Zukunftsvision?

Multikopterschlepp für Gleitschirm und Drachen

TEXT UND GRAFIKEN: BERND OTTERPOHL

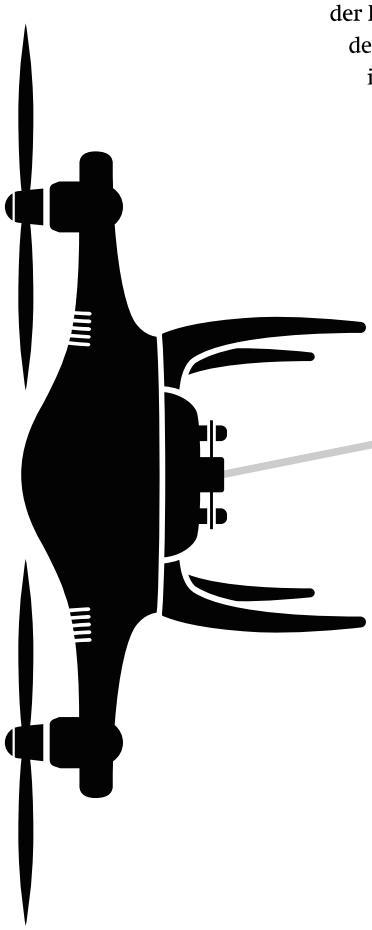
Die Entwicklung von Schwerlast-Multikoptern ist in den letzten Jahren rasant vorangegangen, getrieben durch Agraranwendungen (Spritzen) oder industrielle Anwendungen wie das Reinigen von Windkraftflügeln. Maximale Hebegewichte von 320 kg sind möglich.
Die Motorenhersteller haben mit schmal gebauten Statoren großen Durchmessers sehr drehmoment-starke und trotzdem unglaublich leichte und preiswerte Antriebe entwickelt. Auch Korrosions- und Verschmutzungsschutz sowie Lagerabdichtung wurden verbessert, offensichtlich verlangen die Kunden alltagstaugliches Gerät.

Auf YouTube gibt es einige spektakuläre Schlepps zu sehen: Der Weihnachtsmann wird die Skipiste heraufgezogen und fliegt auch mal frei in der Luft herum, auch Wasserski und 4fach Skischlepp sind kein Thema mehr (multikopter.de unter Anwendungen/Sport+Action). Da drängt sich die Frage auf, ob diese Technik auch geeignet ist, GS- und HG- Schleppstarts durchzuführen. Dazu gibt es jetzt auf der DHV-Homepage eine ausführliche Version dieses Artikels:
www.dhv.de/medien/archiv/artikel-archiv/geraetetechnik/drachen/multicopterschlepp

Hier eine Übersicht der Ergebnisse:

Schleppverfahren

Vom technischen her wäre es heute möglich, den Drachen im Garten aufzubauen und sich von einem Multikopter senkrecht in die Thermik schleppen zu lassen. Vor dem Ausklinken würde ein Sinkflug mit Vorwärtsfahrt eingeleitet, um einen sanften Übergang zum Flug zu bekommen. Mit der Zulassung sähe es weit schwieriger aus: Mit einem senkrechten Schlepp bekommen wir die Situation, dass der Multikopter menschtragend wird und damit der Aufwand für Gerät und Zulassung in Richtung UL-Hubschrauber geht. Daher erscheint der horizontale Schlepp sinnvoller, denn GS oder HG fliegen dabei unabhängig davon, ob Seilzug da ist oder nicht, was die Zulassungsanforderungen an die neue Schleppmaschine erheblich reduzieren sollte.



Als Referenzen stehen dann der Windenschlepp und der Drachen UL–Schlepp zur Verfügung. Für uns ist der Betrieb des Multikopters als Modellflugzeug interessant. Das heißt, dass der Flug im direkten Sichtkontakt vom Modellpiloten beaufsichtigt und nötigenfalls korrigiert wird.

