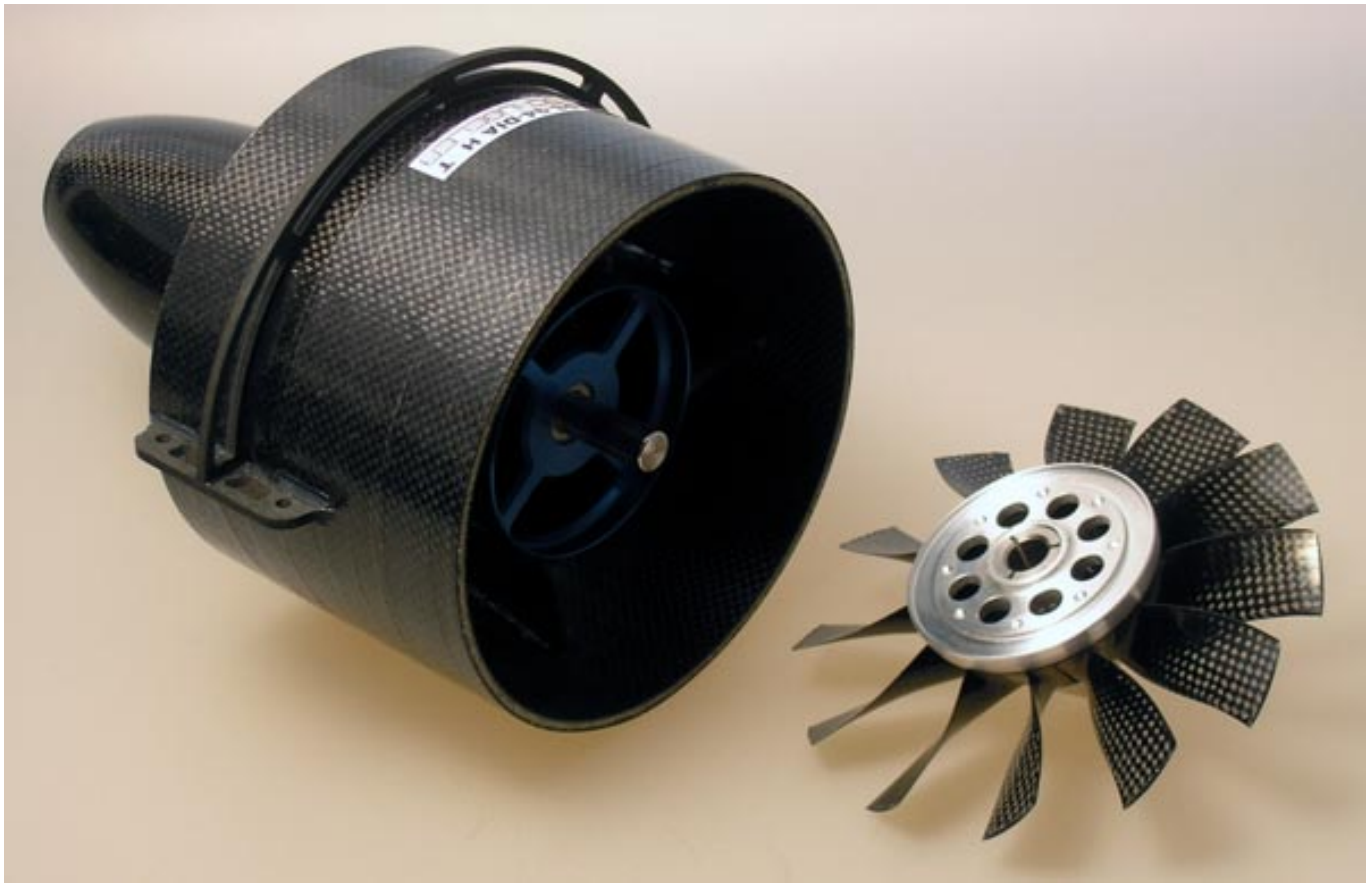
Schübeler HST-Impeller - Evolution des Elektroimpellerantriebs

