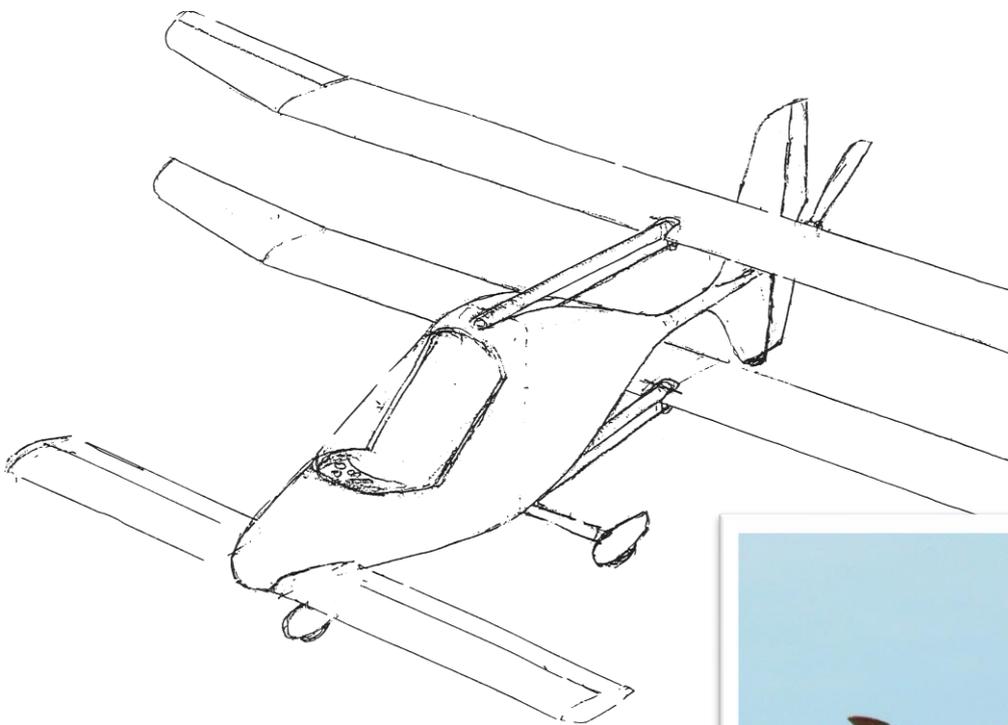


Flugzeug mit Hubflügelantrieb

- Entwicklung eines hocheffizienten Antriebskonzepts für die Luftfahrt



Karl-Heinz Helling

Hans Langenhagen, Prof. Heino Iwe, Thomas Brenner

- Modellflugclub Rossendorf e.V. -

Die technisch saubere Umsetzung des Prinzips des Vogelfluges ist eine der letzten offenen aviatischen Disziplinen von potentiell großer praktischer Bedeutung. Durch einen im Vergleich zu konventionellen propellergetriebenen Fluggeräten höheren Antriebswirkungsgrad sinken Lärm- als auch Schadstoffemissionen signifikant und stellen somit in Umgebungen, wo dies von besonderer Bedeutung ist, potentiell eine vielversprechende Alternative dar.

Bisherige Versuche (u. a. SmartBird / Festo, Snowbird / Universität von Toronto) scheiterten nach Auffassung der Autoren daran, dass versucht wurde, das Vogelflugprinzip „1-zu-1“ nachzuahmen – tordierbare Flügel schlagen um ein Schultergelenk auf und ab. Dies ist konstruktiv schwierig umzusetzen. Die Flügel müssen - unter Beibehaltung ihrer aerodynamischen Güte - in sich tordierbar ausgelegt werden, um ihren Anstellwinkel entsprechend der Schlagphase einstellen zu können. Dies gelingt, wie die Praxis zeigt, nur schwerlich. Darüber hinaus geht prinzipbedingt die elliptische Auftriebsverteilung verloren. Das Auftriebsmaximum verlagert sich zu den Flügelspitzen hin, was einen entsprechend größeren induzierten Widerstand zur Folge hat. Offensichtlich ist es bis zum gegenwärtigen Tage nicht gelungen, die dem Prinzip des Vogelfluges innewohnende Eleganz und Sparsamkeit technisch angemessen umzusetzen – den Autoren sind keine derartigen am Markt erhältlichen Fluggeräte egal welcher Größe bekannt.

Bei dem hier vorzustellenden Ansatz werden zwei gegenphasig schlagende starre Flügel auf- und abbewegt und währenddessen ihr Anstellwinkel variiert. Der Erfinder nennt dieses Konzept Hubflügel. Als Vorteile sind zu sehen, dass die elliptische Auftriebsverteilung stets erhalten bleibt, sich die Anstellwinkel der Flügel optimal entsprechend der jeweiligen Schlagphase einstellen lassen, kein konstruktiv aufwendiges und die aerodynamische Güte der Tragflächen beeinträchtigendes Tordieren selbiger notwendig ist und, dass es durch die gegenphasig schlagenden Flügel zu einer Kompensation aller „störenden“ Momente und nahezu konstantem Auftrieb kommt. Ein „Tanzen“ des Rumpfes, wie es auch bei Vögeln zu beobachten ist, tritt nicht auf. Das Prinzip des Hubflügels stellt eine Weltneuheit dar und besitzt Pioniercharakter!