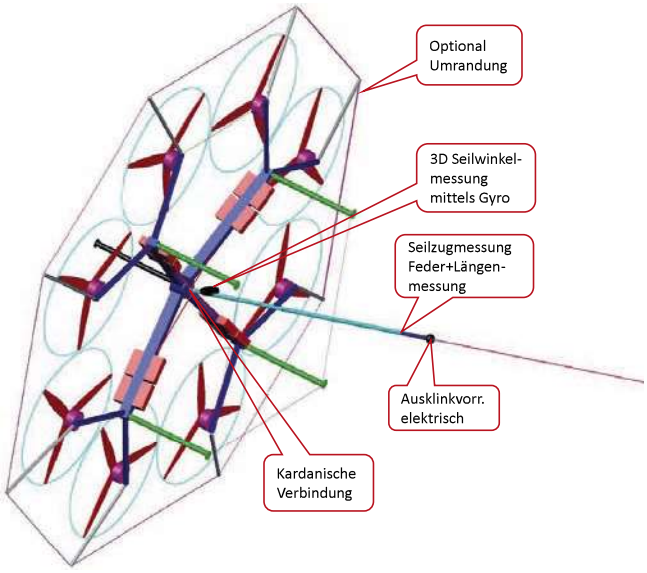
Hierbei werden dann per Fernsteuerung hauptsächlich automatische Programme umgeschaltet: analog zum Windenschlepp mit dem „Fertig“-Knopf der Modus für die Aufzieh-Zugkraft und mit dem „Start“-Knopf das eigentliche Schlepp-Programm.

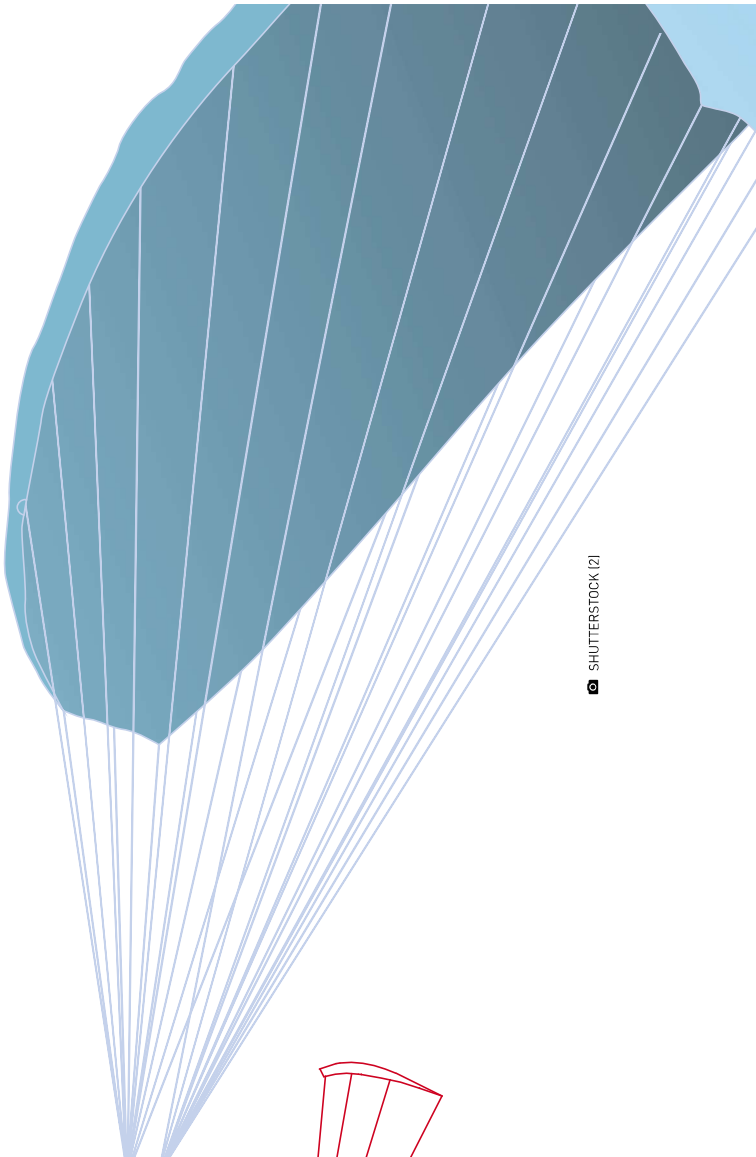
Der Pilot kann sich voll auf die Beobachtung des Luftraums und des geschleppten Fliegers konzentrieren. Das Schlepp-Ende sollte automatisch erkannt werden und löst den Modus „Rückkehr zum Platz“ aus.

