



ELEKTROFLIEGEN IST IN ...

MIT PLUG-&-PLAY-E-ANTRIEBSSETS ZUM FLÜSTERLEISEN FLUGTRAUM!

Der Elektroflug verzeichnet Zuwachsraten zwischen 30 und 40 % pro Jahr, leider vorrangig bei UL- und dreiachsgesteuerten Segel- bzw. Motorflugzeugen. Bei Paramotoren und Trikes boomt der E-Markt noch lange nicht, das große Hemmnis: Der hohe Preis. PARAMOTOR zeigt auf, wie man den Einstieg in den leisen Flug günstig gestalten kann ...

Text: Franz Sailer

Fotos: Geiger Engineering, Franz Sailer

Tatsächlich ist die Elektromobilität weltweit auf dem Vormarsch. Ob E-Bikes, E-Scooter und E-Autos, der Boom scheint nicht aufzuhalten. Marktbeobachter sprechen von einer „veränderten, umweltbewussten Mobilität“. Auch der Elektroflug verzeichnet hohe Zuwachsraten, wenngleich vorwiegend partiell. Dort wo es Sinn macht, rüsten viele UL-Piloten, Segelflieger aber auch waschechte Motorflieger ihre Fluggeräte auf eine leise „E-Version“ um. Zum Beispiel, wenn der Verbrennungsmotor ohnedies bereits altersschwach ist und ein neuer Motor fällig wäre. Bislang wurde die Paramotor- und Trikeszene vom „E-Virus“ aber noch nicht richtig infiziert. Doch wer glaubt, der Elektroflug sei bei Paramotoren oder Trikes gescheitert, ist nicht am Laufenden.

So konnte das PARAMOTOR-Testteam in den letzten Jahren mehrere am Markt erschienene E-Systeme testen. Unter anderem eine leichte Elektro-Aufstiegshilfe mit Beinsack, einen konventionellen E-Paramotor mit langer Flugzeit und zuletzt ein E-Einsitzer-Trike. Zugegeben, den „Durchbruch“ schafften E-Systeme in unserem Segment bislang nicht. Als die zwei Hauptkritikpunkte gelten die relativ geringe Flugzeit sowie der hohe Anschaffungspreis. Allerdings muss man diese beiden Aspekte ständig im Zuge der rasanten technologischen Entwicklungen und Verbesserungen beurteilen. Aus aktuellem Blickwinkel betrachtet, hat sich vor allem das Thema „Flugzeit“ inzwischen erfreulich entwickelt ...

Kritikpunkt „geringe Flugzeit“

Die durch die schweren Akkus „gewichtsbedingt“ eingeschränkte Flugzeit im Vergleich zu Verbrennungsmotoren gilt vorderhand nur für fußstartfähige Rückenmotoren. Bei E-Trikes oder -Paramotoren mit Rollhilfen ist das Gewicht bei Weitem nicht so limitiert wie bei fußstartfähigen Rückenmotoren. De facto kann heute ein Einsitzer-E-Trike mit mehreren Akkupacks mittlerweile Flugzeiten von 1,5 bis maximal 3 Stunden erreichen. Der Haken dabei: Bei mehreren Akkupacks wird die Sache teuer!

Bei E-Paramotoren liefert die aktuelle E-Technik folgende Momentaufnahme: Mit einem modernen System in Titan-Leichtbauweise, Einringkäfig und einem 30-Amperestunden-Akku (Paramotor-Systemgewicht etwa 23–25 kg) sind mit einem leistungsstarken Motorschirm oder einem zugelassenen, modernen Bergschirm (beide innerhalb der Freiflug-Gewichtsränge beladen) bei einem 70–80-kg-Piloten Flugzeiten von ca. 25–30 Minuten realisierbar. Mit einem 60-Amperestunden-Akku (Paramotor-Systemgewicht ca. 30–32 kg) fliegt man schon 50–60 Minuten, und das flüsterleise und völlig emissionsfrei.



Einsitzertrike mit dem Geiger Antriebsset mit zwei Akkupacks



Geiger Engineering Entwicklungszentrum nahe Bamberg

Kritikpunkt „ teurer Anschaffungspreis“

Bis jetzt hat vor allem der höhere Anschaffungspreis von E-Systemen viele Piloten abgeschreckt. Fixfertige E-Paramotor-Systeme kosten mit allem Drum und Dran derzeit ab 10.000 Euro. Klar, da wird die Käuferschicht schon dünn. Bei E-Trikes existieren bis dato überhaupt keine Anbieter am Markt. Die wenigen E-Trikes wurden im DIY-Umbau – also in Eigenregie – gefertigt.