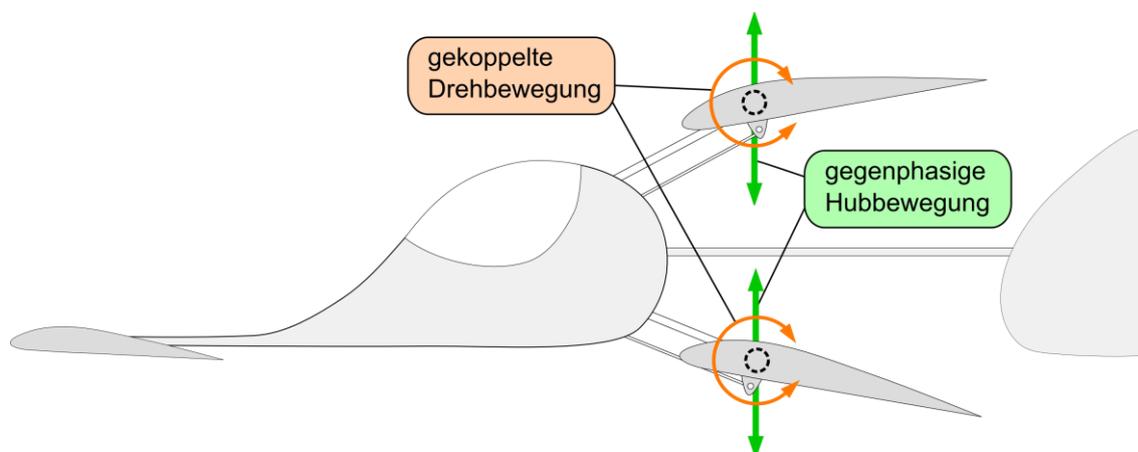


Abb. 2.1: Prinzipzeichnung des Doppelhubflügels nach Helling

Der Erfinder – Karl-Heinz Helling – ist pensionierter Diplom-Ingenieur für Flugzeuggerätebau und arbeitet bereits seit mehr als 20 Jahren an der Umsetzung seiner Idee. Im Verlaufe der Jahre ist dabei eine Vielzahl, zum Teil flugfähiger, Modelle entstanden. Das hier vorzustellende Prinzip des Doppelhubflügels wurde dabei erstmals 2008 beim HE209 – einem ca. 2 m Spannweite messenden Flugmodell – konstruktiv umgesetzt und erprobt. Der generelle Nachweis der Realisierbarkeit als auch der messtechnische Nachweis der beachtlichen und unerreichten Effizienz dieses Prinzips wurden mit diesem Modell erbracht. Gegenwärtig befindet sich ein Ultraleichtflugzeug der 120-kg-Klasse im Bau, welches einen Fertigungsgrad von ca. 80% erreicht hat und im Verlaufe dieses Jahres zum seinem – ferngesteuerten - Jungfernflug starten soll. Eine Zulassung als UL ist zunächst aus Kostengründen nicht geplant.

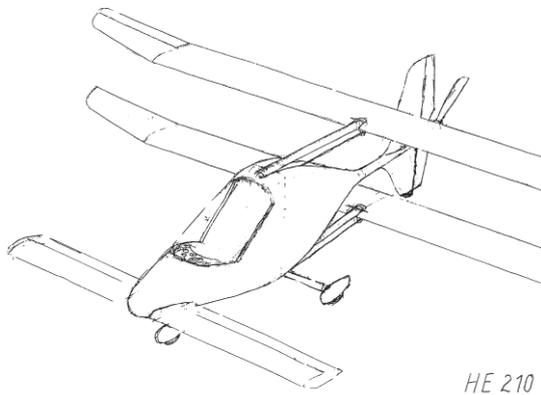


Abb. 2.1: Skizze des sich im Bau befindlichen Doppelhubflügel-ULs HE210



Abb. 2.2: Der Erfinder inmitten einer Auswahl seiner Hubflügelmodelle (vhnv: HE105, HE209, HE108)

Das Ziel des Erfinders ist die Vollendung dieses Projekts verbunden mit der damit möglichen Demonstration des Prinzips des Hubflügels „im Großen“. Auch eine anschließende Umsetzung des Konzepts als zugelassenes mantragendes UL durch ein auf Fluggeräte dieser Größe spezialisiertes Unternehmen würde er sehr gerne sehen. Darüber hinaus bietet sich seine Nutzung natürlich in jedem Bereich an, in welchem effiziente Energienutzung und möglichst lautloses Fliegen im unteren Geschwindigkeitsbereich angestrebt werden. Nach Meinung der Autoren besitzt das Antriebskonzept des Hubflügels durchaus das Potential, den Kurzstreckenflug in der zivilen Luftfahrt zu revolutionieren. Auch für den elektrischen Antrieb, welchen man in naher Zukunft sicherlich bestrebt sein wird, auch in der Zivilluftfahrt vermehrt einzusetzen, ist diese Art des Antriebs prädestiniert. Aber auch der Einsatz in kleineren, autonomen Fluggeräten, welche mit hoher Wahrscheinlichkeit bald den zivilen Luftraum „erobern“ werden, scheint sinnvoll.