Zudem sind einige Zusatzfunktionen nötig: Schleppkraftvorwahl, Ausklinken („Kappen“) am MK, Ausweichmanöver, Stehenbleiben, Kursänderungen, Schnellabstieg usw.

Der große Vorteil des Multikopters ist die sehr gute Positionsnachregelung. So kann er sich immer mit dem passenden Seilzug vor dem GS/HG positionieren, die Höhe sollte etwas tiefer liegen. Wir bekom-

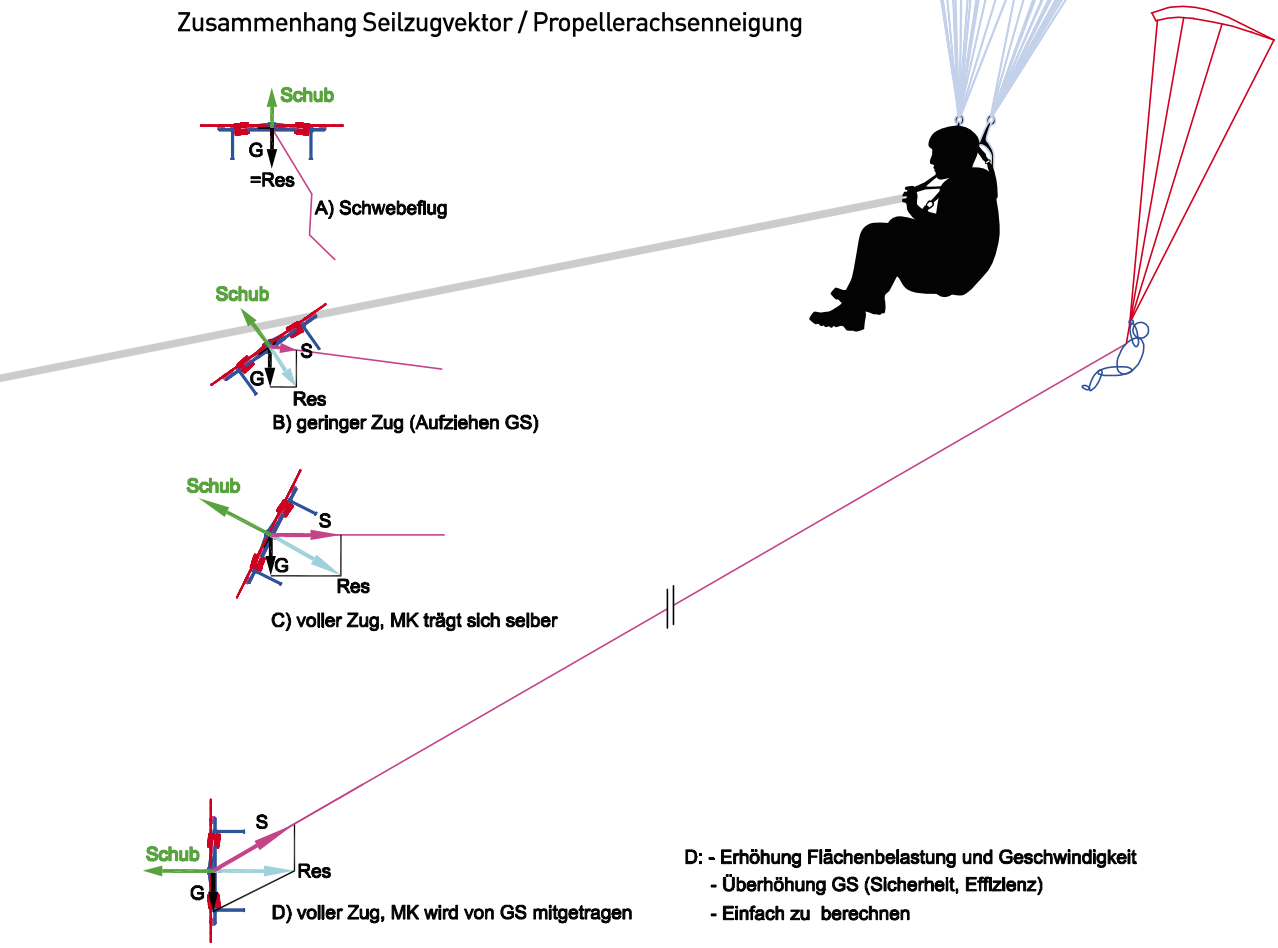
Konstruktionsvorschlag Schlepp-Oktokopter