Wir haben zuletzt das E-Trike Phazer One in der PARAMOTOR-Ausgabe 1/2019 vorgestellt. Der Elektroflugspezialist Thomas Brandstetter hat das Verbrenner-Trike von Gunnar Barthel erfolgreich elektrifiziert und damit Motorflugzeiten von mittlerweile 1,5 Stunden erreicht. Die Lösung sowohl aus der „Kostenfalle“ als auch aus dem begrenzten Angebot an Herstellern zu entrinnen, kann tatsächlich der Elektro-Eigenbau oder auch die Umrüstung eines bestehenden Paramotorsystems oder Trikes mit ausgedientem Verbrennungsmotor zu einem E-System sein. So spart man sich die Anschaffungskosten des „Grundgerüsts“, indem man das Teil nachträglich elektrifiziert. Wie das geht? Mit sogenannten Plug-&-Play-E-Antriebssets ...

Der einfache ElektroEinstieg mit Plug-&-Play-E-Antriebssets

Seit vielen Jahren offeriert die Firma Geiger Engineering aus Deutschland ein Elektro-Antrieb-Komplettsystem. Ebenfalls bietet die süddeutsche Firma Hacker Motoren verschiedene Elektro-Antriebsstränge für Paramotoren, E-Trikes bzw. UL-Flugzeuge. Beide Hersteller haben zahlreiche Motoren und Akkuvarianten im Programm. Mit einem DIY-Umbau eines bestehenden Systems oder auch einem kompletten Eigenaufbau liegt im Vergleich zu einem fixfertigen gebauten System aus dem Laden der

Einstiegspreis deutlich niedriger und ist zudem variabel gestaltbar. Noch dazu kann sich der angehende E-Pilot sein E-System nach seinen individuellen Vorzügen konfigurieren, Motorleistung, Schub, Flugzeit, Gewicht, Ausstattung etc. sind frei wählbar. Geiger Engineering stellen mit ihren zertifizierten E-Antriebssystemen eine enorme Variantenvielfalt zur Verfügung ...

Zu Besuch bei Geiger Engineering

Joachim Geiger gilt als DER Experte in Sachen Elektroflug, jeder „elektrifizierte“ Pilot in der Flugszene kennt ihn. PARAMOTOR besuchte den Elektroflug-Pionier in seinem „Experimentallabor“ im fränkischen Hirschaid nahe Bamberg. Der gelernte Elektrotechniker leitet dort ein Ingenieurbüro, seine Elektronikfirma „Geiger Engineering“ entwickelt in erster Linie Elektronikkomponenten und Software für Maschinensteuerungen. Der passionierte Drachenflieger hat aus Liebe zur Fliegerei vor ca. 14 Jahren dem Unternehmen quasi ein zweites Standbein verpasst – den Avionikbereich. Das Unternehmen stattet mit seinen E-Antrieben vor

allem Ultraleichtflugzeuge, Segelflugzeuge und dreiachsigesteuerte Motorflugzeuge aus, aber genauso auch Helikopter, Gyrokopter, Ballone und viele mehr ...

PARAMOTOR hat mit Joachim Geiger über die Entwicklung des Elektro-Fluges geplaudert und sich ein Bild über die Technologie gemacht ...

Ein effizientes Komplettsystem – alles aus einer Hand

Der Unterschied zu herkömmlichen E-Antrieben, so Joachim Geiger sei folgender: „Elektro-Antriebssysteme sind zumeist aus verschiedenen Komponenten zusammengestellt und daher nicht immer effizient. Die relativ neue Materie in Verbindung mit einem Know-how-Mangel und der Anforderung eines hohen Effizienzbedarfs lässt sich mit zusammengestellten Komponenten nicht zufriedenstellend und sicher lösen. Aus diesem Grund haben wir ein Komplettsystem entwickelt, das zum einen per Plug & Play installierbar, zertifiziert und hocheffizient ist und zugleich die



Der Geiger Antriebsstrang mit seinen Komponenten

Möglichkeit bietet, durch Parametrierung, Skalierung und optionale Komponenten weitere Funktionsmerkmale hinzuzufügen.“ Der fränkische Unternehmer offeriert damit den Kunden ein Komplettsystem nach dem Motto: Alles aus einer Hand.

