

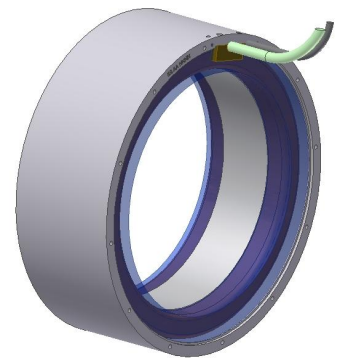
## ALXION STK PERMANENT MAGNET GEHÄUSELOSE GENERATOREN FÜR DEN DIREKTANTRIEB BEI WIND TURBINEN

### APPLIKATIONSHINWEISE

#### I. Beschreibung STK gehäuselose Generatoren

Gehäuselose Generatoren bestehen aus einem feststehenden Teil (Stator) und einem drehenden Teil (Rotor).

Der Stator besteht aus einem Ring aus einer Aluminiumlegierung, in den das Blechpaket mit der 3-phasigen Wicklung und die Leistungs- und Sensor-Kabel integriert sind. Die Wicklungsköpfe sind vergossen, so dass sie geschützt sind und der thermische Widerstand minimiert wird. Die äußere Oberfläche des Stator-Rings ist für den Außeneinsatz geeignet; bei salzhaltiger Umgebung wird ein externes Gehäuse empfohlen.



*Stator*

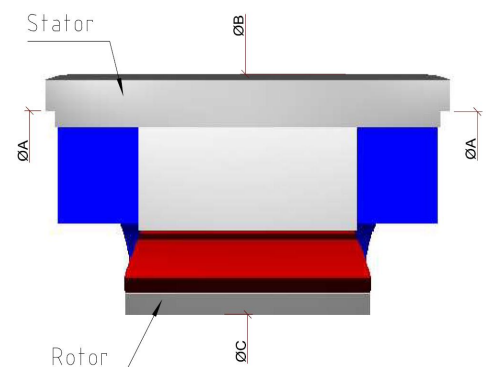


*Rotor*

Der Rotor besteht aus einem Stahlträger, auf den die Permanentmagnete aus Seltenen Erde Material montiert sind. Das Eisen des Rotors bildet gleichzeitig den magnetischen Rückschlußpfad. Die Magnete werden phosphatiert und zusätzlich durch einen Lack gegen Korrosion geschützt. Auf das Eisen des Rotors wird eine spezielle Fettschicht als Korrosionsschutz aufgetragen.

#### Mechanische Schnittstellen

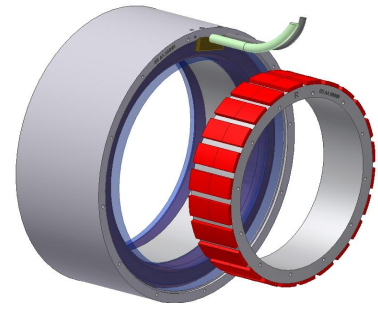
- der Stator hat einen äußeren Zentrierdurchmesser  $\varnothing B$  und einen Zentrierbund  $\varnothing A$  an beiden Seiten.
- der Rotor hat einen inneren Zentrierdurchmesser  $\varnothing C$ .
- sowohl der Stator wie auch der Rotor haben Gewindebohrungen auf beiden Seiten für die Montage.



*Mechanische Schnittstellen*

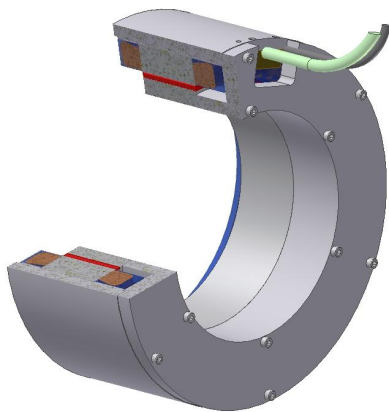
## Lieferung von gehäuselosen Generatoren

- Der Stator und der Rotor werden als zwei separate Teile geliefert, d.h. die Montage, Zentrierung und Ausrichtung der beiden Teile muss vom Anwender gemacht werden.