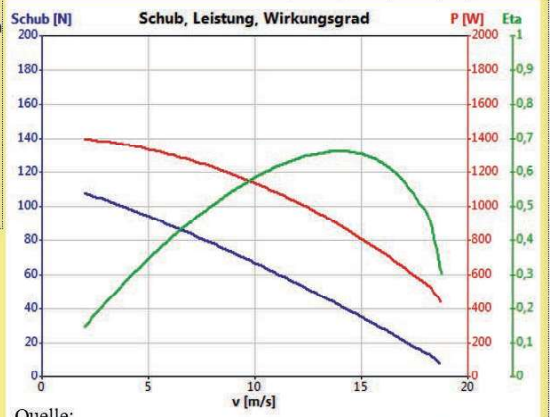
SHUTTERSTOCK (2)

Zusammenhang Seilzugvektor / Propellerachsenneigung



D: - Erhöhung Flächenbelastung und Geschwindigkeit
- Überhöhung GS (Sicherheit, Effizienz)
- Einfach zu berechnen

Antrieb bei 10,2m/s (GS)	1	8	Stck.
Propeller 30x12	3050		1/min
Blattspitzengeschw.	122		m/s
Leistung/ Luft	0,68	5,43	kW
Eta Prop	59%	59%	
Schub	65	520	N
Wellenleistung	1,15	9,20	kW
Eta Mot+Reg	80%	80%	
Leistung elektr.	1,4	11,5	kW
Spannung am Motor	37	37	V
Strom am Motor	39	311	A
Flugleistung GS			
Gleitzahl	9		
Sinken	1	m/s	
Geschwindigkeit	9	m/s	
Gewicht Pilot + GS	900	N	
Widerstand P + GS	100	N	
Schlepp, Annahme: GS trägt Kopter			
Gewicht Multilkopter	250	N	
Ges.-Gewicht	1150	N	
Geschw. Ges.	10,2	m/s	
Widerstand ges. ca.	200	N	
Schub	520	N	
Schub-Widerstand	320	N	
Steigwinkel	15,5	°	
Steigen	2,8	m/s	
Zeit 800m	283	s	
Schlepp-Arbeit el. **800m**	0,9	kWh	
Rückkehr -4m/s	200	s	
Leistung ca. (100N/kW)	2,5	kW	
kWh Rückkehr	0,14	kWh	
1 Schlepp kpl.	1,04	kWh	
Energieinhalt Akku 80%	1,14	kWh	



Quelle: PropCalk

-> 30x12 3Bl | n[rpm] 3053 | Ergebnistabelle

Gewicht / Kosten ca.	Gew.	Anz.	Gew.		Kosten
MAD M10 100KV	0,50	8	4	kg	2.560 €
Regler T-Motor 80A	0,11	8	0,85	kg	960 €
Propeller XOAR 30"x12" 3-Bl.	0,24	8	1,92	kg	1.280 €
LiPo Akku Quantum 4Ah 30C 12S8P	10,62	1	10,62	kg	1.224 €
Steuerungen, Sensoren usw	0,6	1	0,60	kg	1.500 €
Struktur, Ausklinkvorr. (Eigenbau)	6,7	1	6,70	kg	1.000 €
(Steuerungsadaptionen Open Source Gemeinschaft)					0 €
Summe			**24,7**	**kg**	**8.524 €**
Je Tauschakkusatz					**1.224 €**
Je Ladegerät, zzgl. Stromerzeuger					**500€?**

men somit einen Schlepp, der einem Windenschlepp im ersten Drittel ähnelt, mit sehr moderater Zugkraft.