14 Jahre unermüdliche Entwicklungsarbeit

Gemeinsam mit dem Motorenentwickler Dr. Werner Eck startete Joachim Geiger bereits 2006 mit einem leichtem Gleitschirmantrieb. 2008 wurde auf der Free Flight Messe in Garmisch der erste Antrieb, der HPD10, vorgestellt – wobei HPD für High Power Direct steht. Erklärtes Ziel war von Anfang

an, Elektrofliegen mit einem Komplettsatz zu einem leisen, umweltfreundlichen Sport zu machen. Inzwischen wurde das Motorenprogramm massiv erweitert. Das Entwicklungszentrum in Hirschaid platzt aus allen Nähten ... es hier laufen alle Motoren am Prüfstand ... es wird laufend getüftelt, getestet und weiterentwickelt. Gebaut werden ebenso Motor- und Batteriemanagementsysteme sowie Hochleistungsakkus.

Umfangreiche Motorenpalette – zahlreiche Einsatzgebiete

Geiger Engineering ist Marktführer im Bereich leichter und starker Elektromotoren zwischen

12 und 50 kW. Es handelt sich um Direktantriebe, um das zusätzliche Gewicht und die Leistungsverluste eines Getriebes zu vermeiden. Die Kombination aus geringem Gewicht pro Leistung bei sehr hohem Drehmoment und niedriger Drehzahl dürfte einmalig auf dem Markt sein. Die E-Motoren sind luftgekühlt mit perfekter Wärmeableitung. So ist der Motor in der Lage, bei ausreichender Frischluftzufuhr den benötigten Kühlluftstrom durch die integrierte Zwangskühlung selbst zu saugen. Die HPD-12- bzw. -16-Motoren mit bis zu 16 kW Dauerleistung sind auch heute noch die meistgebauten Motoren der HPD-Serie. Die kleineren Motoren wie der HPD12 werden vorzugsweise im Paramotorensegment eingesetzt, wo sie z. B. die Schweizer Firma Skyjam verbaut.

Einen fußstartfähigen Elektro-Delta entwickelte Toni Roth in enger Zusammenarbeit mit Geiger Engineering – den E-Lift. Ebenso verwendet der Drachenflugweltmeister Manfred Ruhmer im Nurflügler Swift E den HPD12, und zwar ebenfalls mit Klappflugschraube. Im Drachen-/Trike-Segment ist wohl der Silent Glider mit dem Starrflügler Atos von AIR am bekanntesten, der mit dem Elektromotor von Geiger bestückt ist. Und die Liste der Anwendungen ist mittlerweile groß: Flycocoön, Nano Trike, Pit-Trike von Icaro, Razmott oversize, Scott-E, Silent X, Swift-Elektro, STFrestyle, EL-DELTA und viele mehr ...

Neueste Technologie von Geiger sind die Duplex-Motoren. Zwei mechanisch und elektrisch völlig getrennte Einzelmotoren arbeiten ohne jedes Getriebe auf einer Propellerwelle. Durch Freiläufe, getrennte Motorcontroller und Antriebsakkus sind die beiden Scheiben dieser Doppelmotoren mechanisch und elektrisch vollständig voneinander entkoppelt. Dadurch ergibt sich eine hohe Sicherheit, da bei Ausfall eines Systems der Reiseflug ganz normal fortgesetzt werden kann. Außerdem erreichen die Duplex-Motoren im Reiseflug einen besseren Wirkungsgrad als ein stark gedrosselter doppelt so starker Einzelmotor. Diese ausfallsicheren Duplex-Antriebe sind daher für schwere Zweisitzertrikes bestens geeignet, sie sind zudem leicht und können kompakt und platzsparend eingebaut werden.