Autor: Peter Kaminski
Fotos und Abbildungen: Peter Kaminski und Schübeler Composite

Mit dem neuen Schübeler HST-Impeller, der im Sommer 2009 vorgestellt wurde, werden neue Wege im Antrieb von Elektroimpeller-Jets beschritten. Wir möchten uns in diesem Beitrag mit den technischen Details und Hintergründe des Antriebskonzepts beschäftigen, das den Elektroimpeller-Jetflug revolutionieren dürfte.

Konzept

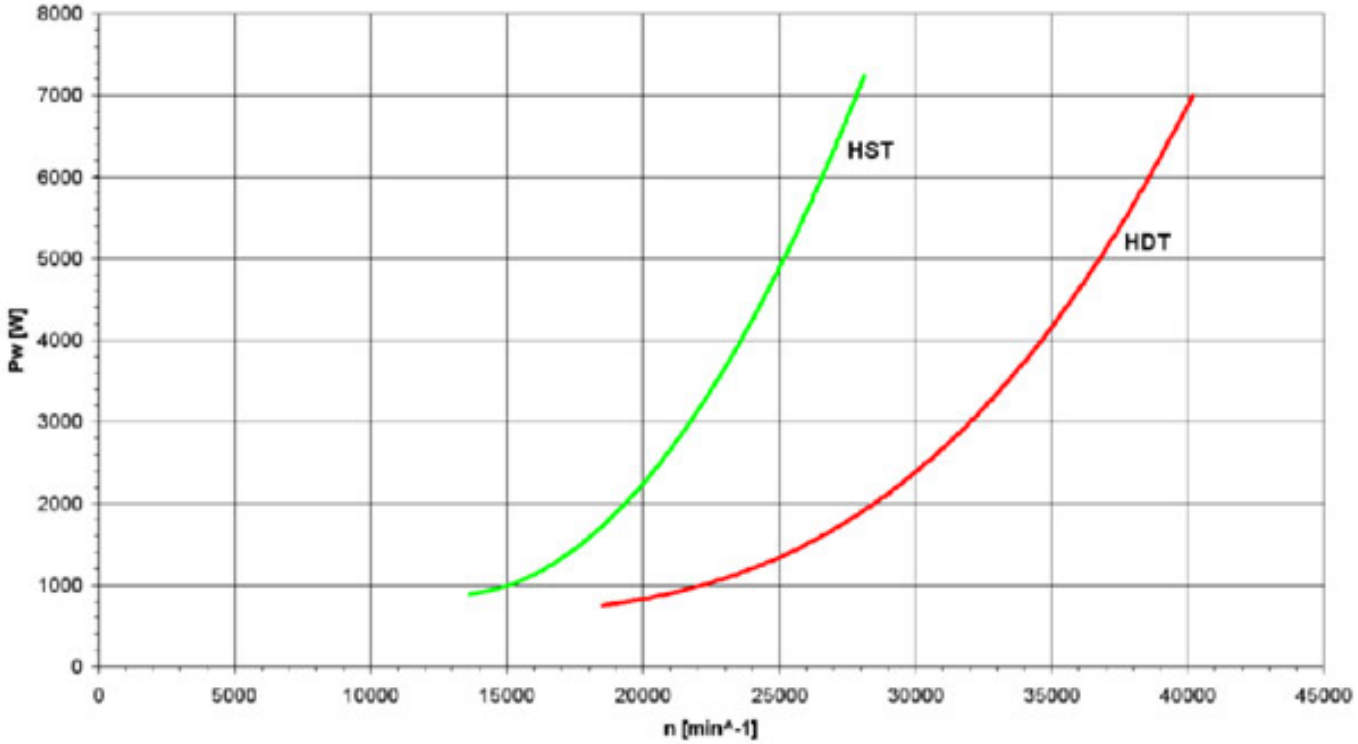
Bei dem HST-Impeller handelt es sich um ein Antriebskonzept, bei dem Motor und Impeller als eine abgestimmte Antriebseinheit entwickelt wurden. Einer der auffallensten Merkmale ist die hohe Schaufelanzahl, die für eine große Umlenkung sorgt. Damit wird eine Optimierung auf den Betrieb im Steig- und Horizontalflug erreicht. Zusammen mit dem Schub der mit dem HST zur Verfügung steht, lassen sich nun auch Turbinen-Jet-Modelle mit EDF-Antrieben ausstatten.