Den Flug des Vogels nachzuahmen ist seit jeher ein Traum der Menschen. Bereits in der griechischen Antike finden sich Verweise darauf (Dädalus, Ikarus). Die ersten derartigen dokumentierten Versuche der Neuzeit unternahm Leonardo da Vinci Ende des 15. Jahrhunderts. Obwohl seine Flugmaschinen höchstwahrscheinlich niemals abheben, hatte er – allein durch Beobachtung des Vogelfluges – seine zu Grunde liegenden Prinzipien verblüffend gut verstanden und dokumentierte sie in seinem „Codex Turin“. Nachdem in den folgenden Jahrhunderten die Gelehrten erfolglos versuchten, daran anzuknüpfen, gelang es erst Otto Lilienthal Ende des 19. Jahrhunderts als erstem Mensch mit einem Fluggerät, welches schwerer als Luft war, zu fliegen. Dem vorausgegangen war ebenfalls ein äußerst gründliches und fruchtbares Studium des Vogelflugs. Als erster hatte Lilienthal erkannt, dass gewölbte Flächen, so wie man sie auch bei Vögeln vorfindet, solchen mit ebener Kontur vorzuziehen sind. Ebenso erkannte er, dass Vögel ihre Flügel beim Schlagen in sich verdrehen, um neben Auftrieb auch Vortrieb zu erzeugen. Diese Erkenntnisse flossen unter anderem in die Konstruktion seiner beiden Schlagflügelapparate (kleiner und großer Schlagflügelapparat) ein.



Abb. 3.1: Otto Lilienthal mit seinem kleinen Schlagflügelapparat

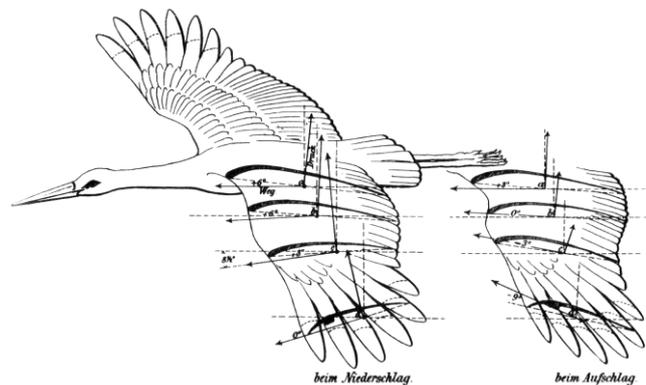


Abb. 3.2: Zeichnung Lilienthals zur Illustration des Fluges der Störche

Erste erfolgreiche Versuche manntragender „Schwingflügler“ – angetrieben per Muskelkraft oder Motor – unternahm Lippisch (1929) und Schmid (1942). FEM-Simulationen am schlagenden Flügel unternahm Neef und postulierte einen maximalen theoretischen Wirkungsgrad von über 90 %.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind wohl zwei Projekte zu nennen, die – auf verschiedenen Gebieten – als Stand der Technik anzusehen sind.

2010 gelang es einem Team von der Universität Toronto, mit einem muskelkraftbetriebenen Schlagflügel (*Snowbird*) über eine Strecke von 145m schlagflügelangetrieben zu fliegen. Die FAI erkannte diesen Flug als „*first flight of a human-powered ornithopter*“ an.

Auf dem Gebiet des unbemannten Fluges konnte die Firma Festo auf der Hannovermesse 2011 mit der Vorstellung des *Smartbirds* beeindrucken. Als ein der Silbermöwe nachempfunderer Ornithopter mit knapp 2 m Spannweite und einem Gewicht von 450 g erzeugt dieser genug Vor- und Auftrieb zum „dauerhaften“ Flug und ist eigenstartfähig.

Diese Projekte sind ohne Frage beeindruckend – insbesondere was den Leichtbau angeht. Dennoch schöpfen beide, nach Meinung der Autoren, das dem Vogelflug innewohnende Potential nicht aus. Ebenso wenig scheinen sie den Propellerantrieb in seiner Effizienz zu übertreffen und stellen somit keine ernstzunehmende Alternative zu diesem dar.



Abb. 3.3: Snowbird der Universität von Toronto



Abb. 3.4: Smartbird von Festo

Im Falle des *Snowbird* ist dies offensichtlich: 1988 legte der *Daedalus* (ein muskelkraftbetriebener Einsitzer des MIT) propellergetrieben eine Strecke von 115 km zurück. Der *Snowbird* hingegen – mit ähnlichen Eigenschaften hinsichtlich Spannweite, Gewicht und „Motorisierung“ – schaffte lediglich eine Strecke von 145 m. Auch der *Smartbird* ist noch nicht über das Stadium eines Versuchsträgers hinaus gediehen.

Es bleibt also genug Raum zur weiteren fruchtbaren Auseinandersetzung mit dem Thema Schlagflug. Die Idee des Hubflügels soll einen Beitrag dazu leisten – getreu der Aufforderung Lilienthals: „Der Geschicklichkeit der Konstrukteure bleibt es nun überlassen, den im Streben nach Wahrheit gefundenen Fliegeprinzipien durch die Erfindung anwendbarer Flügelbauarten mit vorteilhaften Bewegungsmechanismen einen praktischen Wert zu verleihen.“

Die Autoren sehen die zentrale Innovation des Hubflügels darin, dass mit ihm eine technisch sinnvolle Umsetzung des Vogelfluges möglich ist. Bisherige Umsetzungen (siehe *Ausgangssituation*) – sei es in Form eines Modells (-> *SmartBird / Festo*) oder eines manntragenden Demonstrators (-> *Ornithopter Project / University of Toronto*) – sind nicht über das Versuchsstadium hinaus gediehen – nach Einschätzung der Autoren deswegen, weil bei allen ihnen bekannten Projekten versucht wurde, das Vogelflugprinzip möglichst „originalgetreu“ technisch zu adaptieren, was aufgrund existierender konstruktiver Einschränkungen sowie besonderer Erfordernisse beim bemannten Flug generell wenig erfolgversprechend scheint.