Leistungsstarker Motorcontroller

Der MC300 – ein Vier-Quadranten-Motorcontroller – ist auf die Motoren abgestimmt und zählt zur neuesten Generation von Motorcontrollern, die einen bisher am Markt nicht verfügbaren Funktionsumfang speziell für den bemannten Elektroflug bieten. Vor jedem Start erfolgt eine automatische Selbsttestfunktion von Akku, Wechselrichter und Motor. Ein versehentliches Anlaufen des Antriebes wird durch die Reglerfreigabe, die erst aktiviert werden



Firmenboss Joachim Geiger am Prüfstand

kann, wenn der Gashebel auf Minimum-Ausschlag steht, verhindert. Die Aktivierung wird dem Piloten durch ein intermittierendes Akustiksignal angezeigt. Eine geregelte Lüfter-Steuerung übernimmt die effektive Kühlung der Endstufe. Der Motorcontroller übernimmt auch die Freigabesteuerung und die Verwaltung der bis zu acht anschließbaren Akkus. Es werden zahlreiche Parameter sensorisch erfasst, überwacht bzw. haben Einfluss auf die Steuerung. Unter anderem: Motortemperatur, Akkutemperatur, Akkuzustand, Entladestrom, entnommene Kapazität/Energie, Drehzahl, Leistung, Betriebsstunden und vieles mehr. Für schnelle Dreiachs-Flugzeuge ist sogar eine Verstellluftschraubensteuerung über ein Luftschraubenkennfeld implementiert. Zur Leistungssteigerung, z. B. für Zweisitzer-Trikes, ist ein Master-Slave-Betrieb zweier PI300-Module möglich, um die Leistung auf 600 Ampere (kontinuierlich) bzw. 1.200 A für 30 Sekunden zu steigern.

Interfacesystem mit Autopilotfunktion

Zur Bedienung des MC300 Motorcontrollers bietet Geiger Engineering zwei Interfacesysteme an. Für Paramotor-Systeme oder einfache Fluganwendungen ist das SDI prädestiniert, für Anwendungen mit mehr Informationsbedarf und Komfort, z. B. für Trikes, das ADI – Advanced Drive Interface. Das ADI hat ein großes Display und ist ein Motoranzeigeelement, ein Motorsteuerinterface, ein Aufzeichnungssystem (Blackbox), ein Autopilotensystem und ein Ersatzfluginstrument in einem. Das ADI hat hierzu einen Drucksensor, einen Beschleunigungssensor, ein GPS und eine Echtzeituhr integriert. Über das hochauflösende Touchpanel werden umfangreiche Daten dargestellt, z. B. Akkudaten wie Restkapazität in % und Ah, Temperatur, Spannung, Lade- und Entladestrom, Akkustatus. Oder: Anzeige von Motordaten wie aktuelle Leistung, Drehzahl, Motor- und Controller-Temperatur, Motor-



E-Paramotor der Schweizer Firma Skyjam mit dem Geiger-Antriebsset

strom, Gasstellung, Motorstatusinformationen. Genauso: Flugrelevante Daten wie Uhrzeit, Groundspeed, aktuelle Reichweite, zurückgelegte Wegstrecke, Motorlaufzeit, Variometer, Höhenmesser. Mit einem integrierten Autopilotensystem kann man unter anderem den Flugstil mit der dynamischen Reichweitenanzeige optimieren oder diese Funktion dem integrierten Autopiloten übergeben. Der Autopilot hat die Funktion „Höhe halten“ sowie „fixe Steigrate“: Beim „Höhe halten“ wird immer so viel Leistung eingestellt, wie dazu nötig ist. Sobald ein thermischer Aufwind das Fluggerät über diese Höhe hinausbringt, wird dem Antrieb stufenlos die Leistung reduziert und umgekehrt. Bei 0 bis 30 [wird das Motorgas zwischen 31 und 100 % eingestellt, so gibt man dem Antrieb eine fixe Steigrate, also einen Sollsteigwert vor. Im Prinzip wird hier das Variometer auf den Antrieb gespiegelt. Sobald das Steigen den vorgegebenen Sollsteigwert übersteigt, wird die Antriebsleistung reduziert und umgekehrt. Bei der Auswahl des Gashebels stehen je nach Fluggerät verschiedene Varianten zur Verfügung.

Ausgeklügeltes Batteriemanagementsystem mit Sicherheitsfunktion

Das Batteriemanagementsystem (BMS) hat die Aufgabe, den Akkumulator in jeder Phase des Betriebszustandes zu überwachen und dafür zu sorgen, dass der Akkumulator innerhalb seiner Spezifikation betrieben und nicht überlastet wird. Zudem wird durch die Integration des BMS der Akkumulator transportfähig im Sinne der UN-Transportvorschriften. Zu den elementaren Aufgaben des BMS gehören unter anderem der Zellschutz, Ladekontrolle, Lastmanagement, Bestimmung des Ladezustandes, Bestimmung der Zellgesundheit, Ausbalancieren der Zellen, Historie, Kommunikation und Thermomanagement und vieles mehr. Über das Akkumanagement hinaus übernimmt das BMS eine wesentliche Sicherheitsfunktion für das Antriebssystem. Es reguliert die Leistung und gibt immer genau so viel Strom an das Antriebssystem frei, wie dies vom Akku fordert. Wird aufgrund eines Überlastungsfalls des Antriebs mehr Strom abgefordert als der Antriebsollwert vorgibt, schaltet das BMS den Stromfluss ab.