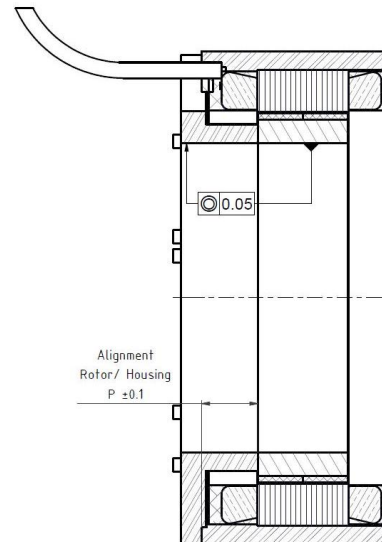


*Standard Lieferung von STK gehäuselosen Generatoren*

- optional können die gehäuseloen Generatoren vormontiert auf einem FMDT Montageflansch geliefert werden, d.h. die Zentrierung und die axiale Ausrichtung erfolgen werksseitig (siehe Handbuch für STK Montage).



*Lieferung mit Montageflansch FMDT*



## II. Eigenschaften von STK gehäuselosen Generatoren in Windturbinen

Die gehäuselosen STK Generatoren bieten folgende herausragenden Charakteristika:

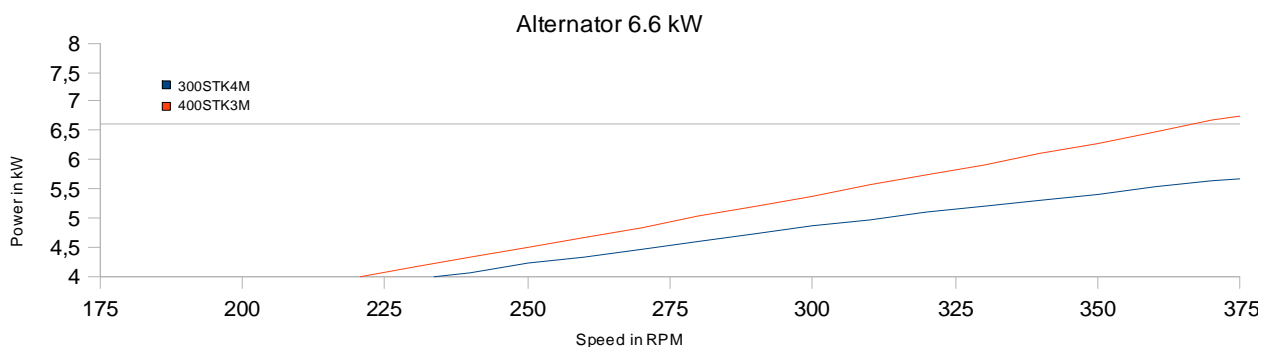
- die kompakte Ausführung, das hohe Leistungs-Gewichts- und Leistungs-Bauvolumenverhältnis erlauben den Betrieb von Windturbinen im Direktantriebsmodus ohne Getriebeuntersetzung: bis zu 600 W/kg und 2.500 W/dm<sup>3</sup>;
- geringe Verluste und hoher Wirkungsgrad bei Nenngeschwindigkeit bei kleiner Drehzahl: bis zu 94% Wirkungsgrad bei einigen Modellen;
- Windturbine startet dank sehr geringer «magnetischer Reibung» bzw. Rastmoment bereits bei sehr geringen Windgeschwindigkeiten: spezielles Design für nur ca. 1% des Nennmoments als Rastmoment;
- herausragende Energieausbeute auch bei kleineren Drehzahlen durch exzellente Drehzahl/Leistungskurve: bis zu 50% der Nennleistung bei halber Drehzahl;
- höchste Zuverlässigkeit und Lebensdauer: MTBF von 100.000 Stunden und mehr in Standardapplikationen.

