass sowohl Rotor als auch Stator des Generators jeweils in vier Segmente unterteilt werden, die am oder in der Nähe des Aufstellungsortes der Windenergieanlage erst zusammengefügt werden. Ein solches Vorgehen kann jedoch aufwändig sein und setzt besondere Vorkehrungen voraus, um Fehlergefahren, insbesondere einer Trennstelle, zu reduzieren. Ebenfalls wäre es wünschenswert, den Montageaufwand zu reduzieren.

Das Deutsche Patent- und Markenamt hat in der Prioritätsanmeldung folgenden Stand der Technik recherchiert: DE 44 02 184 A1, DE 196 36 591 A1, DE 199 23 925 A1 und DE 10 2004 018 758 A1.

Der vorliegenden Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, wenigstens eines der o.g.
5 Probleme zu adressieren. Insbesondere soll ein möglichst leistungsstarker Generator für eine getriebelose Windenergieanlage vorgeschlagen werden, der mit möglichst wenig Problemen transportiert werden kann und der mit möglichst wenig Aufwand beim Errichten einer Windenergieanlage installiert werden kann. Zumindest soll eine alternative Lösung vorgeschlagen werden.

10 Erfindungsgemäß wird ein Synchrongenerator gemäß Anspruch 1 vorgeschlagen. Dieser Synchrongenerator einer getriebelosen Windenergieanlage umfasst einen Außenläufer und einen Stator, um den herum sich der Außenläufer bestimmungsgemäß dreht. Der Synchrongenerator hat einen Generatoraußendurchmesser und der Stator hat einen Statoraußendurchmesser. Es wird nun vorgeschlagen, dass der Synchrongenerator so
15 konstruiert wird, dass ein Verhältnis des Statoraußendurchmessers zum Generatoraußendurchmesser größer ist als 0,86. Somit wird vorgeschlagen, den Luftspalt eines Synchrongenerators für eine getriebelose Windenergieanlage möglichst weit nach außen zu legen. Der Synchrongenerator wird also entsprechend konstruiert, dass der Luftspalt möglichst weit außen liegt und entsprechend der Außenläufer möglichst schmal ausgebildet ist, so dass sich dieses Verhältnis des Statoraußendurchmessers zum Generator-
20 außendurchmesser von mehr als 0,86 ergibt.

Dabei ist zu beachten, dass der Statoraußendurchmesser bei einem Synchrongenerator des Typs Außenläufer, der hier vorgeschlagen wird, im Grunde dem Luftspaltdurchmesser entspricht. Hierbei wird grundsätzlich von einer zylindrischen Ausgestaltung sowohl
25 von dem Stator als auch dem Läufer und insbesondere dem Luftspalt ausgegangen. Unter Vernachlässigung der Dicke des Luftspalts entspricht der Luftspaltdurchmesser dem Statoraußendurchmesser.

Besonders bevorzugt wird der Luftspalt so weit nach außen verlegt, dass das Verhältnis des Statoraußendurchmessers zum Generatoraußendurchmesser größer als 0,9 ist.
30 Noch weiter bevorzugt wird der Synchrongenerator so konstruiert, dass das Verhältnis des Statoraußendurchmessers zum Generatoraußendurchmesser größer als 0,92 ist.

Bereits die vorgeschlagene Verwendung eines Außenläufers ermöglicht ein solches günstiges Verhältnis. Konstruktionsbedingt können nämlich die Läuferpole bzw. in ihrer körperlichen Ausgestaltung die Läuferpolschuhe mit den entsprechenden Erregerwicklungen, wenn ein fremderregter Synchrongenerator verwendet wird, in ihrer radialen Ausrichtung auf ein sehr geringes Maß reduziert werden. Hierdurch ist es möglich, den Luftspalt möglichst weit nach außen zu verlegen. Gleichzeitig erhält der Stator hierdurch Platz, um die Statorwicklungen vorteilhaft auszubilden. Weiterer Raum im Inneren des Stators kann genutzt werden, wie nachfolgend auch noch einigen Ausführungsbeispielen erläutert werden wird.

10 Gemäß einer Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass der Stator eine radiale Tragkonstruktion aufweist, die sich radial nach innen erstreckt und zum Befestigen an einer sich axial durch den Stator erstreckenden Achsaufnahme vorbereitet ist. Es wird somit der Platz im Inneren des Stators vorteilhaft für eine stabile Konstruktion des Stators ausgenutzt. Hierbei wird eine Achsapfenaufnahme zugrundegelegt, die sich bei bestimmungsgemäßer Installation des Generators mittig durch den Stator hindurch erstreckt. 15 Eine solche Achsaufnahme ist ein stabiles, insbesondere rohrförmiges Element, das in einem Maschinenträger fest befestigt ist und bspw. ein Ferrogussteil sein kann. Die Tragkonstruktion erstreckt sich somit von dem Statorblechpaket, das die Statorwicklung trägt, im Wesentlichen vom Luftspalt aus radial nach innen zu dieser Achsaufnahme, auf 20 der sie mit einem entsprechenden Ringflansch fest befestigt sein kann.

Vorzugsweise wird vorgeschlagen, dass der Stator radiale und axiale Kühlkanäle aufweist. Die radialen Kühlkanäle sind vorgesehen zum radialen Zuführen von Kühlluft zum Stator, nämlich insbesondere zum Blechpaket des Stators hin. Die axialen Kühlkanäle leiten dann die radial zugeführte Kühlluft zum Kühlen des Stators an diesen entlang, 25 insbesondere durch das Statorblechpaket und/oder zwischen Läuferpolen hindurch. Insbesondere wird die Kühlluft, die in ausreichender Menge radial zugeführt wird, zum axialen Leiten aufgeteilt, nämlich in eine axiale Vorwärtsrichtung, die bei bestimmungsgemäßen Betrieb der Windenergieanlage dem Wind entgegengerichtet ist, und in eine Rückwärtsrichtung, also im Grunde in Windrichtung.