Geprüfte Akkus, verschiedene Akkupackvarianten

Die zwei verwendeten Akkutypen kommen aus der KFZ-Branche und werden dort für Elektro- und Hybridautomobile eingesetzt. Das bedeutet, dass diese Akkus speziellen Vorschriften und Zulassungen entsprechen müssen. Dazu werden die Akkus speziellen Tests, wie Höhensimulation, thermischen Einwirkungen, Vibration, Schock, Kurzschluss, Aufprall, Tiefentladung, Überladung etc. unterzogen. Die Akkus dürfen in der Praxis beispielsweise bei einem Crash – in Folge dessen der Akku mechanisch und elektrisch (Kurzschluss) zerstört wird – keine wesentliche, exotherme Reaktion zeigen (Feuer entwickeln). Die Akkupacks sind aus vielen einzelnen parallel und seriell verschalteten Stahlbecherzellen auf Li-Ionen-



In der Bildmitte der leistungsstarke Motorcontroller, das Gehirn des E-Antriebsstranges



Gashebelvarianten: Verschiedene Gashebel für Trikes, Paramotoren, Flugzeuge

Basis aufgebaut. Sie werden von einer deutschen Firma konfiguriert, sind Plug-&-Play-fertig aufgebaut und nach UN38.3 geprüft. Das integrierte BMS übernimmt alle Überwachungs- und Regelungsaufgaben (Zellenspannung, Temperatur, Strom, Leistung etc.). Ebenso ist ein Smart-Powersystem integriert, welches den Kurzschluss- und Überlastfall absichert. Ein Ausgang für den Motorcontroller und ein bidirektionaler Ausgang/Eingang für Ladegeräte und ein Avionikversorgung ist ebenso integriert, das heißt es können andere Fluginstrumente, Stromverbrauch etc. on board mit dem Akku-Strom versorgt werden. Ein Glasfaser-Chassis schützt die Zellen. Geiger verwendet sowohl Hochstromzellen als auch Hochkapazitätsakkus. Die Akkupacks sind in verschiedenen Größen und Kapazitäten verfügbar, von 25 bis 68 Ah. Ebenso stehen verschiedene Ladegeräte zur Auswahl. Die Akkus sind schnellladefähig, je nach Ladegerät beträgt die Ladezeit zwischen 2 und 7,5 Stunden. Die Li-Ionen-Akkus haben eine gemessene Selbstentladungsrate von lediglich ca. 0,3 Ah pro Monat, abhängig vom Ladezustand und Alter. Selbst wenn ein Akku in der Flugsaison nach dem Laden einen Monat steht, ist der Kapazitätsverlust vernachlässigbar klein. Für eine längere Lagerzeit verfügt der Akku über eine „Überwinterungsfunktion“, die den Akku auf eine Spannung zwischen 51 und 53 V bringt, um dessen Lebensdauer zu verlängern.

Akku-Lebensdauer

Zur Lebensdauer der Akkus gibt Geiger Engineering zwei spezifische Grenzwerte an. Je nach Akkutyp gibt es eine Zyklenzahl bei welcher der Akku noch 70 % seiner Kapazität abgeben kann und eine kalendarische Lebensdauer. Der erste Wert (70 %) liegt bei ca. 800–1.500 Lade-/Entladezyklen. Als Ladezyklen zählen vollständige Ladungen/Entladungen. Die kalendarische Lebensdauer liegt bei 10–12 Jahren. Tatsächlich hängt die Lebensdauer aber nicht nur von der Anzahl der Ladezyklen ab, sondern maßgeblich auch von der prozentuellen Aufladung bzw. Entladung (Restkapazität) im Flug. Das veranschaulicht folgende Tabelle:

*Aufladung auf 100 %; Entladung auf 0 %
Restkapazität = 500 Ladezyklen*
*Aufladung auf 100 %; Entladung auf 10 %
Restkapazität = 750 Ladezyklen*
*Aufladung auf 100 %; Entladung auf 20 %
Restkapazität = 1000 Ladezyklen*

Das heißt, behält man immer rund 10 % Restkapazität im Akku, kann man um 50 % mehr Ladezyklen erreichen, bei 20 % Restkapazität verdoppelt man die Ladezyklen von 500 auf 1000, bis der Akku auf die letztendlich 70 % Kapazität fällt ...