### III. Auslegung einer Windturbine mit einem gehäuselosen STK Generator als Direktantrieb

Bitte beachten Sie die beiden folgenden wichtigen Hinweise für die Windturbinen-Auslegung mit Bezug auf die Drehgeschwindigkeit einerseits und die mechanische Integration des Generators andererseits:

**Auswahl der Drehgeschwindigkeit:** bei vorgegebener Leistung wird der Generator kleiner – und damit kostengünstiger – wenn die Drehzahl im Bezug auf die Leistung höher gewählt wird. Tatsächlich wird die Größe des Generators nicht durch die Leistung sondern in erster Näherung durch das Drehmoment bestimmt. Deshalb sollte für eine möglichst kosteneffektive Auslegung die höchstmögliche Drehgeschwindigkeit gewählt werden, die für eine Direktantriebsvariante im System ohne Getriebe möglich ist.

Ein Beispiel: nehmen wir eine Windturbine mit 6 kW Leistungsabgabe in einem Drehzahlbereich von 250 und 350 1/min. Aus dem ALXION Katalog kämen zwei Generatoren in Frage: der 300STK4M mit 6,6 kW bei 350 1/min und einem Gewicht von 31 kg oder der 400STK3M mit 6,6 kW bei 220 1/min mit einem Gewicht von 46 kg. Hier würde man den 300STK4M wählen, weil er kleiner, leichter und kostengünstiger ist als der 400STK3M.

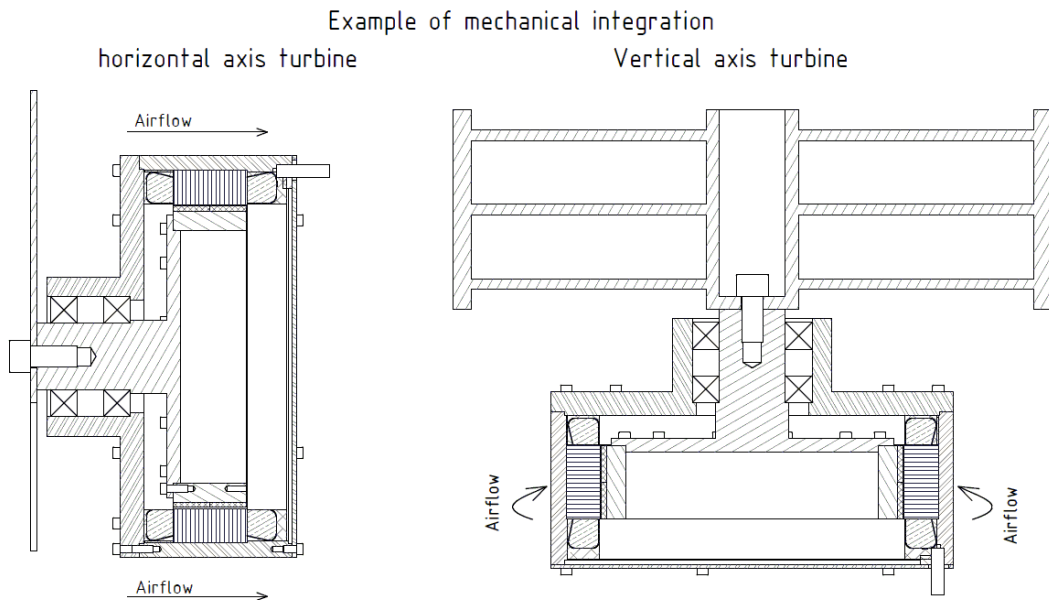


Im Wettbewerb zwischen horizontalen und vertikalen Windturbinen wird bei letzteren üblicherweise eine kleinere Drehgeschwindigkeit akzeptiert. Also wird in der horizontalen Anordnung der Generator bei gleicher Leistung teurer sein als bei der traditionellen vertikalen Anordnung der Windturbine. In urbanen Umgebungen für die Montage auf Hausdächern würde man wegen anderer Applikationsvorteile aber dennoch die vertikale Achsanordnung der Windturbine bevorzugen.