30 Auch hierdurch wird der Platz im Inneren des Stators in vorteilhafter Weise genutzt. Die Verwendung dieses Raumes ermöglicht dabei ein großvolumiges Zuführen von Kühlluft. Wird diese dann in eine Vorwärts- und eine Rückwärtsrichtung aufgeteilt, strömt sie entsprechend von einer solchen Aufteilungsstelle aus nur über die halbe Statorlänge,

bezogen auf die axiale Richtung. Entsprechend kann der Stator gut gekühlt, werden und lange Kühlwege, bei denen Kühlluft beim Erreichen des Endes eines solchen Kühlweges bereits soweit aufgewärmt wurde, dass ihre Kühlfähigkeit erheblich nachgelassen hat, werden vermieden.

- 5 Günstig ist es zudem, Kühlluft radial über die gesamte axiale Ausdehnung des Stators zuzuführen. Die radialen Kühlkanäle nehmen somit eine Breite eine, die der Länge des Stators entspricht. Hierdurch wird die Möglichkeit eines großvolumigen Kühlstroms bei dieser radialen Zuführung ermöglicht, was Strömungsverluste der Kühlluft vermeidet.

- 10 Günstig es außerdem, die radiale Tragkonstruktion so auszubilden, dass diese dabei die radialen Kühlkanäle ausbildet. Hierdurch kann im Grunde der gesamte Raum innerhalb des Stators zum Zuführen der Kühlluft verwendet werden. Die Tragkonstruktion kann hierfür wenige im Wesentlichen radial verlaufende Stützbleche aufweisen. Vorzugsweise werden Bleche verwendet, von denen sich einige radial und axial erstrecken und andere sich radial und quer zu einer Längsachse, nämlich Drehachse des Synchrongenerators, erstrecken. Diese Bleche können so zusammengesetzt sein, dass sie den Stator, nämlich
15 insbesondere das Statorblechpaket, sicher tragen können und gleichzeitig Kühlluft radial in Richtung zum Statorblechpaket leiten. Wird die Konstruktion insgesamt so konzipiert, dass der Innenraum im Stator im Wesentlichen für diese radiale Kühlluftzufuhr zur Verfügung steht, kann ein großvolumiger Kühlluftstrom gewährleistet werden, der dafür eine
20 geringe Strömungsgeschwindigkeit der Kühlluft erreicht und entsprechend hinsichtlich Aerodynamik der radialen Kühlkanäle nur geringe Anforderungen gestellt werden müssen.

- Gemäß einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass der Synchrongenerator gekapselt ist. Insbesondere wird vorgeschlagen, dass der Außenläufer des Synchronge-
25 nerators gekapselt ist. Hierdurch wird eine kompakte Bauform erreichbar, die auch zum Transport vorteilhaft zu handhaben ist. Durch eine vorteilhafte Konstruktion derart, dass der Luftspalt möglichst weit radial nach außen verlegt wird, kann eine Erhöhung der Leistung des Generators ohne Erhöhung der Außenabmessungen erreicht werden. Es ist somit eine Erhöhung der Leistung möglich, ohne die Gesamtabmessung des Generators
30 zu erhöhen, so dass dieser möglichst in einem Stück von einer Fertigungshalle zum Aufstellungsort transportiert werden kann. Eine gekapselte Ausführung ist somit bereits in der Fertigungshalle erreichbar und der Generator kann vorteilhafter Weise in eingekapselter Art und Weise transportiert werden. Dadurch wird insgesamt der Aufbau erleichtert.

Insbesondere kann hierfür der Läufer, nämlich der Außenläufer, eine Läuferglocke aufweisen, die nämlich den Läufer in der Art einer Glocke umschließt. Zum Warten des Synchrongenerators werden hierbei Revisionsöffnungen in der Läuferglocke vorgeschlagen. Solchen Revisionsöffnungen sind Öffnungen, die insbesondere auch an einer Stirnseite der Läuferglocke geöffnet werden können, um den Zustand des Synchrongenerators anzusehen und ggf. auch kleinere Reparaturen oder dergleichen durchzuführen.

Vorzugsweise ist der Synchrongenerator fremderregt. Der Läufer, nämlich der Außenläufer, weist somit viele Läuferpole mit Erregerwicklungen auf, durch die ein Strom zum Erregen der Läuferpole und damit des Läufers gesteuert wird. Diese Läuferpole werden insbesondere als Polschuhe oder Polschuhkörper mit Erregerwicklung ausgebildet, die an einem Tragrings des Läufers getragen werden. Diese Konstruktion wird somit im Aufbau so angepasst, dass sie besonders schlank ist, und somit in radialer Richtung eine möglichst geringe Dicke aufweist. Dadurch kann der Luftspalt möglichst weit radial nach außen verlegt werden.

Vorzugsweise ist der Synchrongenerator als Ringgenerator ausgebildet. Ein Ringgenerator beschreibt eine Bauform eines Generators, bei der der magnetisch wirksame Bereich im Wesentlichen auf einem Ringbereich konzentrisch um die Drehachse des Generators angeordnet ist. Insbesondere ist der magnetisch wirksame Bereich, nämlich vom Läufer und vom Stator nur im radial äußeren Viertel des Generators angeordnet. Durch diese Ausbildung als Ringgenerator wird ebenfalls eine Möglichkeit geschaffen bzw. es wird vereinfacht den Luftspalt radial möglichst weit nach außen zu verlegen.

Vorzugsweise wird ein langsam laufender Synchrongenerator vorgeschlagen, der wenigstens 48 Statorpole aufweist. Es kann somit auch bei geringer Drehzahl ein Wechselstrom mit einer vergleichsweise hohen Frequenz generiert werden. Entsprechend wird vorzugsweise vorgeschlagen, wenigstens 72 Statorpole vorzusehen, wobei noch weiter bevorzugt noch mehr Statorpole verwendet werden, insbesondere wenigstens 192 Statorpole.

Günstig ist zudem, den Synchrongenerator als 6-phasigen Generator auszubilden, nämlich als Generator mit zwei 3-phasigen Systemen, die insbesondere um etwa 30 Grad zueinander versetzt sind. Eine solche Gestaltung ist insbesondere vorteilhaft, um einen 6-phasigen Strom zu erzeugen, der dadurch gut zum Gleichrichten geeignet ist und bereits Prinzip bedingt eine geringere Oberwelligkeit beim Gleichrichten verursacht.