Zulassung

Eine Modellflugzeug-Zulassung nach deutschem Recht ist recht einfach und preiswert, soweit es unter 25 kg bleibt. Es geht um unkontrollierten Luftraum G, der außerhalb von Flughafenbereichen bis 762 m über Grund reicht. Die erste Aufgabenstellung wäre somit, auf dem Fluggelände eine gleichzeitige Zulassung von Fußstartern und einem Elektroflugmodell zu bekommen. Oder eine kleine Gruppe thermikerfahrener HG/GS Piloten versucht, auf einem bestehenden Modellflugplatz genehmigt zu werden. Zusätzlich benötigen wir ein Erprobungsprogramm, der Multikopter benötigt eine Zulassung als Schleppgerät.

Sicherheit

Mit der Zulassung als Modellflugplatz mit E-Flugmodell bis 25 kg greifen bewährte Sicherungsmaßnahmen, was den Umgang mit offen laufenden Propellern, Zuschauern und Überfliegen von Menschen angeht. Auf die Kollisionsverhinderung mit dem geschleppten und den anderen Fliegern ist ganz besonders zu achten.

Der Multikopter kann immer auf der gleichen, automatisch gesteuerten Bahn schleppen und zurückkehren (je nach Windrichtung natürlich verschiedene Programme). Für alle vorhersehbar wird dann der Flug verlauf und es können Flugbereichsregelungen getroffen werden. Besonders schön dabei: Der Kopter kann mit dem Wind oder senkrecht einlanden.

Nach dem Ausklinken kann die Geschwindigkeit auf beispielsweise 20 km/h reduziert werden, so dass dem Schlepper ähnlich leicht ausgewichen werden kann wie einem Heißluftballon. Auf eine gute Sichtbarkeit ist dabei zu achten.

Ein Oktokopter fliegt bei Ausfall eines Antriebsstrangs mit etwas reduzierter Leistung sicher weiter. Er kann mit beliebig vielen Absicherungsmaßnahmen versehen werden wie Verdoppelung oder Verdreifachung der verschiedenen Sensoren bis hin zu Fail-Safe Funktionen, mit denen er bei gleichzeitigem Ausfall von Fernsteuerung und allen GPS Signalen noch sicher zurückkehrt.

Telemetriedaten wie Seilzug, Akkuladung, Temperaturen und Stromstärken lassen sich zur Überwachung auf den Fernsteuersender spielen, auch mit Sprachausgabe. Besondere Chancen bietet eine Steuerung, die auch mit einem Bewegungs-Signal des Piloten per WLAN kommuniziert (FANET o.ä.): Damit kann eine Lockout-Erkennung programmiert werden mit automatischem Klinken. Um den Geschleppten herum kann ein virtueller Bannkreis gezogen werden, der den MK fernhält (oder notfalls solange abstellt, bis er im freien Fall wieder draußen ist).

Ein übergroßer Seilzug ist durch das geringe Gewicht und die begrenzte Leistung technisch kaum möglich. Die Sollbruchstelle kann niedrig ausgelegt werden.

Geräuschemission

Wir haben kein Limit der Propellerfläche, das ist eine sehr gute Voraussetzung für leise Antriebe. Die Zulassung von E-Flugmodellen auf Plätzen näher als 1,5km zur nächsten Ortschaft ist recht unkritisch.

Realisierungsmöglichkeit

Es wurde ein virtueller Oktokopter mit niedrigem Geräuschniveau berechnet, siehe Bild 3. Gedacht als Grundlage für weitere Diskussionen mit Experten auf den verschiedenen Gebieten Elektroantrieb/ Propeller, Multikopter, DHV usw., nicht zum direkten Nachbau.

Es ergibt sich eine klare Machbarkeit innerhalb des Gewichtslimits von 25 kg, bei einer optimalen Auslegung sieht das Erreichen der maximalen Schlepphöhe von 762 m mit einem Akkupack machbar aus. Auch Kosten für die einzelnen Komponenten sind zur Orientierung angegeben und als Minimum für Eigenbau zu sehen. Es kommt im Bereich Sensoren und Steuerungen sicherlich noch ein großer Posten Unvorhergesehenes hinzu, während der mechanische Aufwand recht überschaubar ist.