**Mechanische Integration von gehäuselosen Generatoren:** da die Kompaktheit und der hohe Wirkungsgrad der STK Generatoren die Möglichkeit für ein getriebeloses Design eröffnen, sollte man hier auch die Option nutzen und die mechanische Struktur optimieren, d.h. den Aufbau einfacher, zuverlässiger und letztlich kostengünstiger gestalten. Warum sollte man auch einen Generator mit eigener Lagerung, eigenen Flanschen, eigener Welle und allen Schnittstellenelementen zum Propellergehäuse und der Hauptwelle in Betracht ziehen, wenn ein Generatorbausatz aus Rotor und Stator einfach integriert werden kann und damit die Anzahl der Lagerstellen und der zusätzlichen Komponenten minimiert und mögliche Probleme mit überbestimmten Lagern und Ausrichtaufwand eliminiert werden können?

Dank der Verfügbarkeit von STK Generatorbausätzen aus Rotor und Stator ist es jetzt möglich, den Rotor über eine Flanschverbindung direkt an die Hauptachse zu koppeln. Wenn die Lagerung der Hauptwelle entsprechend präzise ausgeführt ist, kann sie auf der den Rotorblättern gegenüberliegenden Seite direkt den Rotor des Generators aufnehmen. Der Stator des

Generators kann direkt im Luftstrom liegen und wird in die Lagerbox der Windturbine verbaut. Eine einfache Deckelkonstruktion ohne besondere Genauigkeitsansprüche schließt das Gehäuse ab. Lediglich auf den korrekten Sitz und sicheren Halt des Generatorstators muss in der Konstruktion geachtet werden. Diese Konstruktion ermöglicht also eine einfachere Generatorintegration, indem die Anzahl der Bauteile und Schnittstellen reduziert wird.



#### IV. Baureihen und Modelle

Für die STK Windgeneratoren stehen sechs Baureihen mit jeweils mehreren Baulängen zur Verfügung. Der Außendurchmesser des Stators wird für die Namensgebung verwendet: 145STK, 190STK, 300STK, 400STK, 500STK, 800STK.

#### Baulänge und Anzahl der Magnetreihen

In jeder Baugröße gibt es bis zu 9 Baulängen; zur Kennzeichnung wird in der Artikelbezeichnung der Block XM an die oben genannten Baugrößenbezeichnungen angehängt, wobei X durch die die Ziffern 1 bis 9 ersetzt wird. Die Ziffer gibt gleichzeitig die Anzahl der Magnetreihen an, die in achsialer Richtung auf dem Rotor hintereinander aufgebracht sind (nicht zu verwechseln mit der Anzahl der Pole!!).

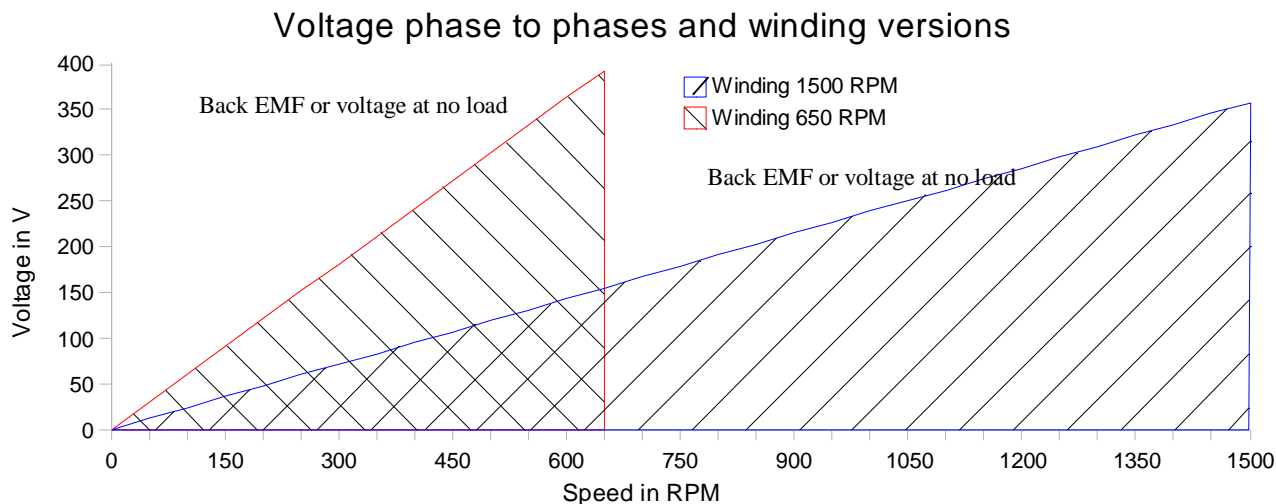
In den Baugrößen 145, 190, 300, 400, 800 sind im Katalog wegen der Übersichtlichkeit nur die Daten für die geraden Zahlen dargestellt (mit Ausnahme des 400STK3M, der sehr häufig verwendet wird); die Modelle mit einer ungeraden Anzahl Magnetreihen sind aber verfügbar und können entsprechend zwischen zwei Baugrößen in erster Näherung interpoliert werden. Auf Anfrage teilen wir Ihnen die konkreten Daten gerne mit! Die mechanischen Daten stehen in den Tabellen zur Verfügung.