Im Gegensatz dazu werden beim Hubflügel entsprechend dem hier vorzustellenden Prinzip zwei wesentliche Neuerungen eingeführt. Zum einen schlägt der vor als auch auftriebserzeugende starre Flügel im Gesamten auf und nieder, wodurch seine elliptische Auftriebsverteilung erhalten bleibt. Darüber hinaus werden zwei solcher Flügel gegenphasig schlagend kombiniert. Dies hat den enormen Vorteil, dass der Auftrieb über die gesamte Schlagphase, anders als bei lediglich einem Flügel, nahezu konstant ist und sich die Momente im Wesentlichen aufheben. Mithilfe eines eigens erstellten Simulationsprogramms () wurde dieser Zusammenhang auch theoretisch nachgewiesen.

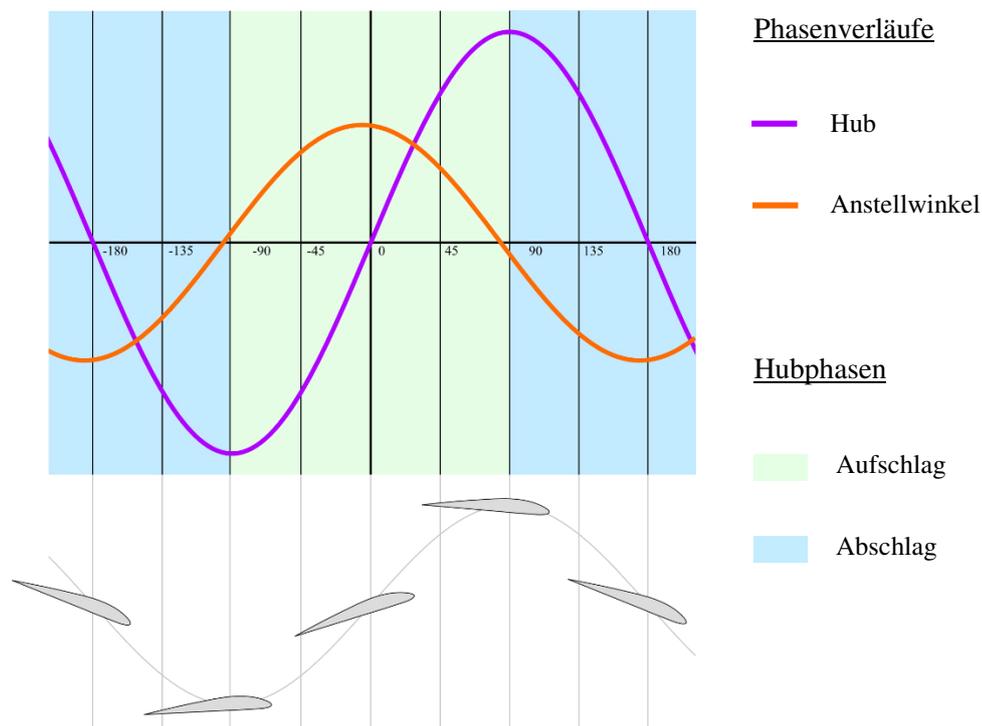


Abb. 4. 1: Phasenverlauf des Hubs und zugehöriger Anstellwinkel der Tragfläche, die beiden verschiedenen Hubphasen sind farblich gekennzeichnet. Im unteren Teil sind entsprechend Position und Anstellwinkel der Tragfläche dargestellt.

Abbildung 4.1 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Hub (Vertikalposition) der Tragfläche und ihrem Anstellwinkel. Damit Vor- und Auftrieb erzeugt werden, muss der Anstellwinkel dem Hub vorauslaufen – die Tragfläche schlägt mit stark positivem Anstellwinkel auf und mit negativem ab.

Abbildung 4.2 zeigt eine Gegenüberstellung des Verlaufs von Auftrieb und Vortrieb über der Hubphase. In der linken Abbildung schlägt ein Flügel. Es ist zu erkennen, dass sowohl Auftrieb als auch Vortrieb oszillieren. Der Auftrieb verläuft nahezu sinusförmig, im Minimum ist er leicht negativ. Der Vortrieb zeigt einen komplexeren Verlauf weist aber ebenso ein deutliches Maximum auf. Ein Fliegen wäre so möglich, denn Auftrieb und Vortrieb sind im Durchschnitt positiv.