Joachim Geiger zur Akku-Zukunft: „Es gibt viele Entwicklungen und Forschungsarbeiten, die darauf abzielen, noch leistungsfähigere Akkus auf den Markt zu bringen. Wenn die Automobilbranche endlich mit Engagement auf die E-Antriebstechnologie aufspringt, werden diese Energiespeicher in Zukunft auch kommen. Mittelfristig wird das Entwicklungspotenzial mit etwa 20 % innerhalb der nächsten zwei Jahre angegeben.“

Klapppropeller, fixe Propeller, Verstellpropeller

Für unsere Flugzwecke stehen Feststellpropeller und Klapppropeller mit einem Durchmesser von 1,25 bis 1,70 m zur Verfügung, da ist also für jeden Paramotoristen oder Trikeflieger etwas dabei ... Konventionelle Propeller sind für den E-Antrieb nicht geeignet, sie sind auf Verbrennungsmotoren ausgelegt. Diese erfordern relativ dicke Profile, die aerodynamisch nicht optimal sind. E-Propeller haben speziell für den Elektroflug mit HPD-Motoren ausgelegte, wesentlich dünnere und effektivere Profile, die deutlich weniger Antriebsleistung pro Schub benötigen. Hierbei wurde auf höchste Effizienz des Wirkungsgrades sowie auf geringste Geräuschentwicklung Wert gelegt. Die Propellerblätter sind aus Carbon gefertigt, die Propellernaben aus hochfestem Aluminium hergestellt. Die Faltpropeller haben den synchronen Faltmechanismus integriert, der immer für einen sicheren Faltvorgang sorgt. Die Festpropeller mit statischer Nabe sind am Boden einstellbar. Für spezielle Zwecke sind sogar Verstellpropeller mit Verstellervo verfügbar, sie können automatisiert direkt am Motorcontroller MC300 betrieben werden.

Leistung und Schub

Dazu muss man laut Hersteller folgende Zusammenhänge kennen: Ein Verbrennungs-



Akkupacks – zur Wahl stehen Hochstromzellen und Hochkapazitätszellen in verschiedenen konfigurierten Akkupacks von 25 bis 68 Ah

motor kann nur an einem bestimmten Drehzahlarbeitspunkt, bei optimalen Umgebungsbedingungen (Luftdruck, Temperatur, Treibstoffqualität etc.) sein maximales Drehmoment entwickeln. Daraus resultiert, dass man in der Praxis „Elektro-PS“ nicht mit „Verbrennungsmotoren-PS“ vergleichen sollte. In der Praxis entspricht 1 PS beim Verbrennungsmotor ca. 1,25 PS beim Elektrosystem. Beim E-Motor liegt außerdem die Spitzenleistung um ca. 25 bis 50 % höher als die Nennleistung. Diese Maximalleistung kann kurzfristig, z. B.: während der Startphase für ca. 2–3 Minuten abgegeben werden und erhöht den Schub nochmals. Mit entsprechenden Luftschrauben entwickeln die Geiger-Antriebe zwischen 500 N (1,30 m Propeller am HPD12) und ca. 1.500 N Stand Schub (1,75 m Propeller am HPD40D). Damit können z. B. bei Trikes sehr hohe Steigraten von 5–7 m/s erzielt werden.

Effizienz – sehr hoch

E-Antriebssysteme haben einen sehr hohen Wirkungsgrad bei der Energieumsetzung. Pro 1 kWh in den Akku geladene Energie wird bei den Geiger Antriebssets 0,45 kWh bis 0,8 kWh (je nach Fluggeschwindigkeit) in den Vortrieb umgesetzt. Ein gutes Verbrennungsmotorantriebssystem kommt dabei auf lediglich ca. 5 %, das heißt, dass aus einem Liter Benzin mit einem Energieinhalt von ca. 10 kWh nur ca. 0,5 kWh in Vorschub umgesetzt werden. Messflüge haben gezeigt: Ein Fluggerät hoher aerodynamischer Güte kann mit dem HPD12-Antrieb und einem Akkupack mit 3 kWh Energieinhalt ca. 45 Minuten mit Motorkraft fliegen. Ein gutes Verbrennungsmotorantriebssystem benötigt hierfür 10 mal so viel Energie.