#### Wicklungsoptionen

Für jedes Modell gibt es zwei Standardwicklungen für zwei unterschiedliche Drehzahlen. Die Wicklungen sind so ausgelegt, dass bei Nenn Drehzahl (und Nennleistung) die Spannung zwischen zwei Phasen 230Vac (133Vac Strangspannung) beträgt. Bei der Variante mit der höheren Drehzahl ist die Leistung höher, d.h. bei gleicher Spannung ist dementsprechend der

Strom höher.

Hier ein Beispiel anhand des 145STK4M mit den Wicklungsoptionen für 650 und 1.500 1/min. Bei der 650 1/min -Version liegt die Nennleistung bei 1.285 W und der Strom bei 3,2 A ; bei der 1.500 1/min -Variante wird die Nennleistung mit 3.250 W angegeben und es ergibt sich ein Nennstrom von 8,1 A.



## V. Verhältnis von Nennleistung, Eingangsdrehmoment und Drehzahl/Leistungskruven

Die Nennleistung eines Windgenerators wird definiert als die elektrische Leistung, die der Windgenerator dauerhaft bei Nenngeschwindigkeit (und Nenntemperatur) abgeben kann.

Die Betriebsbedingungen sind wie folgt definiert:

- die Last wird als rein ohm'sche Last mit Leistungsfaktor = 1 angenommen
- die Umgebungstemperatur ist +40°C
- die Kühlung entspricht einem Luftstrom von 10 m/s am Statorgehäuse

### Eingangsdrehmoment und Dimensionierung der Rotorblätter

Um die im Katalog angegebene Leistung erbringen zu können (wenn die Last das auch zulässt), muss das über die Rotorblätter an den Rotor des Generators übertragene Eingangsdrehmoment mindestens den im Datenblatt angegebenen Wert erreichen. Beispielsweise müsste für einen 400STK3M mit 6.618W bei 220rpm mindestens ein Drehmoment von 345Nm zur Verfügung stehen. Das ist die Vorgabe für den Konstrukteur der Rotorblätter.

### Leistungskurven in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit

Die im Katalog gezeigten Kurven geben die Nennleistung bei Powerfaktor = 1 in Abhängigkeit der Generatorgeschwindigkeit an, wenn am Rotor das entsprechende Drehmoment ansteht und der Generatorgehäuse mit einem Luftstrom von 10 m/s gekühlt wird. Die Spitzenleistungen können

entsprechend höher sein.