Weiterhin wird vorgeschlagen, für den Stator eine durchgängige Wicklung vorzusehen, nämlich insbesondere eine durchgängige Leitung oder einen durchgängigen Leitungsstrang für jede Phase. Im Falle des 6-phasigen Generators, also bei zwei mal 3 Phasen wären somit insgesamt sechs Leitungsstränge zu verlegen. Das Verlegen solcher sechs
5 Leitungsstränge ohne Unterbrechung für den gesamten Stator, der vorzugsweise einen Außendurchmesser von 4,5m aufweisen kann, ist äußerst aufwändig, führt aber zu einem sehr zuverlässigen Stator und damit auch entsprechend zuverlässigen Generator, weil auf Verbindungsstellen verzichtet wird, die sich ansonsten im Betrieb lösen könnten.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass der Stator auf einer
10 axialen Aufnahme getragen wird, insbesondere auf einer Achszapfenaufnahme. Diese axiale Aufnahme, insbesondere Achszapfenaufnahme, verläuft axial durch den Stator und den Außenläufer hindurch, nämlich mittig entlang der Drehachse des Außenläufers und damit gleichzeitig der Mittelachse des Stators. Außerdem wird der Außenläufer vorzugsweise auf einem ersten und einem zweiten mit dieser Aufnahme verbundenen
15 Lager gelagert, wobei beide Lager in axialer Richtung an einer Seite des Stators angeordnet sind, insbesondere so, dass das eine Lager in axialer Richtung zwischen dem anderen Lager und dem Stator angeordnet ist. Der Läufer wird somit von diesen beiden Lagern getragen, so dass er im Bereich des Stators freitragend gehalten angeordnet ist.

Mit anderen Worten ist der Stator fest an der Aufnahme durch diese beiden, axial
20 beabstandeten zwei Lagern befestigt, so dass der Außenläufer den Stator überspannt und auf einer Seite des Stators auf den beiden Lagern getragen wird. Es ergibt sich somit eine äußerst stabile und dabei vergleichsweise einfach aufzubauende Konstruktion. Die Verwendung zweier Lager, nämlich beide auf einer Seite des Stators, ist besonders gut dafür geeignet, Kippkräfte aufzunehmen, die insbesondere durch eine Windlast auf den
25 Rotorblättern über eine Rotornabe zum Außenläufer hin, eingeleitet werden könnten. Es ist zu beachten, dass eines oder beide der Lager auch in einem größeren Abstand von einer Befestigung des Stators auf der Aufnahme oder einem Achszapfen entfernt angeordnet sein können. Ein möglichst großer Abstand zwischen den beiden Lagern gehört ebenfalls die Fähigkeit Kippkräfte aufzunehmen.

Vorzugsweise wird ein Synchrongenerator vorgeschlagen, der dadurch gekennzeichnet
30 ist, dass wenigstens ein Gebläse (309), insbesondere in der Tragkonstruktion des Stators vorgesehen ist, um Luft zum Kühlen durch das Statorblechpaket (658) radial nach außen

zu blasen. Der Luftstrom ist somit gezielt nach außen gerichtet und kann zunächst den Stator kühlen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass der Außenläufer Kühllöffnungen zum Luftspalt hin aufweist, so dass ein Teil der Kühlluft von dem Luftspalt
5 (206) weiter nach außen durch den Außenläufer (304) und zwischen Läuferpolen, insbesondere Läuferpolschuhen (32A) des Außenläufers hindurch entlang von Erregerwicklungen des Außenläufers strömt, um dadurch die Läuferpolschuhe, insbesondere ihre Erregerwicklungen zu kühlen.

Somit wird zumindest gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ein großer, langsam
10 laufender Synchrongenerator vorgeschlagen, der einen fremderregten Rotor aufweist. Er wird gezielt durch wenigstens ein Gebläse in der Tragstruktur seines Stators gekühlt. Die Kühlluft wird hierbei von dem Gebläse radial nach außen geblasen, also nach außen gedrückt und kühlt so zunächst den Stator, insbesondere das Statorblechpaket, durch
15 das die Kühlluft nach außen zum Luftspalt strömt. Die Kühlluft strömt somit weiter durch den Luftspalt und kühlt dabei Stator und Außenläufer. Außerdem strömt ein Teil der Kühlluft, die inzwischen bereits schon wenigstens etwas erwärmt wurde, durch Öffnungen in dem Außenläufer nach außen. Hierdurch können die Erregerwicklungen des Außenläufers erreicht und gekühlt werden, die ansonsten nicht in direktem Kontakt mit dem Luftspalt stehen.

20 Durch die Konstruktion dieses getriebelosen, fremderregten, langsam laufenden Generators als Außenläufer kann eine solche Kühlung auch des Außenläufers erreicht werden. Die Außenläuferkonstruktion schafft auch im Bereich der Polschuhe des Rotors einen Zwischenraum, der eine solche Kühlung ermöglicht.

Vorzugsweise ist der Synchrongenerator so konstruiert und dimensioniert, dass der
25 Statoraußendurchmesser wenigstens 4,4m, vorzugsweise wenigstens 4,5m und insbesondere wenigstens 4,6m aufweist, insbesondere bei einem Generatoraußendurchmesser von 5m. Es wird somit ein Synchrongenerator vorgeschlagen, der mit einem Außen-
durchmesser von 5m noch einen Transport auf öffentlichen Straßen zulässt und dabei einen möglichst großen Statoraußendurchmesser aufweist und damit eine möglichst
30 große Nennleistung aufweisen kann.

Weiterhin wird eine Windenergieanlage vorgeschlagen, die einen Synchrongenerator gemäß wenigstens einem der vorbeschriebenen Ausführungsformen aufweist.

Die Erfindung wird nun nachfolgend beispielhaft anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren näher erläutert.