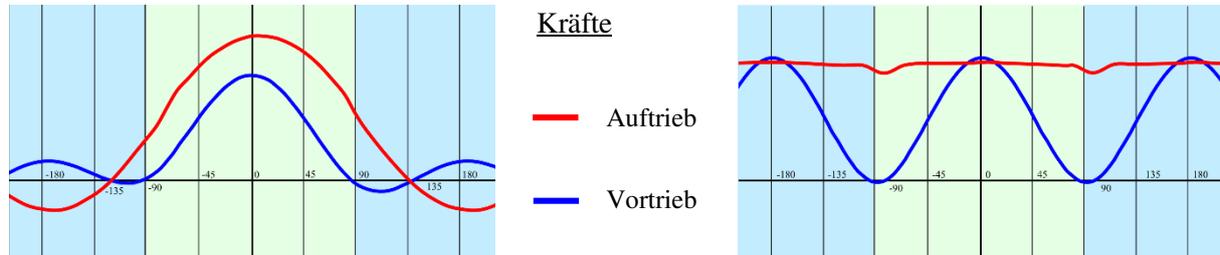
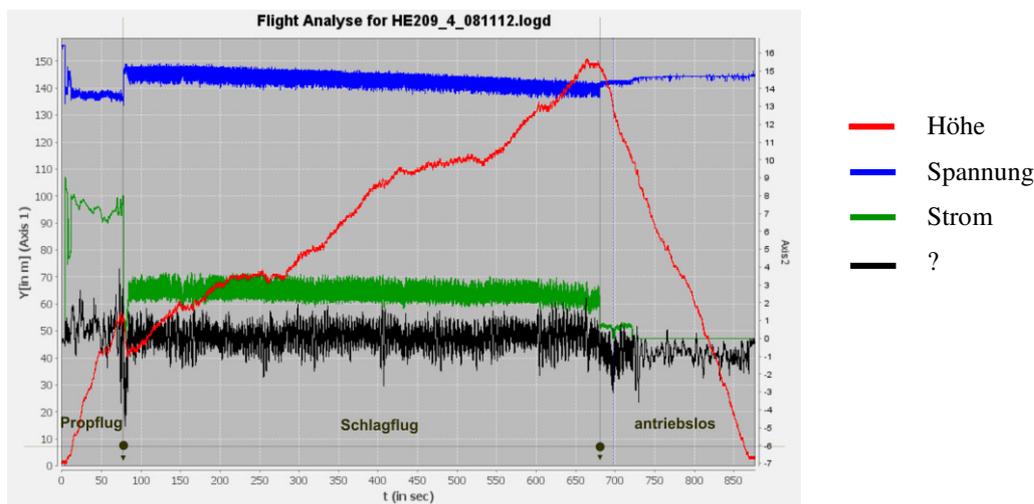


Abb. 4. 2: Verlauf von Auftrieb (rot) und Vortrieb (blau) über der Hubphase. Bei der linken Abbildung schlägt ein Flügel, bei der rechten zwei im Gegentakt.

Durch das Oszillieren des Auftriebs käme es jedoch zu einem „Tanzen“ des Rumpfes, wie es auch bei Vögeln beobachtet werden kann. Die rechte Abbildung zeigt den Verlauf der Kräfte, wenn 2 Flügel im Gegentakt schlagen. Der Auftrieb bleibt dabei nahezu konstant, lediglich der Vortrieb oszilliert mit doppelter Schlagfrequenz.

Die Effizienz dieses Konzepts wurde am Modell HE209 messtechnisch ermittelt. Dazu wurden die relevanten Parameter per Datenlogger erfasst und im Anschluss der Wirkungsgrad berechnet.



Um die Effizienz von propeller- und hubflügelgetriebenem Flug vergleichen zu können, wurden während eines Messfluges beide Antriebsarten hintereinander verwendet (die Phasen sind im Diagramm entsprechend gekennzeichnet).

Folgende Werte wurden dabei ermittelt:

Antrieb	Propeller	Hubflügel
Steigrate	0.73 m/s	0.44 m/s
Wellenleistung	82 W	23 W
aerodynam. Wirkungsgrad	0,33	0,89

Die Auswertung dieser Daten ergibt beim Propeller einen Wirkungsgrad von mindestens 33 %, beim Hubflügel von mindestens 89 %. Die absolute Effektivität des Hubflügels als auch die relativ bessere im Vergleich zum Propeller ist damit belegt.

Auch die Effizienz gegenüber dem „konventionellen“ Schlagflug wird einem Vergleich mit dem *Smartbird* von Festo – der derzeit wohl fortschrittlichsten Realisierung dieses Konzepts – sichtbar. Der *Smartbird* benötigt laut Herstellerangabe bei einem Gewicht von 450g zum Flug (mit minimaler Steigung) eine Leistung von „rund 25 Watt“. Hochgerechnet ergibt sich eine Antriebsleistung von ca. 60W/kg. Das Doppelhubflügelmodell *HE209* hingegen benötigt lediglich 17W/kg zum horizontalen Flug.

Im Verlauf der letzten 25 Jahre entstanden 5 Modelle verschiedener Konfiguration, in deren Konstruktion die jeweils neuesten gewonnenen Erkenntnisse einfließen. Das Prinzip des „Schlagflügelflugzeugs“ ließ sich der Erfinder – Karl Heinz Helling – 1990 patentieren.

Im Folgenden eine Übersicht:

HE101 (1988)	
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ erster Erprobungsträger ▶ ein umgebautes Servo diente als Antrieb, ein Kraftspeicher wurde mittels zweier Spiralfedern realisiert ▶ erster erfolgreicher, per Video dokumentierter, hubflügelgetriebener Flug
Patentschrift „Schlagflügelflugzeugs“ (1990)	
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 1989 zum Patent eingereicht ▶ Beschreibung eines manntragenden, muskelkraftbetriebenen Schlagflüglers sowie dessen Antriebskinematik
HE202	
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Entenmodell mit 2 Schlagflügeln ▶ gegenphasige Bewegung um einen gemeinsamen Lenker ▶ im Rohbau fertiggestellt
HE105	
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ gleiches Prinzip wie bei HE101 ▶ stärkere Motorisierung, Gummizüge als Kraftspeicher

HE108	
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ kleinere und leichtere Ausführung des HE105 (Flächenbelastung $30\text{g}/\text{dm}^2$ anstatt $50\text{g}/\text{dm}^2$) ▶ erstmals Versuch der Realisierung einer Konstantauftriebsregelung ▶ aufgrund unbefriedigender Ergebnisse Motivation für Doppelhubflügel HE209
HE209	
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ erstes Modell, bei dem der als vorteilhaft erkannte Doppelhubflügel zum Einsatz kommt ▶ 2 gegenphasig schlagende Flügel sorgen für einen nahezu konstanten Auftrieb (kein „Tanzen“) und Ausgleich der an den Flügeln wirkenden Momente und Kräfte ▶ viele erfolgreiche per Video dokumentierte Flüge ▶ Versuchsträger zur Optimierung der Hubdynamik ▶ On-board-Messungen zum Vergleich der Effizienz des Hubflügelantriebs mit der des propellerbetriebenen Flugs ▶ gewonnene Erkenntnisse dienen als Konstruktionsgrundlage des HE210

Die Modelle HE101, HE202, HE105 und HE108 befinden sich **seit xxxx** im Lilienthal-Museum in Anklam.