## VI. Rastmoment

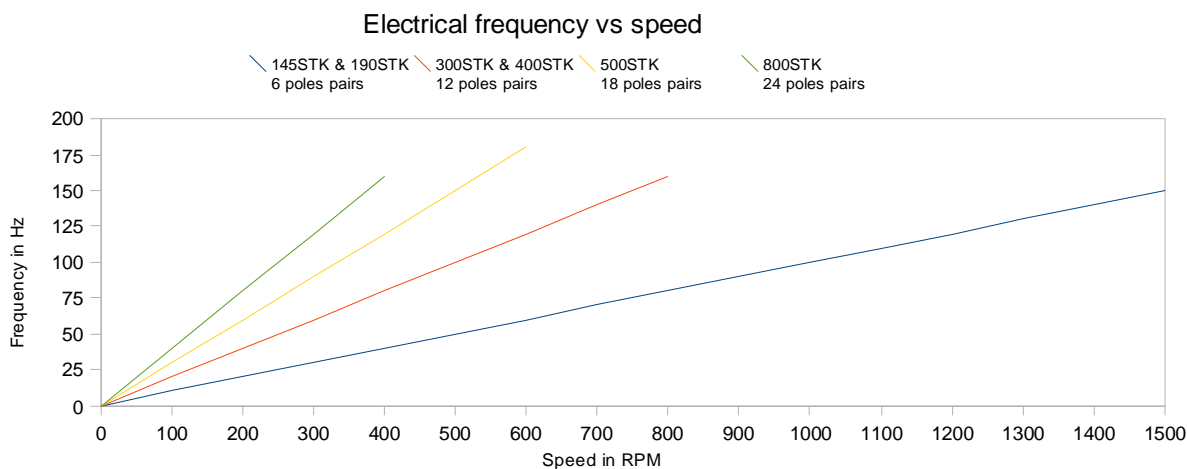
Aufgrund der Permanentmagnete im Rotor und der gegenüberliegenden Statorpole ergibt sich für die STK Generatoren ein Rastmoment, das man auch «Cogging» nennt. Das Rastmoment kann man auch als «magnetische Reibung» interpretieren. Die STK Generatoren haben ein vergleichsweise geringes Rastmoment von nur ca. 1% des Nennmoments, was für Generatoranwendung ein Vorteil ist weil bereits bei sehr wenig Windgeschwindigkeit der Generator sich drehen kann und damit Energie produziert.

## VII. Elektrische Frequenz und Anzahl der Pole

Die elektrische Frequenz wird ergibt sich aus der Gleichung  $f = p * N$ , wobei  $p$  die Anzahl der Polpaare und  $N$  die Anzahl der Umdrehungen pro Sekunde ist.

Die STK Generatoren haben folgende Polzahlen:

- 145STK: 12 Pole =>  $p = 6$
- 190STK: 12 Pole =>  $p = 6$
- 300STK: 24 Pole =>  $p = 12$
- 400STK: 24 Pole =>  $p = 12$



- 500STK: 36 Pole =>  $p = 18$
- 800STK: 48 Pole =>  $p = 24$

ACHTUNG :  $p$  ergibt sich aus der Polzahl / 2, d.h. mit einem 400STK3M Generator und einer Windturbine mit 70 bis 220rpm würde sich eine elektrische Frequenz von 14 bis 44Hz ergeben.

## VIII. STK Generator-Spannung

Die STK Generatoren sind 3-phasige Maschinen, deren Ausgangsspannung von der Geschwindigkeit, der Last (Strom) und der Temperatur abhängt.

Im Datenblatt werden für die STK Generatoren zwei charakteristische Spannungen angegeben:

- **Spannung bei Nennlast:** das ist die Spannung, die der Generator im Nennpunkt, also bei Nennleistung und Nenngeschwindigkeit, im betriebswarmen Zustand bei Leistungsfaktor =

1 abgibt. Wie bereits vorher erwähnt sind die Wicklungen im Datenblatt für 230Vac Phase-Phase ausgelegt (133Vac Strangspannung).

- **Elektromotorische Phasenspannung (back emf) bei 20°C:** das ist die Strangspannung ohne Belastung bei Nenngeschwindigkeit bei 20°C. Diese Spannung ist direkt proportional zur Geschwindigkeit.

**Die Back-emf-Spannung ist die höchste Spannung, die der Generator bei einer bestimmten Geschwindigkeit abgeben kann. Bei Belastung geht die tatsächliche Spannung immer nach unten.**

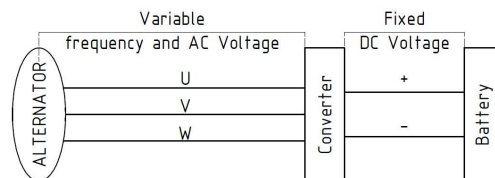
Wieder ein Beispiel mit dem 400STK3M mit der 220rpm Wicklung; die verkettete Spannung im Nennpunkt ist 230Vac (Phase-Phase); die Back-emf-Spannung ist 190,3Vac Strangspannung, woraus sich eine verkettete Spannung von  $190\text{Vac} \cdot \sqrt{3} = 330\text{Vac}$  ergibt. Wenn im oben betrachteten Beispiel der Anwender von 70 bis 220rpm Energie produzieren will, so wird sich eine verkettete Spannung von 105 bis 330Vac ergeben.