Die Realisierbarkeit der Entwicklung wird davon abhängen, ob wir Sicherheitskonzept, Auslegung und Programmierung in einer Online-Arbeitsgemeinschaft aus der Begeisterung heraus hinbekommen, oder ob ein professioneller Hersteller damit Geld verdienen will.

Glücklicherweise sind die MK-Steuerungen als Open Source programmiert und gut dokumentiert. Viele Programmbausteine, die wir brauchen, sind als Software schon vorhanden oder müssen nur etwas abgeändert werden.

Auf https://www.youtube.com/watch?v=w2itwFJCgFQ wird eindrucksvoll gezeigt, was heute möglich ist. In der Szene mit dem Netz gehen die 3 Mks auch kurzzeitig in den

Modus „voller Seilzug“ mit waagerechter Propellerachse, wie wir es für den Schlepp brauchen.
https://wiki.roboticsapi.org/ISSE_Demo_Applications ist schon nah an einer Programmierung, die wir für einen angenehm nachgeregelten Schlepp benötigen.

Erprobungsprogramm

Ein sorgfältig ausgearbeitetes Sicherheitskonzept zur Erprobung und Einführung ist gerade beim Schlepp unabdingbar. Die Erprobung kann in folgender Reihenfolge stattfinden:

Erprobung neuer Regelungsprogramme vorab per Simulation, mit kleinem MK oder in sicherer Höhe per „Mode“- Umschaltung. Da wir ohnehin eine telemetrische Seilzugmessung an Bord haben, kann die weitere Erprobung sehr gut mit geschleppten Fallschirmen passender Größen erfolgen, und das in sicherer Höhe. Für mobile Schleppwinden gibt es die Gütesiegelerprobung, da kann vermutlich vieles übernommen werden. Wenn alles perfekt läuft, kann der erste Schlepp mit HG bei ruhigem Wetter vorgenommen werden. Das Seilzug-Regelverhalten bei schnellen Geschwindigkeitsänderungen kann dann einfach getestet werden. Bei den GS-Erprobungen ist ganz besonders ein mögliches Aufschwingen der Pendelbewegung im Auge zu behalten. Hierzu ist unbedingt die Eigenfrequenz der Zugkraft-Nachregelung von der Pendelfrequenz des GS zu entkoppeln, z.B. durch Abstimmung der Seilelastizität. Als Schlepppiloten benötigen wir idealerweise einen Windenfahrer, der auch Modellflieger ist.

Ausblick

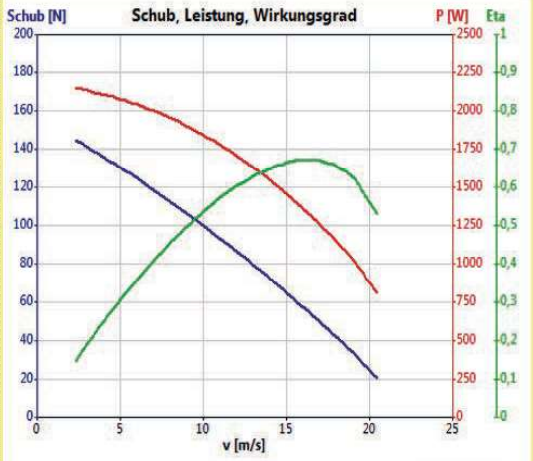
Idealerweise ergibt sich eine „3D-Elektrowinde“ mit Regulierung der Zugkraft und ohne das Höhen- und Geschwindigkeitsausgleichsproblem des UL-Schlepps. Langes Warten wegen Rückenwind am Start wird es damit kaum geben: Die Zugmaschine fliegt einen 180°-Halbkreis und es kann losgehen. Die Kosten pro Schlepp werden etwa mittig zwischen UL- und Windenschlepp liegen, hauptsächlich für Amortisation und Akkuverbrauch.