Abb. 5.1: HE108 im Lilienthal-Museum Anklam



Nach dem Kenntnisstand der Autoren handelt es sich bei dem vorgestellten Hubflügel um eine Weltneuheit. Allen bisherigen Versuchen der technischen Adaption des Vogelflugs – von Lilienthals Schlagflügelapparat über die Versuche von Lippisch und Schmid in den 30er/40er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts bis zu den Umsetzungen der Gegenwart (*Snowbird*, *SmartBird*) – ist das Bestreben gemein, das Prinzip des Vogelflugs „1-zu-1“ umzusetzen. Stets wurden die Flügel um ein Schultergelenk auf- und abgeschlagen und in sich tordiert, um neben dem Auftrieb auch Vortrieb zu generieren. Wie bereits dargelegt, haften diesem Prinzip einige Nachteile an. Nicht zuletzt deswegen hat wohl keines dieser Fluggeräte das Versuchsstadium verlassen.

Die Idee des Erfinders, diese Nachteile zu kompensieren, indem der Flügel im Gesamten auf- und abbewegt wird, wurde in dieser Art noch nicht dokumentiert oder umgesetzt. Insofern stellt sie einen grundsätzlichen technischen Wandel dar, dem das Potential innewohnt, die Effizienz und Eleganz des Vogelfluges auch dem Menschen nutzbar zu machen.

Das Funktionieren des Prinzips des Hubflügels als auch seine Effizienz wurden am Modell HE209 nachgewiesen. Im Moment baut der Erfinder nach diesem Vorbild ein mannttragendes Ultraleichtflugzeug der 120kg-Klasse. Es hat derzeit einen Fertigungsgrad von ca. 80 % erreicht, der (ferngesteuerte) Erstflug ist für dieses Jahr vorgesehen. Eine Luftfahrtzulassung ist vorerst aufgrund der damit verbundenen hohen Kosten nicht geplant.

Das sich im Bau befindliche Flugzeug HE210 ist, ebenso wie das Modell HE209, in Entenkonfiguration ausgelegt. Die Spannweite der beiden Hubflügel sowie des Entenflügels beträgt 7,5 m. Zur Erleichterung des Starts verfügt es über einen elektrisch angetriebenen Schubpropeller, nach dem Start sorgt der Doppelhubflügel für den alleinigen Vortrieb. Den Leistungsbedarf für den Reiseflug schätzt der Erfinder mit ca. 5 KW ein, was etwa die Hälfte des sonst in dieser Klasse üblichen ist.