Ein weiteres technisches Merkmal der HST-Serie ist die deutlich geringere Drehzahl

Phoca PDF

gegenüber der HDT-Serie. Im Digramm (s. unten) wird die Drehzahl und die Leistung des DS-94-DIA HST mit den DS-94-DIA HDT verglichen. Während 5 kW Leistung beim HST schon bei 25.000 U/min erreicht werden sind es beim HDT ca. 37.000 U/min, also ca. ein Drittel weniger Drehzahl, um den gleichen Schub zu erzielen. Der neue HST bietet einen enormen inneren Wirkungsgrad. Bei 26.500 U/m wird eine Strahlgeschwindigkeit von 95 m/s und ein Schub von 10 kp erreicht.



Die Auslegung der hocheffizienten Zwölfblatt-Axialstufe basiert auf geometrischen Geschwindigkeitsdreiecken, die in vergleichbarer Form im großen Flugzeugturbinenbau vorzufinden sind. Das Ergebnis ist neben dem hohen Wirkungsgrad sowohl eine perfekte Scale-Optik als auch eine Geräuschkulisse, welche nur einen Vergleich mit großen Turbinenluftstrahltriebwerken zulässt. Das leise Flüstern und Pfeifen des Laufrades bei Gasstößen im Landeanflug wird in schnelleren Vollgaspassagen von der äußerst imposanten Geräuschkulisse des schnellen Strahls übertönt. Also auch akustisch mehr Jet-like als mit den konventionellen Impeller-Antriebssystemen.

Technische Daten

Parameter	DS-77-DIA HST	DS-94-DIA HST
Mantelinnendurchmesser:	120 mm	128 mm
Geometr. Durchsatzfläche:	77 cm²	94 cm²
Gesamtgewicht: *)	1.360 g	1.380 g
Standschubbereich:	80 - 92 N	86 - 98 N
Strahlgeschwindigkeit:	93 - 100 m/s	88 - 95 m/s
Drehzahlbereich:	25.650 - 27.600 U/min	24.800 - 26.800 U/min

Phoca PDF

zulässiger LiPo-Akku:	13 - 14 S 6100 HDHE 13 - 14 S 7600 HDHE (max. 8 Ah)	13 - 14 S 6100 HDHE 13 - 14 S 7600 HDHE (max. 8 Ah)
Gesamtwirkungsgrad:	67 %	67 %

*) inkl. Verkabelung, Stecker und Secure Fan Fix (DSM 6740)

Interview

Bei einem Besuch vor Ort haben wir uns mit Daniel Schübeler im Detail über das Konzept und die Hintergründe des neuen HST-Impeller unterhalten - also Informationen aus erster Hand.

EDF-Jets.de: Der neue HST-Impeller ist speziell für den Einsatz in eigentlich für Turbinen vorgesehenen Modellen entwickelt worden?

Daniel Schübeler: Das war ein Hauptpunkt bei der Entwicklung. Wir wollten einen Antrieb bauen, der sehr hohe Leistungen bei sehr wenig Durchsatzfläche verarbeitet. Dazu brauch man zwangsweise viele Schaufeln. Parallel dazu haben wir für alle Impeller neue Einlauflippen entwickelt, um den offenen Einbau zu ermöglichen. Damit kann man sehr viele Modelle vernünftig auf Impeller umrüsten.