Flugzeit – bis zu 3 Stunden

Die Flug- oder Steigzeit, hängt ausschließlich von der Größe des Akkus bzw. der Energiequelle ab. Die Flugzeit und/oder die Steighöhe kann man bei Geiger Antriebssets mit weiteren bis zu acht Akkupacks nach oben skalieren. Bei einem Paratrike sind somit Flugzeiten bis drei Stunden möglich. Beim Fußstart mit einem Paramotor ist das Gewicht klarerweise durch die Körperkraft limitiert. Mit einem 68-Ah-Akku sind ca. 60 Minuten Flugzeit bei einem Gewicht von ca. 30–33 kg (je nach System) realisierbar. Mit einer Rollhilfe, deren Startgewicht nicht so massiv begrenzt ist, kann man mit z. B. 2 x 60-Ampere-Akkus bereits knapp zwei Stunden fliegen.

Lärm – möglichst wenig

Der von einem Verbrennungsmotorantriebssystem ausgehende Lärm setzt sich zusammen aus dem Motorengeräusch, dem Laufgeräusch von Riemen oder Getriebeuntersetzungen, Resonanzgeräuschen und dem Luftgeräusch



Klapppropeller – perfekt für den Einsatz eines käfiglosen Paramotorsystems, einer E- Aufstiegs- hilfe

der Luftschaube. Bei einem Elektroantriebs- system bleibt nur noch das Laufgeräusch der Luftschaube übrig, wenn es sich dabei um ein Direktantriebssystem, wie bei den HPD- Motoren, handelt. Auch bei Elektroantriebs- systemen, die mit einem Getriebe oder Riemen un- tersetzt sind, entsteht noch ein nicht zu vernachlässigender Reibungslärm. Das Laufge- räusch einer Luftschaube steigt massiv mit der Zunahme der Propellerdrehzahl an. Somit kann es durchaus sein, dass ein Elektroantriebssystem mit schnell drehenden, kleinen Propellern als „aggressiv“ laut empfunden wird. Alle Direktan- triebssysteme von Geiger sind auf eine niedrige Nenndrehzahl von 2.000 U/min ausgelegt. Die speziell für diesen Drehzahlbereich entwickel- ten Luftschauben H25K, H25F und H30V entwickeln bei einer Effizienz von ca. 60 % eine Geräuschemission von 46–50 dbA! Das bedeutet, dass man diesen Antrieb in ca. 100 m Abstand nicht mehr wahrnimmt. Und der Lärm liegt damit unterhalb der Daueremis- sionsgrenze für Wohngebiete! Somit können auch geräuschsensitive Fluggebiete erschlossen werden und man könnte den Antrieb innerhalb eines Wohngebietes rund um die Uhr betreiben.

Sicherheit wird groß geschrieben

Vieles ist mehrfach abgesichert. Motorcontroller und BMS kommunizieren ständig, bei Über- spannung erfolgt sofortige Abschaltung bzw. Stromsenkung (z. B. wenn der Motor durch Crash blockiert). Das Akku-Risiko wird mini- miert, indem ausschließlich Zellen eingesetzt werden, die den UN-Test 38.3 bereits auf Zellenebene erfüllen und deren Gehäuse auf Zellenebene z. B. aus Stahlbechern bestehen. Ebenso erfüllen die Akkupacks den UN- 38.3-Standard. Die Befestigungen der Akku- packs müssen die maximal zu erwartenden G-Kräfte aushalten. Ebenso werden die Hand-

habung, der Transport und der Betrieb durch das im Akkupack integrierte BMS mit umfang- reichen Kontrollmechanismen abgesichert. Die Auslegung der Spannungshöhe der Steuerung und Energieversorgung wurde bewusst auf max. 58,8 V Gleichspannung ausgelegt, damit wird die DIN EN 61140 als SELV (Safety Extra Low Voltage, früher „Schutzkleinspannung“) eingehalten.

Wartung – nicht notwendig

Das Antriebssystem ist grundsätzlich wartungs- frei. Auch die Lager sind extrem langlebig und haben Dauertests von 15.000 Stunden und mehr standgehalten.