Es tun sich völlig neue Möglichkeiten bei der Geländesuche auf. Ein kostengünstiger 100 m langer Streifen mit freiem An-und Abflughorizont kann bereits genügen. Neue Hänge ohne Bergstartmöglichkeit können

Antrieb bei 15m/s (HG)	1	8	Stck.
Propeller 30x12	3500		1/min
Blattspitzengeschw.	140		m/s
Leistung/ Luft	0,96	7,72	kW
Eta Prop	67%	59%	
Schub	65	520	N
Wellenleistung	1,44	11,52	kW
Eta Mot+Reg	80%	80%	
Leistung elektr.	1,8	14,4	kW
Spannung am Motor	42	42	V
Strom am Motor	43	343	A

Flex-Drachen, mit gleichem Propeller
50% mehr Geschwindigkeit durch Drehzahlerhöhung
Blattspitzengeschwindigkeit (→ Lautstärke) ähnlich E-Lift
Besserer Prop-Wirkungsgrad
Höhere Leistung, ähnliche Steiggeschwindigkeit
100m weniger Höhe

Flugleistung HG		
Gleitzahl	12	
Sinken	1	m/s
Geschwindigkeit	13,7	m/s
Gewicht Pilot + HG	1250	N
Widerstand P + HG	104	N
Schlepp, Annahme: HG trägt Kopter		
Gewicht Multilkopter	250	N
Ges.-Gewicht	1500	N
Geschw. Ges.	15,0	m/s
Widerstand ges. ca.	230	N
Schub	520	N
Schub-Widerstand	290	N
Steigwinkel	10,9	°
Steigen	2,9	m/s
Zeit 700m	241	s
Schlepp-Arbeit el. **700M**	1,0	kWh
Rückkehr -4m/s	175	s
Leistung ca. (100N/kW)	2,5	kW
kWh Rückkehr	0,12	kWh
1 Schlepp kpl.	1,09	kWh
Energieinhalt Akku 80%	1,14	kWh



	UL-Schlepp	E-Winde	Abrollwinde	E-Antrieb	MK-Schlepp
HG/PG	nur HG	+	+	+	+
Eignung für kurzes Fluggelände	0	-	-	+	+
Konvexe Geländeform	+	-	-	0	+
Seitenwindanfälligkeit	0	-	-	0	+
Thermikanschluss	+	0	0	+	+
Schleppfrequenz	+	+	-	-	0
Ausbildungsbedarf	-	0	0	-	0
Schwierigkeitsgrad	-	0	+	-	0
Sicherheit Akkupack / Treibstoff	-	+	+	-	+
Geräuschemission	-	+	+	0	0
Kosten	-	+	+	-	0
Wartungsaufwand	-	0	+	0	0
Flugleistung	+	+	+	-	+
Flugkomfort	+	+	+	-	+
Zus. Gepäck bei XC-Rückkehr	+	+	+	-	+
Lagerung + Transport	-	0	+	-	+
Flautenschieber gegen Absaufen	0	0	0	+	0
„““Spassfaktor““ des Schleppenden“	+	-	-	n. a.	+
Automatisierbarkeit	-	+	0	n. a.	0
Rohstoffe / Entsorgung	+	0 *	+	- *	- *

* Beschaffungsmethoden Cobalt, Lithium, seltene Erden. Kohlefaser: gefährlich nach Müllverbrennung