Angepasste Wicklungen können auf Wunsch gerne angeboten werden.

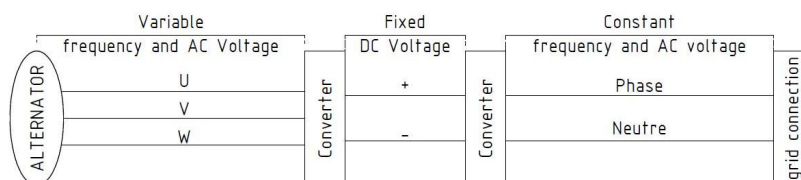
### IX. Applikationen für Batterieladung oder Netzbetrieb

Die vorher getroffenen Aussagen zeigen, dass die Frequenz von der Geschwindigkeit und die elektrische Spannung von der Geschwindigkeit, der Last und der Temperatur abhängen.

Für die Ladung einer Batterie ist deshalb ein Converter erforderlich, der die variable AC-Spannung in eine konstante DC-Spannung umwandelt. Einige unserer Kunden verwenden hier die Geräte von MAGNETEK, siehe [www.magnetek.com](http://www.magnetek.com).



Für den Anschluss an das öffentliche Versorgungsnetz ist der Converter noch etwas aufwändiger, da er die variable AC-Spannung erst in eine konstante DC-Spannung und dann wieder in die passende Netzspannung mit konstanter Netzfrequenz verwandeln muss. Einige unserer Kunden verwenden hier die Geräte von MAGNETEK, siehe [www.magnetek.com](http://www.magnetek.com), SMA, siehe [www.sma.de](http://www.sma.de), oder ABB (ACS 800).

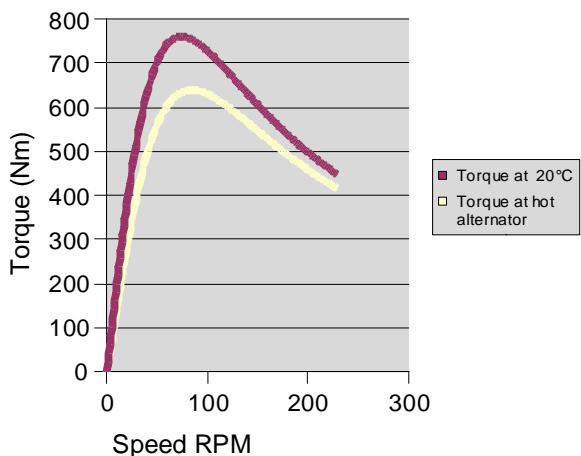


### X. Bremsen durch Kurzschließen der Phasen

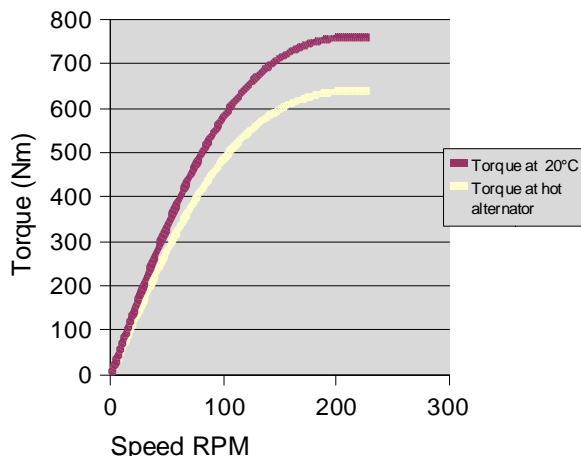
Es ist möglich, durch einen Kurzschluss zwischen den Phasen ein Bremsmoment zu generieren. ACHTUNG: der Kurzschluss sollte nur im Ausnahmefall und dann auch nur kurzzeitig angewendet werden. Das Bremsmoment hängt von der Lastimpedanz ab: unbelastet oder über Widerstände. Jedoch die Grundvoraussetzung für ein Bremsmoment ist eine Drehzahl ungleich null; im Stillstand ist das Bremsmoment «null». Deshalb kann eine Phasen-Kurzschluss-Strategie in

keinem Fall die mechanische Bremse ersetzen!