- 5 Fig. 1 zeigt eine Windenergieanlage in einer perspektivischen Ansicht.
- Fig. 2 zeigt einen Generator vom Typ Innenläufer in einer seitlichen Schnittansicht.
- Fig. 3 zeigt einen Generator vom Typ Außenläufer in einer seitlichen Schnittansicht.
- Fig. 4 zeigt einen Generator ähnlich der Fig. 3 in einer perspektivischen Ansicht.
- 10 Fig. 5 zeigt einen Generator gemäß der Fig. 4 in einer weiteren perspektivischen Ansicht.
- Fig. 6 zeigt einen erfindungsgemäßen Generator gemäß einer weiteren Ausführungsform in einer perspektivischen Darstellung.
- Fig. 7 zeigt den Generator der Fig. 6 perspektivisch in einer Schnittansicht.
- Fig. 8 zeigt den Generator gemäß Fig. 7 in einer anderen Ansicht.
- 15 Fig. 9 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt eines Generators schematisch.
- Fig. 10 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt eines Generators schematisch.
- Fig. 11 zeigt schematisch einen Ausschnitt eines Rotors eines Außenläufers zusammengesetzt mit einem Ausschnitt eines Rotors eines Innenläufers.
- 20 Fig. 12 zeigt einen an einer Tragkonstruktion befestigten Generator schematisch in einer seitlichen Schnittansicht.

Fig. 1 zeigt eine Windenergieanlage 100 mit einem Turm 102 und einer Gondel 104. An der Gondel 104 ist ein Rotor 106 mit drei Rotorblättern 108 und einem Spinner 110 angeordnet. Der Rotor 106 wird im Betrieb durch den Wind in eine Drehbewegung versetzt und treibt dadurch einen Generator in der Gondel 104 an.

5 Fig. 2 zeigt einen Generator 201 vom Typ Innenläufer und damit einen außen liegenden Stator 202 und einen dazu innen liegenden Läufer 204. Zwischen dem Stator 202 und dem Läufer 204 befindet sich der Luftspalt 206. Der Stator 202 wird über eine Statorglocke 208 auf einem Statorträger 210 getragen. Der Stator 202 weist Blechpakete 212 auf, die Wicklungen aufnehmen, von denen Wickelköpfe 214 gezeigt sind. Die Wickelköpfe
10 214 zeigen im Grunde die aus einer Statornut heraus in die nächste Statornut hinein gelegten Wicklungsdrähte. Die Blechpakete 212 des Stators 202 sind an einem Tragrings 216 befestigt, der auch als Teil des Stators 202 angesehen werden kann. Mittels dieses Tragrings 216 ist der Stator 202 an einem Statorflansch 218 der Statorglocke 208 befestigt. Hierüber trägt die Statorglocke 208 den Stator 202. Darüber hinaus kann die Sta-
15 torglocke 208 Gebläse zum Kühlen vorsehen, die in der Statorglocke 208 angeordnet sind. Hierdurch kann Luft zum Kühlen auch durch den Luftspalt 206 gedrückt werden, um dadurch im Bereich des Luftspalts zu kühlen.

Fig. 2 zeigt zudem den Außenumfang 220 des Generators 201. Lediglich Handhabungs-
laschen 222 ragen darüber hinaus, was jedoch unproblematisch ist, da diese nicht über
20 den gesamten Umfang vorhanden sind.

An den Statorträger 210 schließt sich ein nur teilweise dargestellter Achszapfen 224 an. Auf dem Achszapfen 224 ist der Läufer 204 über zwei Läuferlager 226 gelagert, von denen nur eines gezeigt ist. Dazu ist der Läufer 204 an einem Nabenabschnitt 228 befestigt, der auch mit Rotorblättern des aerodynamischen Rotors verbunden ist, so dass die
25 Rotorblätter vom Wind bewegt den Läufer 204 über diesen Nabenabschnitt 228 drehen können.

Der Läufer 204 weist dabei Polschuhkörper mit Erregerwicklungen 230 auf. Zum Luftspalt 206 hin ist an den Erregerwicklungen 230 noch ein Teil des Polschuhs 232 zu erkennen. Zur dem Luftspalt 206 abgewandten Seite, also nach innen hin ist der Polschuh 232 mit
30 der Erregerwicklung, die er trägt, an einem Läufertragrings 234 befestigt, der wiederum mittels eines Läuferträgers 236 an dem Nabenabschnitt 228 befestigt ist. Der Läufertrag-

ring 234 ist im Grund ein zylindermantelförmiger, durchgängiger, massiver Abschnitt. Der Läuferträger 236 weist eine Vielzahl von Verstrebungen auf.

Es ist in der Fig. 2 zu erkennen, dass die radiale Ausdehnung des Läufers 204, nämlich von dem Läufertragring 234 zum Luftspalt 206 deutlich geringer ist als die radiale Ausdehnung des Stators 202, nämlich vom Luftspalt 206 zum Außenumfang 220.

Darüber hinaus ist eine Abstandslänge 238 eingezeichnet, die etwa einen mittleren Abstand einer Läuferaufnahme 250 zu einer Statoraufnahme 252 beschreibt. Die Abstandslänge 238 ist ein Maß für die Luftspaltbeeinflussung der Generatorkonstruktion durch äußere Kräfte. Bei diesem Generator gemäß Figur 2 ist diese axiale Abstandslänge verhältnismäßig groß und zeigt damit, dass eine sehr starre Konstruktion von Stator und Läufer notwendig ist, um auch im Betrieb einen gleichmäßigen Abstand zwischen Stator und Läufer sicherzustellen.

Der Generator 301 der Fig. 3 ist vom Typ Außenläufer. Entsprechend liegt der Stator 302 innen und der Läufer 304 außen. Der Stator 302 wird durch eine zentrale Statortragkonstruktion 308 auf dem Statorträger 310 getragen. Zur Kühlung ist in der Statortragkonstruktion 308 ein Gebläse 309 eingezeichnet. Der Stator 302 wird somit mittig getragen, was die Stabilität sehr erhöhen kann. Weiterhin kann er von innen her durch das Gebläse 309, das nur charakteristisch für weitere Gebläse steht, gekühlt werden. Der Stator 302 ist bei dieser Konstruktion von innen her zugänglich. Durch das Gebläse wird Kühlluft nach außen gedrückt.

Der Läufer 304 weist einen außen liegenden Läufertragring 334 auf, der an einem Läuferträger 336, der auch als Läuferglocke 336 bezeichnet werden kann, befestigt ist und von diesem bzw. dieser auf dem Nabenabschnitt 328 getragen wird, der wiederum über zwei Läuferlager, von denen ein Läuferlager 326 gezeigt ist, auf einem Achszapfen 324 gelagert wird.