MULTIKOPTER-REGELUNG	
Stand der Technik	
Bahn- und Gierachsenvorgabe	Fernsteuerung oder gespeichertes Programm, auch kombiniert/umschaltbar
Flugcontroller	Zentralrechner mit Ansteuerung der Motorregler
Sensoren	3-Achsen Beschleunigungs- und 3-Achsen Winkelbeschleunigungsmessung zur Stabilisierung gegen äußere Einflüsse und interne Ungenauigkeiten*
	GPS zur Positions-und Geschwindigkeitsbestimmung*
	Eektronischer 3D- Kompass zur Bestimmung der Azimuth-Achse*
	Barometrischer Höhenmesser zur Höhenregulierung*
“, optional	Fahrtmesser (wird empfohlen)
	Sensor zum Position halten mit Kamera nach Landschaftsbild (Prinzip der optischen Maus) - genaues Landen, Orientierung ohne GPS
	Div. Kollisionswarner
	Abstandsmesser zum Boden
Überwachung	Telemetrie auf Fernsteuersender, Smartphone oder Tablet: Akkustand, optional Ströme, Temperaturen Akkus + Motoren
Regelergebnis	Stabile Positionsregelung wird bis 40 oder 50km/h Wind angegeben
Zusätzlich benötigt für Schleppbetrieb	
Bahn- und Gierachsenvorgabe	
Flugcontroller	Zusätzliche Programm-Modi Schlepp, Rückkehr + Landeverfahren mit Seil
Sensoren	Schleppkraft mit 3D Winkel des Seils
	Fahrtmesser (Pflicht)
Überwachung	Telemetrie Schleppkraft
“, optional	Telemetrie Luftsportgerät zum Kopter - Bahn und Beschleunigung
	“, Fernsteuerung Richtung, Notknopf usw.
	* aus Sicherheitsgründen doppelt vorhanden

beflogen werden und Schleppgelände nach Thermikqualität und Nähe statt nach Geländelänge, Hindernissen und Ebenheit gewählt werden. Wer im dicht besiedelten Westen schon mal nach Windenschleppgeländen gesucht hat, weiß, was das bedeutet.

Gut für kleine Gruppen, die lange Anfahrten meiden oder strategisch ideale Startplätze erschließen wollen. Mit Modellfliegern tun sich schöne Kooperationsmöglichkeiten auf.

Bei den Drachen wird der Schlepp viel einfacher als der UL-Schlepp, so dass deutlich mehr Piloten diesen nutzen können. Allerdings wie beim Windenschlepp mit Lockout-Gefahr: Bei niedriger Geschwindigkeit greift der Zug weit hinten an. Hier muss den Beginnern eingebläut werden, bei kritischen Abweichungen sofort kräftig zu ziehen, um den Zugpunkt nach vorne zu bekommen. Mit den vorgeschlagenen Mitteln gibt es aber auch hierzu die Möglichkeit der automatischen Absicherung.

An unserem Hausberg Porta Westfalica mühen wir uns seit 5 Jahren um eine GS-Zulassung für den Bergstart. Hier haben wir mit dem Multikopter hoffentlich bald ein weiteres Eisen im Feuer.

ANZEIGEN

Performance Center HOTSPORT.de Frankfurt Ronneburg

Namibia, Südafrika, Teneriffa, Südtirol, Annecy, Ölü-Deniz, Griechenland...

Jeden Samstag Kurs für Beginner! Ronneburg (20 km östl. Frankfurt)

Sicherheitstraining, Streckentraining, Technik, Refresher Kurse, Motorkurse

www.hotsport.de • Tel. 06421/12345 • info@hotsport.de

Gleitschirm Werkstatt
Checks - Reparaturen - Retter packen - Verkauf - Tandemflüge

2-Jahres Check Gleitschirm 125,- Euro
Retter packen ab 39,- Euro
Check inkl Retter packen 145,- Euro
alle Preise inkl. Rückversand

Weitere Angebote und Details, sowie unsere **deutsche Versandadresse** findet Ihr auf unserer Internetseite

Scharnagl & Müller GbR - Kaltenbach 9 - A-6345 Kössen - www.gleitschirmwerkstatt.at
Andrea +43 650 8089364 - Viktor +43 676 6075721

Reparaturservice für:
- Gleitschirme und Drachensegel
- Gurtzeuge für Gleitschirme und Drachen
- Kites, Kletter- und Sicherungsgurte
- 2-Jahrescheck für SOL Gleitschirme
- Packservice für Rettungsgeräte

DELTA FLY
by Hans Madreiter
Max-Planck-Str. 15 • 72639 Neuffen
+ 49 7025 8708037
deltafly@t-online.de
www.deltafly.de

FLY Tirol
FLUGSCHULE WESTENDORF

Flugschule Westendorf
Mehr als 25 Jahre Erfahrung!
Schulung in kleinen Gruppen (max. 8 Teilnehmer)
Flexibilität ist unsere Stärke!

Bergliftstr. 22, A-6363 Westendorf
mobil: +43 676 847617100
www.para.at