Auswertungen und Kundenbetreuung

Der Pilot kann selber jeden Flug am PC mit einer eigenen Software auswerten. Akku-Daten, Motordaten, Motorcontrollerdaten, Höhe, Vario, GPS-Groundspeed, Beschleunigung, Drehzahl, Stromfluss, Spannung, Steigrate, Temperatur etc. – es wird jede Flugsekunde aufgezeichnet. Durch eine genaue Datenanalyse kann jeder Flug nachvollzogen werden und ein (Piloten-) Fehler wird von den Experten rasch eruiert. So wird der Kunde mit einem techni- schen Problem nicht einfach „im Regen stehen gelassen“.

Kostenvergleich – Vielflieger profitieren

Die Anschaffungskosten eines fixfertigen E-Paramotorsystems sind insbesondere auf- grund der noch relativ hohen Akku-Kosten (auch aufgrund der niedrigen Stückzahlen und der hohen Gewinnspanne von Hersteller und Handel) aktuell um etwa 40–50 % höher als die eines Verbrennungsmotors vergleichbarer Lei- stung und Komforts. Allerdings sollte man bei einem Vergleich beider Systeme einige Fakten berücksichtigen:

Betriebskosten: Diese beschränken sich ledig- lich auf die Stromkosten beim Aufladen. Mit 60 Ah = 3,1 kwh Energie kann man etwa 50–60 Minuten mit einem Gleitschirm fliegen. Die volle Aufladung kostet im Mittel etwa 0,80 Euro. Die vergleichbaren Energiekosten aus Treibstoff für einen Verbrenner liegen bei 4–5 Liter oder etwa 8 Euro pro Flugstunde (6 € Benzin + 2 € Öl). Bei ca. 40 Flugstunden pro Jahr summieren sich 32 Euro Stromkosten (in 10 Jahren 320 Euro), beim Verbrennungsmotor ca. 320 Euro Benzin-/Öl-Kosten (in 10 Jahren 3.200 Euro). Der Betriebskostenvorteil von 2.900 Euro in 10 Jahren kompensiert auf jeden Fall einen Großteil der Akku-Anschaffungs- kosten.

Reparatur und Wartungskosten: Das Geiger E-Motorsystem ist wartungsfrei. Lediglich die Batterien altern entsprechend. Bei Verbren- nungsmotoren steht in der Regel nach 150 bis 200 Betriebsstunden ein Teiletausch oder eine größere Reparatur ins Haus: Zündung defekt, Auspuff abgerissen, Gummipuffer erneuern, E-Starter kaputt, Handstarter austauschen, Kol- ben oder Laufbuchse wechseln, Lager erneu- ern. Die Kosten dafür belaufen sich rasch auf 500–1.000 Euro. Und: Bei 40 Flugstunden pro Jahr ist nach 10 Jahren bzw. ca. 400 Stunden zumeist ein kompletter Motorwechsel um z. B. 2.000 Euro fällig ...

Anschaffungskosten: Die Kosten des Geiger Antriebssets liegen für Paramotoren ab 5.969 Euro netto, für ein Einsitzertrike ab 11.576 Euro netto. Für Endkunden gibt es 2 Jahre Gewährleistung.

Noch mehr Infos zu den Geiger Antriebssets gibt's unter: <https://www.geigerengineering.de/>

Fazit

Bei E-Paratrikes scheidet es bis dato an den Herstellern sowie am Preis, nicht mehr an der verfügbaren Motorflugzeit. Mit einer Umrüs- tung von einem Verbrenner-Trike zu einem E-Trike kann man die Kosten niedrig halten. Bei E-Paramotoren nörgeln viele Piloten nach wie vor über die erreichbare Flugzeit sowie auch den Preis. Auch hier gilt: Wer den Kauf eines neuen E-Paramotors aus Kostengrün- den scheut, kann vielleicht mit einem Umbau eines bestehenden Systems den Einstieg in den geräuscharmen E-Flug wagen – mit einem Plug-&-Play-E-Antriebsset.

Und eines ist gewiss: Fliegt man einmal mit einem leichten E-Paramotor flüsterleise dahin ... soart genüsslich am Hang ... kreist gemütlich in der lauen Nachmittagsthermik ... genießt einen entspannten Rundflug ... dann lässt einen die Faszination des Elektrofluges nicht mehr los. ■