Aufgrund der vertauschten Anordnung von Stator 302 und Läufer 304 ergibt sich ein Luftspalt 306, der einen größeren Durchmesser aufweist als der Luftspalt 206 der Fig. 2 des Generators 201 vom Typ Innenläufer.

Fig. 3 zeigt zudem noch eine günstige Anordnung einer Bremse 340, die über eine mit dem Läufer 304 verbundene Bremsscheibe 342 den Läufer 304 bei Bedarf festsetzen kann.

In Fig. 3 ist ebenfalls eine axiale Abstandslänge 338 eingezeichnet, die ebenfalls einen
5 mittleren Abstand einer Läuferaufnahme 350 zu einer Statoraufnahme 352 beschreibt. Hier ist diese Abstandslänge 338 deutlich verringert gegenüber der axialen Abstandslänge 238, die bei dem Generator vom Typ Innenläufer in der Fig. 2 gezeigt ist. Auch die axiale Abstandslänge 238 der Fig. 2 gibt einen mittleren Abstand zwischen den beiden Tragkonstruktionen für den Stator 202 einerseits und den Läufer 204 andererseits an. Je
10 kleiner eine solche axiale Traglänge 238 bzw. 338 ist, um so höher ist die Luftspalt-Stabilität, die erreicht werden kann, insbesondere auch eine Kippstabilität zwischen Stator und Läufer.

Der Außendurchmesser 344 des Außenumfangs 320 ist bei beiden gezeigten Generatoren der Fig. 2 und 3 identisch. Der Außenumfang 220 des Generators 201 der Fig. 2
15 weist somit ebenfalls den Außendurchmesser 344 auf. Trotz gleicher Außendurchmesser 344 ist es bei der Konstruktion der Fig. 3, die den Generator 301 des Typs Außenläufer zeigt, möglich, einen größeren Luftspaltdurchmesser für den Luftspalt 306 gegenüber dem Luftspalt 206 der Fig. 2 zu erreichen.

Aus der perspektivischen Darstellung der Fig. 4 wird der grundsätzliche Aufbau eines
20 gekapselten erfindungsgemäßen Generators 401 erkennbar. In der Fig. 4 ist zudem ein Statorträger 410, insbesondere sein Flansch zu erkennen. Dieser Statorträger 410 trägt den Stator. Der gezeigte Trägerflansch 450 ist zum Befestigen an einem Maschinenträger vorgesehen, der nämlich fest an einer Gondel einer Windenergieanlage bestimmungsgemäß angeordnet ist. Der Statorträger 410 trägt den Stator des Generators 401
25 und wird auch als Achszapfenaufnahme bezeichnet, weil diese Achszapfenaufnahme mit ihrer einen Seite, nämlich dem Trägerflansch 450 am Maschinenträger befestigt wird und an einer anderen, in Fig. 4 nicht gezeigten Seite, mit einem Achszapfen fest verbunden wird. Ein solcher Achszapfen trägt oder stützt den aerodynamischen Rotor.

Der Statorträger 410 bzw. die Achszapfenaufnahme 410 kann als Teil des Generators
30 401 verstanden werden.

In Fig. 4 sind auch Bremsen 440 gezeigt, die auch den Übergang vom Außenläufer 404 zum innenliegenden Stator 402 markieren. Die Bremsen 440 sind dabei an einer Statorringscheibe 446 befestigt und können von dort aus den Läufer 404 an seiner Bremscheibe 442 bremsen. Die Statorringscheibe 446 ist im Wesentlichen an dem Trägerflansch 450 befestigt.

Fig. 5 zeigt eine weitere Ansicht des Generators 401, die im Wesentlichen den eingekapselten Läufer 404 zeigt. In der Perspektive der Figur 5 ist zudem von dem Statorträger 410 bzw. Achszapfenaufnahme 410 ein Achszapfenflansch 452 zu erkennen, an dem bestimmungsgemäß ein Achszapfen montiert wird. Dies verdeutlicht auch, dass die Achszapfenaufnahme 410 bzw. der Statorträger 410 als Teil des Generators 401 verstanden werden kann, was im Übrigen nicht nur für diese Ausführungsform gilt, weil aus den Fig. 4 und 5 deutlich wird, dass der Generator 401 mit diesem Statorträger 410 jedenfalls eine räumlich klar vorgegebene Vorrichtung bildet.

Fig. 6 zeigt einen Generator 601, der ähnlich dem Generator 401 und dem Generator 301 aufgebaut ist. Zu dem Generator 401 der Fig. 4 und 5 unterscheidet sich dieser Generator 601 im Wesentlichen darin, dass ein Statorträger bzw. eine Achszapfenaufnahme nicht dargestellt ist, worauf es bei der Darstellung nicht ankommt. Zudem ist in Fig. 6 eine Revisionsöffnung 656 gezeigt, durch die hindurch in den Läufer 604 hineingesehen werden kann, um etwaige Wartungen oder Überprüfungen des Läufers 604 vornehmen zu können. Ebenfalls kann durch diese Revisionsöffnung 656 auch zumindest teilweise der Stator 602 begutachtet werden. Die Revisionsöffnung 656 ist in Fig. 6 veranschaulichend dargestellt. Es sind jedoch auch je nach Bedarf und unter Berücksichtigung der verbleibenden Stabilität der gezeigten Einkapselung des Läufers 604 vorzugsweise weitere Revisionsöffnungen 656 vorzusehen. Für die Begutachtung alleine des Stators 602 könnte eine Revisionsöffnung 656 ausreichen, die je nach Bedarf an die entsprechende Stelle des Stators 602 gedreht werden kann. Zur Untersuchung des Läufers 604 kann es jedoch vorteilhaft sein, mehrere solcher Revisionsöffnungen 656 vorzusehen.