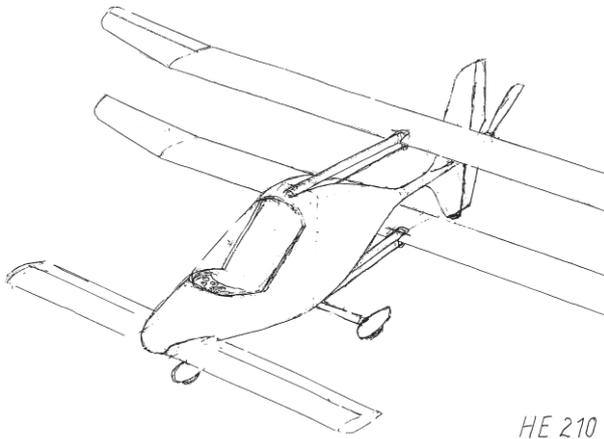


Abb. 7.1: Skizze des HE210



Abb. 7.2: Hubflügel und Entenleitwerk im Rohbau



Abb. 7.3: Detailansicht einer Tragfläche



Abb. 7.4: Belastungstest der Tragfläche



Abb. 7.5: Gitterrohrrahmen des Rumpfes mit montiertem Entenflügel



Abb. 7.5: Detailansicht einer Nietverbindung des Gitterrohrrahmens

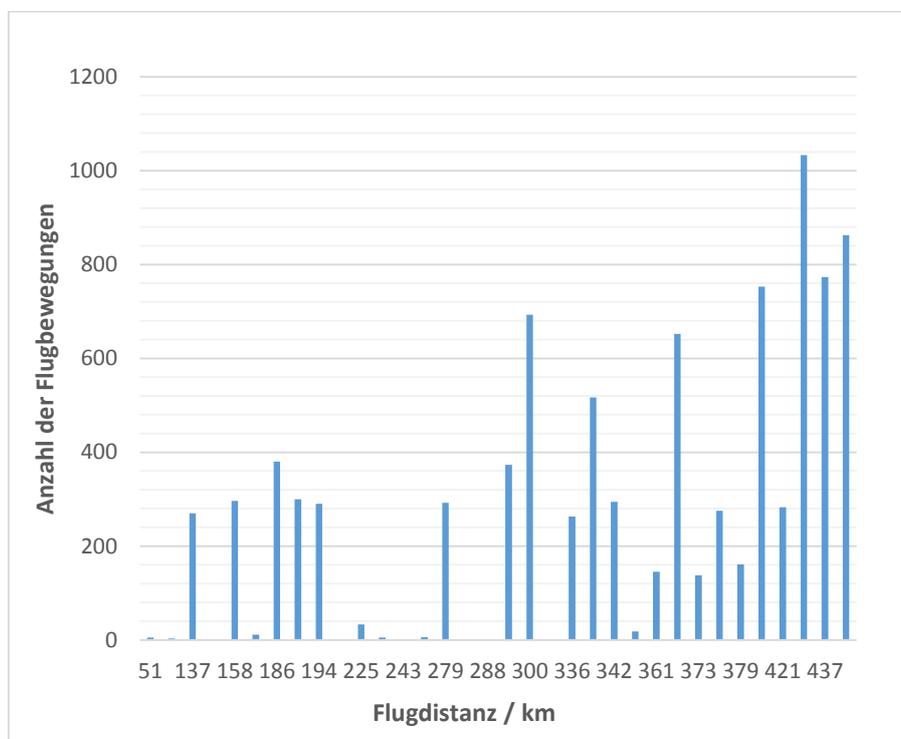
Der Erfinder unternahm bereits den Versuch, ein Unternehmen der Luftfahrtbranche für die Realisierung des Doppelhubflügels als luftfahrtzugelassenes und kommerziell vertriebenes UL zu begeistern. Ein Unternehmen – Hoffmann Aircraft (heute Diamond Aircraft), Wiener Neustadt – zeigte großes Interesse. Die Unklarheiten über Marktpotential und Zulassungsvorschriften standen einem Engagement jedoch im Wege, dennoch bestärkte die positive Resonanz den Erfinder in der Hoffnung, dass eines Tages ein Unternehmen das Risiko wagen möge.

Das Potential des Hubflügels in der Zivilluftfahrt als auch auf dem Gebiet der UAVs scheint den Autoren zwar spekulativer, jedoch womöglich wesentlich bedeutsamer (näheres dazu siehe Punkt 8/9).

Der Entwurf und Bau eines Passagierflugzeugs unter Verwendung des Hubflügels ist natürlich jenseits der Möglichkeiten des Erfinders. Auch ist es den Autoren nicht möglich einzuschätzen, ob dies im Sinne von Flugzeugbauern und Airlines wäre. Dennoch sei im Folgenden ein kleines Gedankenexperiment erlaubt, welches vielleicht geeignet sein mag, das enorme Potential des Hubflügels in der Zivilluftfahrt zu demonstrieren.

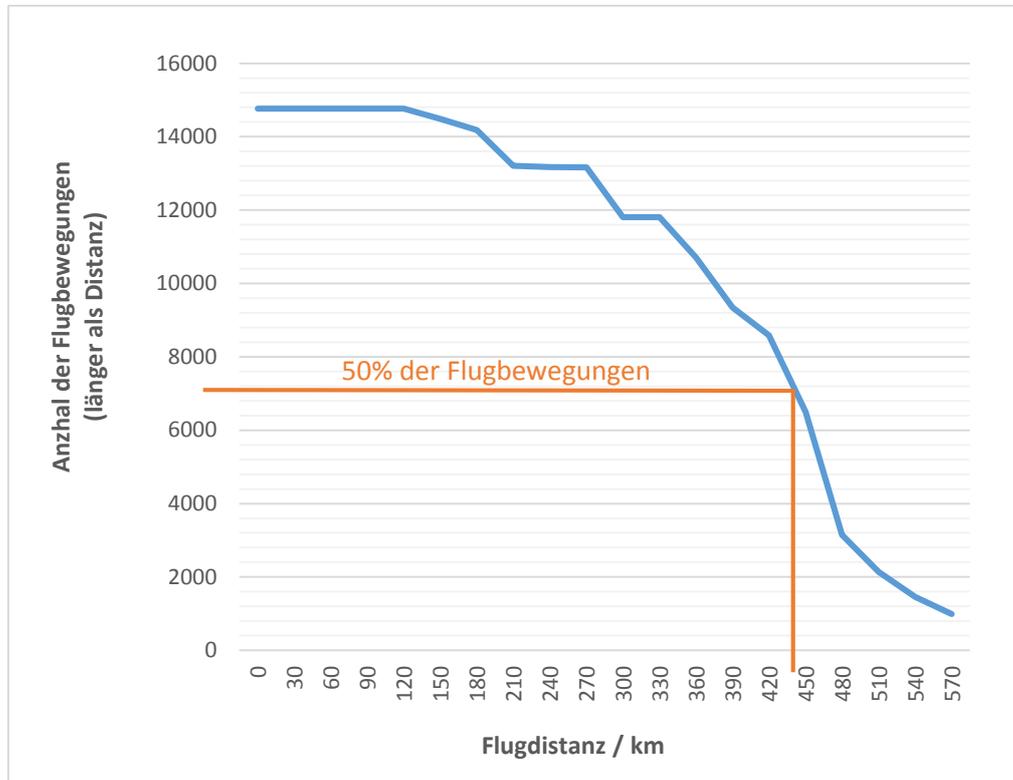
Ohne Zweifel stellen Lärmemissionen – gerade in der Start- und Landephase im Umfeld von Flughäfen – als auch der recht hohe Energiebedarf und damit teure Betrieb gegenwärtiger, meist turbinen- oder turbopropbetriebener, Passagierflugzeuge ein Problem dar. Der hubflügelbetriebene Flug würde aufgrund seiner Effizienz in beiden Fällen Abhilfe schaffen. Natürlich wird ein hubflügelbetriebenes Flugzeug konstruktionsbedingt nie in den hohen Geschwindigkeitsbereich heutiger Passagierflugzeuge vordringen. Nach Einschätzung des Erfinders ist mit einer Maximalgeschwindigkeit von 300 km/h zu rechnen, da sich die Frequenz des Flügelschlags nicht beliebig steigern lässt. Die Flugzeit würde sich also entsprechend verlängern. Die Autoren können sich jedoch vorstellen, dass bis zu einer gewissen Flugdistanz die Vorteile der Lärminderung und Energieersparnis (und damit Kostenreduktion) in einem vernünftigen Verhältnis zur Verlängerung der Flugdauer stehen. Es sei die These aufgestellt, dass sich ein Teil des innerdeutschen Luftverkehrs sinnvoll auf diese Art und Weise umstellen ließe.