Phoca PDF

Die Turbinenflieger machen es vor. Die Turbine sitzt eigentlich immer offen im Rumpf. Wenn es einen geschlossenen Duct gibt, dann fließt immer noch Luft an der Turbine vorbei. Es gibt nie den Duct wo die Luft zwangsgeführt bis vorne an den Saugmund gebracht wird und sich unter Umständen ungünstige Verhältnisse mit Aufstau- oder Unterdruck einstellen. Beim Impeller hat der offenen Duct den Vorteil, dass bei einem Impeller mit vielen Schaufen in einem schnellen Modell, im Speed-Flug auch Luft am Impeller vorbeifließt. Ich muss dies nur konstruktiv berücksichtigen. Man muss also zwischen Düsen und Rumpf ein Spalt lassen. Das ist beim geschlossenen Duct nicht der Fall. Dort habe ich unter Umständen einen Aufstau vor den Laufrad. Es ergeben sich viele Vorteile. Wenn die Einlaufgröße passt, kann man natürlich auch nach wie vor einen geschlossenen Duct vorsehen.

EDF-Jets.de: Und wie sieht es denn mit der Leistung aus. Oft hört man ja dass ein deutlicher Leistungsverlust in der offenen Bauweise gegenüber der geschlossenen gegeben sei?

Daniel Schübeler: Man muss hier die verschiedenen Betriebszustände betrachten. Im Stand habe ich mit der offenen Bausweise sehr häufig mehr Schub, weil ich mir mehr zusätzliche Luft holen kann. Nur in dem ich Luft durchsetze und beschleunige erzeuge ich Schub. Der größere Standschub ist natürlich besonders beim Start auf Rasen ein wichtiger Faktor.Wenn ich einen Jet wie eine Mirage fliege und 3D-Kunstflug machen möchte, dann benötige ich den Standschub. Wenn ein Hochgeschwindigkeitsmodell aufgebaut werden soll und der Duct unterbrochen ist, und Einbauten im Rumpf hineinragen, dann gibt es im Luftführungssystem mehr Widerstand und der Impeller wir nicht ganz so glatt angeströmt, was sich nachteilig auswirkt. Ich verwende bewusst nicht das Wort laminar denn laminar ist da im Einlauf nichts. Es kann sein, dass eine richtige Wirbelschleppe in dem Impeller läuft und dadurch der innere Wirkungsgrad des Antriebssystems im Speed oder Horizontalflug reduziert wird. Beim Stand oder im Steigflug ist das nicht der Fall.

EDF-Jets.de: Wie wurde denn die optimale Anzahl der Blätter ermittelt?

Daniel Schübeler: Wir haben da sehr viele Versuche gemacht. Die erste Variante war zunächst ein Neunblatt-Impeller und zwar deshalb weil dies eine Variante war, die noch aus einem Werkzeug zu fertigen war – also einteilig. Das haben wir aber verworfen, da damit bei niedriger Drehzahl nicht die hohe Leistung in den Strahl gebracht werden konnte. Die Umlenkung, die wir mit den neun Blättern erzielten, reichte aber nicht aus. Die Anzahl wurde auf zwölf und 14 Blätter erhöht und verglichen. Nun stellte sich das gewünschtes Verhältnis aus Umfangsgeschwindigkeit und Strahlgeschwindigkeit ein. Beim 14-Blatt-Impeller stellten wir aber eine signifikante Absenkung des inneren Wirkungsgrades fest. Das lässt sich durch eine beschleunigte Strömung zwischen den Schaufeln erklären. Der Platz zwischen den Schaufeln wird ja mit zunehmender Blattanzahl geringer, bei gleichzeitiger Erhöhung der Oberfläche. Das Laufrad erzeugte beim 14-Blatt-Impeller zu viel Reibung und wir haben uns daher entschlossen, den DS-94-DIA HST mit 12 Blättern zu bauen.