Die Darstellung der Fig. 7 verdeutlicht einen Teil des Aufbaus des innenliegenden Stators 602. Dieser weist ein Statorblechpaket 658 auf, der bewickelt ist, was durch die Wickelköpfe 660 angedeutet wird. Zur Drehachse hin weist der Stator 602 eine radiale Tragkonstruktion 662 auf. Die radiale Tragkonstruktion 662 umfasst im Wesentlichen zwei radiale Leitbleche, die sich radial nach außen erstrecken und dabei senkrecht zur Drehachse des Generators 601 angeordnet sind. Diese radialen Leitbleche 664 können dem Stator 602,

insbesondere das Statorblechpaket 658, mit seinen Wicklungen auf einem Statorträger bzw. auf einer Achszapfenaufnahme, wie sie bspw. in Fig. 4 mit der Bezugsnummer 410 gezeigt ist, befestigt werden. Gleichzeitig können die Leitbleche 664 Luft als Kühlluft zum Statorblechpaket 658 leiten.

- 5 Damit kann das Statorblechpaket 658 und auch Wicklungen in dem Statorblechpaket 658, die durch die Wickelköpfe 660 angedeutet sind, gekühlt werden. Radial nach außen schließt sich an das Statorblechpaket 658 der Läufer 604 mit seinen Polschuhen 632 an. Zwischen dem Statorblechpaket 658 und den Polschuhen 632 ist ein Luftspalt 606 ausgebildet, der in der Fig. 7 nur als eine Linie erkennbar ist.
- 10 In der Perspektive der Fig. 8 ist ebenfalls der Aufbau des Stators 602 mit seiner radialen Tragkonstruktion 662 mit den beiden radialen Leitblechen 664 zu erkennen. Dabei sind weitere Revisionsöffnungen 656' zu erkennen, die ebenfalls zum Begutachten und Warten sowohl des Stators 602 als auch des Läufers 604 vorgesehen sind. Dabei sind diese Revisionsöffnungen 656' in einem radialen Rotorblech 666 angeordnet und erlauben ein
- 15 Blick auf die Polschuhe 632 des Läufers und insbesondere die maschinenträgerseitigen Wickelköpfe 660.

Dabei ist das radiale Rotorblech 666 so ausgebildet, dass noch eine Bremsscheibe 642 getragen werden kann.

- Fig. 9 und 10 veranschaulichen in einem Ausschnitt Kühlströmungen unterschiedlicher
- 20 Generatortypen, nämlich eines Generators 901 vom Typ Innenläufer in der Fig. 9 und ein Generator 1001 vom Typ Außenläufer in der Fig. 10. Der Ausschnitt in Fig. 9 entspricht etwa dem Ausschnitt eines Generators 201 der Fig. 2, wobei in Fig. 9 eine etwas andere Ausführungsform gezeigt ist. Der Ausschnitt der Fig. 10 entspricht etwa dem Ausschnitt eines Generators 301, wie er in Fig. 3 gezeigt ist, wobei Fig. 10 eine etwas andere Aus-
- 25 führungsform zeigt.

- Gemäß Fig. 9 fließen radiale Kühlströme 970 im Wesentlichen beidseitig - bezogen auf die Darstellung der Fig. 9, des Läufers 904 nach außen bis hin zum Statorblechpaket 958 und zu den Wickelköpfen 960. Eine axiale Kühlströmung 972 bildet sich nur in einer Richtung aus und muss somit sowohl das Statorblechpaket 958 als auch die Läuferpol-
- 30 schuhe 932 in axialer Richtung vollständig kühlen. Der Kühlweg ist somit verhältnismäßig

lang und eine Zuführung von Kühlluft erfolgt im Wesentlichen über eine der radialen Kühlströme 970.

Der Generator 1001 vom Typ Außenläufer führt über radiale Kühlströme 1070 im Grunde auf voller Breite des Stators 1002 Kühlluft radial zum Statorblechpaket 1058 und von da
5 ggf. weiter über nicht gezeigte Kühlkanäle zu Läuferpolschuhen 1032. Die Kühlluft kann in zwei Richtungen als axiale Kühlströmung 1072 Läufer 1004 und Stator 1002 kühlen. Es ist somit viel Kühlluft zuführbar, nämlich auf voller Breite des Stators 1002 - bezogen auf die Darstellung der Fig. 10 - bzw. auf voller axialer Länge des Stators 1002. Dabei kann die radial zugeführte Kühlluft der radialen Kühlströme 1070 sich beim Erreichen
10 etwa des Luftspalts 1006 aufteilen, so dass nur jeweils Stator 1002 und Läufer 1004 axial zur Hälfte von einem Kühlstrom gekühlt werden müssen. Die Erwärmungsstrecke von dem jeweiligen Kühlstrom halbiert sich somit.

Der Vergleich der Fig. 9 und 10 veranschaulicht auch die Position und den Platzbedarf der Statorwickelköpfe 960 des Generators 901 der Fig. 9 für den Fall eines Innenläufers
15 und der Statorwickelköpfe 1060 des Generators 1001 der Fig. 10 für den Außenläufer andererseits.

Die in Fig. 10 gezeigten, radialen und axialen Kühlströme 1070 bzw. 1072 können bspw. durch ein Gebläse erzeugt werden, wie bspw. das Gebläse 309, das in dem Generator 301 der Fig. 3 gezeigt. Ein solches Gebläse, von dem auch mehrere vorgesehen sein
20 können, kann bspw. Kühlluft zwischen die beiden radialen Leitbleche 1064 drücken, so dass Kühlluft zwischen den beiden radialen Leitblechen 1064 radial nach außen geleitet wird. Weiterhin kann durch andere Zuführung von Kühlluft zum Stator ein Kühlstrom in radialer Richtung resultieren. Wenn der Kühlstrom am Statorblechpaket 1058 oder den Polschuhen 1032 ankommt, bzw. im Wesentlichen im Bereich des Luftspalts 1006 an-
25 kommt, kann dieses in axiale Strömung umgeleitet werden. Zum Weiterleiten radialer Kühlluft 1070 durch den Stator 1002 können entsprechende Kühlkanäle verteilt über das Statorblechpaket 1058 vorgesehen sein. Kühlluft kann im Wesentlichen in axialer Richtung zwischen Polschuhen 1032 entlang strömen, und auch axial durch den Luftspalt 1006 strömen. Ein teilweises axiales Strömen von Kühlluft ist auch in Teilen des Sta-
30 torblechpakets 1058 möglich, nämlich insbesondere in Wicklungsnuten, soweit darin liegende Wicklungen freien Raum z.B. durch Kühlkanäle, die in den Wicklungen liegen, gelassen haben. Ein weiterer Weg von Kühlluft kann durch Kanäle erfolgen, die innerhalb des Blechpaketes verlaufen. Davon abgesehen wird darauf hingewiesen, dass die durch

Pfeile veranschaulichten radialen Kühlströme 1070 und axialen Kühlströme 1072 als schematische Darstellung zu verstehen sind. Ein Teil der Kühlluft kann von dem Luftspalt 1006 durch Öffnungen in dem Läufer 1004, nämlich dem Außenläufer 1004 aus radial nach außen strömen, und dadurch den Außenläufer 1004 besser kühlen, wobei diese
5 Teilströme in Figur 10 nicht eingezeichnet sind.