Short-circuit torque 500STK2M 150 RPM  
R cc = 0 Ohm



Short-circuit torque 500STK2M 150 RPM  
R cc = 0,25 Ohm



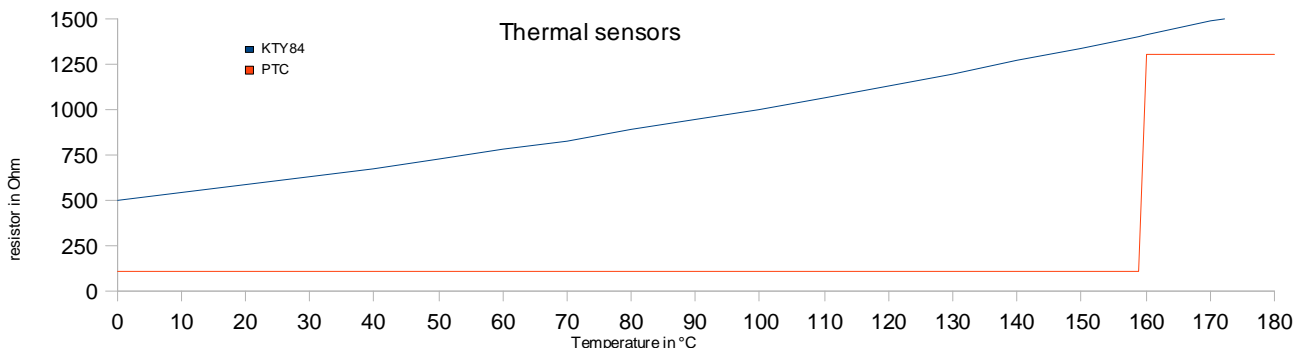
### XI. Thermische Sensoren als Schutz

Die gehäuselosen STK Generatoren sind standardmäßig mit zwei Sensortypen für die Überwachung der Wicklungstemperatur ausgestattet:

- lineare Temperaturerfassung mit einem temperaturabhängigen Widerstand (KTY-84 Sensor: 575Ω bei 20°C; 1000Ω bei 100°C)
- Thermoschutz mit einem Schalter (PTC Widerstand: ohm'scher Widerstand <100Ω für akzeptable Temperaturen; ohm'scher Widerstand >1.300Ω ab 160°C (max. zulässige Wicklungstemperatur)).

Der Thermoschutz wird an ein externes Kabel mit 2 Paaren von Drähten mit 0,25mm<sup>2</sup> angeschlossen:

- KTY-84: grün/gelb
- PTC: braun/weiß



## ***XII. Referenzkunden für ALXION STK Generatoren***

EOLTEC France [www.eoltec.com](http://www.eoltec.com)

NHEOLIS France [www.nheoliswindturbine.com](http://www.nheoliswindturbine.com)

FAIRWIND France/Belgium [www.fairwind.be](http://www.fairwind.be)

OCEAN NAVITAS UK (subsea energy) [www.oceannavitas.com](http://www.oceannavitas.com)

REWIND Energy Italy [www.rewindenergy.com](http://www.rewindenergy.com)

SGC ENERGY Portugal [www.sgc.pt](http://www.sgc.pt)

FINNWIND Finland [www.finnwind.fi](http://www.finnwind.fi)

MORPHIC Sweden [www.morphic.se](http://www.morphic.se)

FLEXENCLOSURE Sweden [www.flexenclosure.com](http://www.flexenclosure.com)

VAC DEVELOPMENTS Canada

WIND SIMPLICITY Canada [www.windsimplicity.ca](http://www.windsimplicity.ca)

PACIDPACIFIC ANCIENT ENERGY Pakistan