Phoca PDF

EDF-Jets.de: Der Außendurchmesser dieses großen HST ist auf 128 Millimeter angewachsen.

Daniel Schübeler: Bei der Entwicklung war eine Vorgabe die Durchsatzfläche von 94 cm² - also ein DS-94 . Eine Vergrößerung auf 128 mm ergibt sich weil der Kern gewachsen ist. Es musste ein Motor eingesetzt werden, der ein hohes Drehmoment bietet. Weiter haben wir noch den kleineren DS-77 DIA HST mit 120 mm Durchmesser - auch mit 12-Blättern. Es ist der gleiche Kern nur entsprechend auf den kleineren Durchmesser abgedreht. Der Motor der dort eingesetzt wird ist etwa zehn Prozent hochtouriger, aber wir haben das gleiche Verhältnis aus Drehzahl zu Strahlgeschwindigkeit. Im Prinzip setzt der Antrieb auch die gleiche Leistung durch und erzeugt eine noch größere Strahlgeschwindigkeit von über 100 Meter pro Sekunde und der Schub reduziert sich von 98 auf 92 Newton.

EDF-Jets.de: Wird es denn auch noch kleinere HST-Impeller geben und werden die größeren HDT-Impeller aus dem Programm genommen?

Daniel Schübeler: Die HST-Technologie wird auf keinen Fall die HDT-Technologie ersetzen. Die High Dynamic Thrust Impeller sind für hohe Geschwindigkeiten ausgelegt und dafür auch optimal. Wenn ich ein kleines Modell mit günstigen Kanälen habe, so wie das bei den spezialisierten Impellermodellen der Fall ist, dann ist der HDT von den Flugleistungen unschlagbar. High Static Thrust nennen wir die neue Serie deshalb, weil der innere Wirkungsgrad des Impellers im Steigflug – also eher statischen Flugphasen – schon fast das Maximum erreicht. Bei der HST-Technologie haben wir aber trotzdem die höheren Strahlgeschwindigkeiten. Der HST-Impeller kann so ein bisschen von Allem. Es kann auch sein, dass diese Technik in Zukunft auch in kleinere Baugrößen adaptiert wird. Es gibt dafür aber lediglich Entwicklungsansätze aber keine Produkte die in Kürze verfügbar sein werden.

Phoca PDF

EDF-Jets.de: Ihr bietet ja erstmalig auch einen kompletten Antrieb mit eigenem Motorkonzept an.

Daniel Schübeler: Impeller und Motor sind beim HST untrennbar. Das Motorkonzept ist weder ein klassischer Vierpoler mit Stäbchenmagenten oder ein Zweipoler mit Vollmagnet und Luftspule. Wir haben einen zweipoligen Motor mit einem hochtemperaturfesten Ringmagnet und geblechtem Magnetträger zur Reduzierung der Wirbelströme entwickelt. Der Magnet besteht aus einer Samarium-Cobald-Legierung und ist temperaturfest bis über 300 Grad. Der Motor wird mit einer unidirektionalen Fliehkraftbandage aus Carbon gestützt, gebunden mit einem Epoxidharz, welches bis 180 Grad wärmefest ist. Der Wicklungslack ist sogar bis 200 Grad temperaturfest. Wir haben die Wicklung in zwölf Nuten liegen – also keine Luftwicklung - damit die Wicklung richtig gestützt ist und das auch bei höchsten Temperaturen. Durch den hohen Füllgrad von Kupferkabel lassen sich noch die letzten Prozent des Wirkungsgrads herausholen. Die sind besonders wichtig denn bei sieben Kilowatt Leistung sind drei Prozent mehr Wirkunggrad über 200 Watt