Fig. 11 ist eine schematische Darstellung, die in einem Ausschnitt Polschuhe 32A eines Außenläufers 4A zusammen mit Polschuhen 32B eines Innenläufers 4B zusammen in einer Darstellung zeigt. Die gezeigte Anordnung ist in dieser Zusammenstellung nicht Teil einer funktionierenden Maschine.

10 Vielmehr soll Fig. 11 den Unterschied der Polschuhanordnung eines Außenläufers 4A eines fremderregten Synchrongenerators gegenüber der Polschuhanordnung eines Innenläufers 4B eines Synchrongenerators verdeutlichen. Auch die Fig. 11 zeigt einen Luftspalt 6AB als Orientierung. Der Innenläufer 4B erstreckt sich von dem Luftspalt 6AB nach innen, mit der Konsequenz, dass die Polschuhe 32B vom Luftspalt 6AB aus zu-
15 sammenlaufen. Die Zwischenräume 48B verkleinern sich dabei und die Polschuhe 32B laufen im Grunde aufeinander zu. Damit wird der Wickelraum der Polschuhe 32B eingeschränkt und auch Raum für etwaige Kühlströme verringert sich. Es wird darauf hingewiesen, dass Fig. 11 eine Darstellung in axialer Sicht, also in Sicht entlang der Drehachse zeigt.

20 Andererseits laufen die Polschuhe 32A des Außenläufers 4A von dem Luftspalt 6AB radial nach außen auseinander. Entsprechend entsteht viel Zwischenraum 48A zwischen den Polschuhen 32A. Dieser Effekt kann auch konstruktiv genutzt werden und es wird möglich, die radiale Ausdehnung von Läuferpolschuhen und damit grundsätzlich die radiale Ausdehnung des Läufers zu reduzieren. Dies stellt eine mögliche Maßnahme -
25 grundsätzlich für alle erfindungsgemäßen Ausführungsformen - dar, den Luftspalt soweit wie möglich nach außen zu legen, um dadurch bei gegebener Baugröße, insbesondere gegebenem Außendurchmesser des Generators, seine Leistungsfähigkeit noch zu erhöhen bzw. zu optimieren.

Die Darstellung des Außenläufers 4A der Figur 11, zeigt die Zwischenräume 48A, für die
30 auch vorgeschlagen wird, diese zum Führen von Kühlluft zu verwenden.

Fig. 12 zeigt einen Generator einer Ausführungsform schematisch in einem installierten Zustand. Dort ist ein Maschinenträger 1209 vorgesehen, an dem ein Statorträger 1210 befestigt ist, an dem wiederum ein Achszapfen 1224 befestigt. Von dem Generator 1201 ist der Stator 1202 an dem Statorträger 1210 befestigt. Der Maschinenträger 1209, der Statorträger 1210, der Achszapfen 1224 und der Stator 1202 sind somit zu einem starren und feststehenden Element verbunden, abgesehen von der Möglichkeit einer Azimutverstellung der gesamten dargestellten Konstruktion.

Der außenliegende Läufer 1204 ist über einen Rotorträger 1236 an einer Rotornabe 1228 befestigt. Der Nabenabschnitt 1228 ist über ein erstes und zweites Rotorlager 1226 bzw. 1227 drehbar auf dem Achszapfen 1224 gelagert. Durch den großen axialen Abstand a zwischen dem ersten und zweiten Rotorlager 1226 und 1227 ergibt sich eine hohe Kippstabilität für den Läufer 1204.

Weiterhin ist eine axiale Abstandslänge e eingezeichnet, die der Abstandslänge 338 der Fig. 3 entspricht. Diese beschreibt einen mittleren Abstand in axialer Richtung vom Rotorträger 1236 zu einer Statoraufnahme 1252. Durch Vorsehen eines Außenläufergenerators und damit eines innenliegenden Stators 1202 kann der Stator 1202 in axialer Richtung gesehen mittig auf dem Statorträger 1210 fest befestigt werden, so dass die gezeigte Abstandslänge e verhältnismäßig klein ist. Zusammen mit dem großen Abstand a und der daraus resultierenden Kippstabilität ist eine besonders stabile Struktur erreichbar.

Der Läufer 1204 weist zudem eine umlaufende Bremsschleibe 1242 auf, die sich zusammen mit dem Läufer 1204 im Betrieb dreht. Zum Bremsen bzw. Festsetzen ist entsprechend eine Bremse 1240 vorgesehen.

Der Fig. 12 ist zudem zu entnehmen, dass viel Raum vorhanden ist, um von innen her den Stator 1202 mit Kühlmedium, insbesondere Kühlluft, anzuströmen. Unter anderem kann ein solches Kühlmedium auch innerhalb der gezeigten Statoraufnahme 1252 zum Stator, insbesondere im Bereich der Statorwicklungen 1230 strömen. Weiterhin kann die radial geführte Kühlluft zur Kühlung der Rotor-Pole 1231 der Erregerwicklung genutzt werden.

Grundsätzlich ist es somit möglich, im Vergleich mit einem fremderregten Innenläufergenerator den Luftspaltdurchmesser bei gleichem Gesamtaußendurchmesser zu vergrößern. Wenn bei Innenläufergeneratoren das Verhältnis Luftspaltdurchmesser zu Gesamt-

außendurchmesser unter einen Wert von 0,86 beschränkt ist, wird es nun möglich, dieses Verhältnis selbst bei einem fremderregten Außenläufer zu erhöhen. Es kann nun ein Verhältnis von 0,86 bis 0,94 realisiert werden. Weiterhin ist bei einer gekapselten Ausführung ausreichend Platz für die Statorwickelköpfe. Dabei ist auch, bei gekapselter Ausführung, eine gute Zugänglichkeit der Statorwickelköpfe gegeben.