Dazu fand eine Auswertung der Flugbewegungen im deutschen Luftraum mit Start- als auch Zielflughafen in Deutschland statt (basierend auf der „DLR-Monatsauswertung der deutschen Luftverkehrsstatistik“ vom Februar 2013).



Das obige Diagramm zeigt die Anzahl der Flugbewegungen über der Entfernung zwischen den 10 verkehrsreichsten (bezogen auf den Binnenverkehr) Flughäfen Deutschlands.

Für unsere Zwecke aussagekräftiger wird das Diagramm, wenn man die Anzahl der Flugbewegungen, die eine bestimmte Distanz überschreiten, aufsummiert und auf die maximale Distanz normiert darstellt.



Es ist zu erkennen, dass 50 % der Flugbewegungen auf Distanzen kleiner als 450 km entfallen. Würde auf diesen Strecken ein hubflügelgetriebenes Flugzeug zum Einsatz kommen, so wäre der Mehraufwand an Zeit wohl tolerierbar – zumal auch ein düsengetriebenes Flugzeug auf solch kurzen Strecken aufgrund seiner verhältnismäßig langen Steigphase im Durchschnitt nicht annähernd seine Reisegeschwindigkeit von 800 km/h erreicht.

Im Moment ist den Autoren noch keine gesicherte Aussage darüber möglich, ob ein hubflügelbetriebenes Passagierflugzeug auf solchen Strecken tatsächlich effizienter wäre. Unabhängig davon wäre der Gewinn seines Einsatzes, insbesondere in Bezug auf die Lärmreduktion während der Start- und Landephase, sicherlich beträchtlich!



Dem Erfinder geht es in erster Linie darum, die technische Machbarkeit und unübertreffliche Effizienz des Prinzips des Hubflügels zu demonstrieren. Erste Messungen dazu sind, wie bereits erwähnt, anhand des Modells HE209 erfolgt und sehen sehr vielversprechend aus. Wie ebenfalls schon beschrieben, befindet sich ein manntragender Demonstrator der 120kg-UL-Klasse im Bau. Für alles Weitere sind Personen und Firmen gefragt, die über die entsprechenden Mittel und das Know-how verfügen, dieses Prinzip entsprechend aktuell gültigen luftfahrttechnischen Standards umzusetzen – in jeglich erdenklicher Form.

Unmittelbar schwebt dem Erfinder die Umsetzung als luftfahrtzugelassenes UL vor. Auch wenn sich dafür sicherlich Käufer finden würden – sei es aus technischem Interesse und der Begeisterung für diese Art des Fliegens, der Wertschätzung der weitest gehenden Geräuschlosigkeit oder schlicht dem ressourcenschonenderen Betrieb – so ist der potentielle Markt sicherlich von überschaubarer Größe. Nicht zuletzt aufgrund der anfänglichen Skepsis, die einem solchen Fluggerät sicherlich entgegengebracht werden würde.

Der potentielle Nutzen eines hubflügelbetriebenen Passierflugzeugs in der Zivilluftfahrt wurde bereits dargelegt.

Sehr vielversprechend erscheint den Autoren auch der Einsatz der Technik in UAVs, welche eine immer größere Verbreitung finden. Momentan beschränkt sich deren Nutzung im zivilen Bereich auf ferngelenktes Fliegen (zumeist in Sichtweite des Piloten) bzw. teilautonomen Flug. Fragen der Flugdauer und somit der Effizienz des Antriebs stehen bei den entsprechenden Anwendungsszenarien (z. B. Luftbildfotografie) noch nicht im Vordergrund. Es ist jedoch damit zu rechnen, dass sich dies im Zuge der allgemeinen Fortentwicklung der Luftfahrt und Anpassung der Gesetzgebung ändern wird. Pläne verschiedener namhafter Versandunternehmen gingen in den letzten Wochen durch die Presse, wonach das Zustellen von Sendungen mittels UAVs erprobt wird. Parallel beginnen die dafür zuständigen Gremien mit der Ausarbeitung von Standards und Vorschriften, die künftig eine möglichst gefahrlose Integration dieser in den zivilen Luftraum erlauben sollen. Spätestens also, wenn autonom fliegende Flugzeuge den zivilen Luftraum „erobern“ werden, und sich somit die Frage nach Effizienz und Geräuschlosigkeit in diesem Gebiet stellen wird, sehen die Autoren enormes Potential ihres Ansatzes.