Phoca PDF

weniger an Verlustleistung, die nicht als Wärme abgeführt werden muss. Auch bei dem Motorgehäuse gibt es ein paar bemerkenswerte Eigenschaften. Die Lagersitze sind sehr exakt. Es lässt sich keinerlei Radialspiel bei dem Motor feststellen. Das Axialspiel was nötig ist, wird über eine Wellenscheibe aufgefangen. Ein Lager ist also festgesetzt mit einem Ring und das hintere Lager schwimmt. Das Axialspiel wird leicht vorgespannt aufgefangen, was zu einem extrem ruhigen Lauf bei geringen Drehzahlen führt. Der Motor selbst hat sicherlich die Hälfte der Entwicklungszeit ausgemacht. Entwickelt wurde der Motor hier bei uns in Kooperation mit einem renommierten, deutschen Motorhersteller. Die Komponenten werden dort auch gefertigt und dann bei uns im Hause endmontiert.

EDF-Jets.de: Wird es denn mehrere Motorgrößen geben?

Daniel Schübeler: Neben dem Motor mit 40er-Länge werden wir den Antrieb auch mit einem 30er – also einem kürzeren Motor – anbieten. Das macht auf jeden Fall Sinn. Während der große Motor so zwischen 7 bis 7,5 Kilowatt macht wird der Motor in der kurzen Variante so bei 5 bis 6 Kilowatt liegen. Im Frühjahr 2010 wird die kurze Variante dann verfügbar sein. Damit macht die HST-Technologie wieder mehr einen Schritt in Richtung klassischer Impellermodelle, wie zum Beispiel für die Schreiner F-18.

EDF-Jets.de: Mit der HST-Technik ist man den Gasturbinen nicht nur einen Schritt näher gekommen sondern es ergeben sich ja auch Vorteile.

Daniel Schübeler: Durch die neue HST-Impellertechnik machen wir den Elektroimpeller so salonfähig, dass der Kunde der sich bisher nur eine Turbine vorstellen konnte, sich plötzlich beides Vorstellen kann und den Impeller nicht nur als Alternative sondern als vollwertigen Antrieb sieht.

Mit dem DS-94 DIA HST liegen wir in einer Gewichtskategorie einer Turbine mit ca. 80 Newton Schub, aber wir benötigen kein Edelstahlschubrohr, kein Tanksystem, keine Pumpe und keine ECU und daher sind wir deutlich im Gewichtsvorteil. Der Akku macht beim Elektroimpeller-Modell noch einen wesentlichen Teil des Gewichts des Antriebssystems aus. Die Turbine lebt von dem Vorteil der Energiedichte des Kerosins. Ein Kilogramm Kerosin entspricht ungefähr der Energie von ca. 70 Kilogramm LiPo-Batterien. Wir setzen Impeller mit einem Gesamtwirkungsgrad von knapp 70 Prozent ein. Die Turbine hat aber lediglich einen Wirkungsgrad von fünf Prozent. Der Impeller hat bei gleichem Systemgewicht einen ähnlichen Schub wie der einer Turbine. Man muss aber Bedenken, dass bei der Turbine der Schub bei einer Strahlgeschwindigkeit von 300 Meter pro Sekunde erzeugt. D. h. die Kurve wie der Schub abnimmt verläuft deutlich flacher. Bei 500 km/h ist bei der Turbine immer noch der halbe Schubimpuls bei der Turbine vorhanden, während bei einem Impeller bei 400 km/h der Schubimpuls gleich Null ist. Dafür habe ich beim Impeller einen höheren Standschub durch die größere Durchsatzfläche. Betriebskosten und Aufwand sind beim Einsatz einer Turbine natürlich auch deutlich höher. Kostenfaktor sind halt die Akkus, die nach eineinhalb bis zwei Jahren auszutauschen sind. Anzumerken ist auch noch, dass wir mit der HST Impeller-Technologie ein

Phoca PDF

Antriebssystem haben, welches nach besseren Akkus verlangt. Vor zwei Jahren war dies noch anders herum. Da mussten die Antriebssysteme so ausgelegt werden dass der Motor nicht zerstört wurde.

www.schuebeler-jets.de

Phoca PDF