Bei einem Außenläufergenerator ist eine Luftdurchströmung über die gesamte Statorpaketbreite bei einer Luftzufuhr innerhalb der Außenabmaße leicht realisierbar.

Mit einem fremderregten Außenläufergenerator, wie er erfindungsgemäß vorgeschlagen wird, kann im Vergleich zu einem Innenläufergenerator bei gleichem Luftspaltdurchmesser ein größeres Blechpaket in den Polen, mehr Erregerwicklungen und mehr Kühlungs-
luft zwischen den Polpaketen realisiert werden.

Nachteile des Standes der Technik, wie geringer Luftspaltdurchmesser bei vergleichbaren Außenabmessungen, ungünstige oder unmögliche Zugänglichkeit zum Statorwickelkopf bei gekapselter Bauform und eingeschränkte Luftkühlungsmöglichkeiten, können durch die vorgeschlagene Erfindung zumindest teilweise adressiert werden. Es ist somit eine bessere Materialausnutzung, eine bessere Kühlung und im Ergebnis eine höhere Generatorleistung bzw. geringere Generatorverlustleistung erzielbar.

Gleichzeitig werden die Transportabmessungen gering gehalten, insbesondere ist es möglich, maximale Transportabmaße für den Transport auf öffentlichen Straßen einzuhalten. Eine Verbesserung der Kühlung des Generators kann erreicht werden und im Ergebnis kann eine höhere Generatorleistung oder zumindest eine geringe Generatorverlustleistung realisiert werden.

Bei einem vorgeschlagenen fremderregten Außenläufergenerator können im Vergleich zu bekannten Innenläufergeneratoren bei gleichem Luftspaltdurchmesser ein größeres Blechpaket, mehr Erregerwicklung und mehr Kühlungsluft zwischen den Polpaketen bzw. Polen realisiert werden.

Ansprüche

1. Synchrongenerator (301) einer getriebelosen Windenergieanlage (100), umfassend einen Außenläufer (304) und einen Stator (302), wobei der Synchrongenerator (301) einen Generatoraußendurchmesser (344) und der Stator (302) einen Statoraußendurchmesser aufweist, und ein Verhältnis des Statoraußendurchmesser zum Generatoraußendurchmesser größer ist als 0,86, insbesondere größer als 0,9 und insbesondere größer als 0,92.
5
2. Synchrongenerator (301) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (302) eine radiale Tragkonstruktion (662) aufweist, die sich radial nach innen erstreckt und zum Befestigen an einer sich axial durch den Stator (302) erstreckenden Achsaufnahme (307) vorbereitet ist.
10
3. Synchrongenerator (301) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (302)
 - radiale Kühlkanäle aufweist, zum radialen Zuführen von Kühlluft von innen und
 - 15 - axiale Kühlkanäle aufweist zum axialen Leiten der radial zugeführten Kühlluft zum Kühlen des Stators, insbesondere so, dass die radial zugeführte Kühlluft durch ein Statorblechpaket und/oder durch Statorwicklungspakete geführt wird und/oder dass die radial zugeführte Kühlluft aufgeteilt und axial in eine Vorwärtsrichtung und in eine Rückwärtsrichtung geleitet wird.
- 20 4. Synchrongenerator (301) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Kühlluft radial über die gesamte axiale Ausdehnung des Stators (302) zugeführt wird und/oder dass radiale Kühlkanäle bzw. die radialen Kühlkanäle durch eine bzw. die radiale Tragkonstruktion (662) ausgebildet sind.
- 25 5. Synchrongenerator (301) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Synchrongenerator (301), insbesondere der Außenläufer (304), gekapselt ist und/oder der Außenläufer (304) eine Läuferglocke mit einer Revisionsöffnung (656) zum Warten des Außenläufers (304) und/oder des Stators (302) aufweist.

6. Synchrongenerator (301) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Synchrongenerator (301) fremderregt ist, und/oder als Ringgenerator ausgebildet ist und/oder wenigstens 48, wenigstens 72, insbesondere wenigstens 192 Statorpole aufweist und/oder als 6-phasiger Generator (301) ausgebildet ist und/oder dass der Stator (302) eine durchgängige Wicklung (14) aufweist.

7. Synchrongenerator (301) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (302) auf einer axialen, durch den Stator (302) und Außenläufer (304) hindurch verlaufenden Aufnahme, insbesondere Achszapfenaufnahme (310) getragen wird und der Außenläufer (302) optional auf einem ersten und zweiten mit der Aufnahme verbundenen Lager gelagert wird, wobei beide Lager in axialer Richtung an einer Seite des Stator angeordnet sind, insbesondere so, dass das eine Lager in axialer Richtung zwischen dem anderen Lager und dem Stator angeordnet ist.

8. Synchrongenerator (301) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Statoraußendurchmesser wenigstens 4,4m, vorzugsweise wenigstens 4,5m und insbesondere wenigstens 4,6m beträgt, wobei der Generatorsaußendurchmesser (344) insbesondere etwa 5m beträgt.

9. Synchrongenerator (301) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Gebläse (309), insbesondere in der Tragkonstruktion des Stators vorgesehen ist, um Luft zum Kühlen durch das Statorblechpaket (658) radial nach außen zu blasen.

10. Synchrongenerator (301) nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Außenläufer (304) und dem Stator (302) ein Luftspalt (206) vorgesehen ist und der Außenläufer (304) Kühlöffnungen zum Luftspalt hin aufweist, so dass ein Teil der Kühlluft von dem Luftspalt (206) weiter nach außen durch den Außenläufer (304) und zwischen Läuferpolen, insbesondere Läuferpolschuhen (32A) des Außenläufers hindurch entlang von Erregerwicklungen des Außenläufers strömt, um dadurch die Läuferpolschuhe, insbesondere ihre Erregerwicklungen zu kühlen.

11. Windenergieanlage (100) mit einem Synchrongenerator (301) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche.