



# Solarenergie in der Luftfahrt

Alex Hönger  
Weissensteinweg 11  
4852 Rothrist

3a Bezirksschule  
Mentor: H. Iseli  
13.6.2008

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Die Geschichte des Solarfluges</b>	<b>3</b>
2.1	Die Erfindung der Solarzelle	3
2.2	Sunrise I / II	3
2.3	Solaris	4
2.4	Gossamer Penguin / Solar Challenger	4
2.5	Pathfinder	5
2.6	Icaré II	6
2.7	Helios	6
<b>3.</b>	<b>Der Stand des Solarfluges heute</b>	<b>8</b>
3.1	Bertrand Piccard	8
3.2	Der Zweck dieses Riesenprojektes	8
3.3	Von der ersten Konstruktion zum Prototyp	9
3.4	Der Bau des endgültigen Flugzeuges	10
<b>4.</b>	<b>Der Bau eines Solarflugzeuges</b>	<b>11</b>
4.1	Die Planung	11
4.2	Die Wahl der Komponenten	12
4.3	Die Konstruktion des Solarfliegers	12
4.4	Der Bau des Solarfliegers	14
4.5	Das Einfliegen	15
<b>5.</b>	<b>Die Zukunft des Solarfluges</b>	<b>16</b>
<b>6.</b>	<b>Schlusswort</b>	<b>18</b>
<b>7.</b>	<b>Quellen- und Literaturverzeichnis</b>	<b>19</b>
<b>8.</b>	<b>Anhang</b>	<b>20</b>
8.1	Excel Datei: Leistungsbedarf und Gewichtsrechnung	20
8.2	Webseite des Autors	21

## 1. Einleitung

Da ich von der Luftfahrt sehr begeistert bin, war es für mich klar, dass meine Projektarbeit in diese Richtung gehen sollte. Lange habe ich nach einem Thema gesucht, das mit dem Gebiet der Luftfahrt zusammenhängt.

In meiner Freizeit habe ich schon einige Modellflugzeuge entworfen und gebaut. Diese werden jedoch alle von einem Akku angetrieben. Schon seit einiger Zeit hatte ich die Absicht, ein rein solar betriebenes Modellflugzeug zu bauen und so beschloss ich, mich mit genau diesem Thema in der Projektarbeit auseinander zu setzen.

In dieser Arbeit will ich beschreiben, welche Schwierigkeit der Bau eines Solarflugzeuges darstellt. Weiter werde ich über die Geschichte des Solarfluges berichten um dann den momentanen Stand des Solarfluges aufzuzeigen.

Schliesslich werde ich versuchen herauszufinden, welche Rolle die Solarenergie in der Zukunft haben wird. Hier nochmals die vier Fragestellungen im Überblick:

- Wie sieht die Geschichte des Solarfluges aus?
- Auf welchem Stand ist man Heute mit der Solarluftfahrt?
- Was muss man beim Bau eines Solarflugmodelles beachten?
- Wie sieht die Zukunft der Solarenergie in der Luftfahrt aus?

Schon früh habe ich mich über dieses Thema informiert. Ich musste wissen, ob genug Material zur Verfügung steht und vor allem, ob es überhaupt machbar ist ein solches Modellflugzeug erfolgreich zu bauen.

Mein Ziel in dieser Arbeit ist es, dem Leser eine neue, noch weitgehend unbekanntes Sparte der Aviatik näher zu bringen.



*Es war schon immer der Traum, kerosinbetriebene Transportflugzeuge neu mit der Energie der Sonne zu betreiben. Aber bis es soweit ist, wird es noch lange dauern.*

## 2. Die Geschichte des Solarfliegens

### 2.1 Die Erfindung der Solarzelle

Die Solarzelle wurde 1954 in Amerika erfunden. Diese ersten Solarzellen hatten erst einen Wirkungsgrad von weniger als 6 %. (Der Wirkungsgrad ist der Prozentsatz der Sonnenenergie, welche die Solarzelle in elektrische Energie umwandeln kann). Zudem waren die Zellen sehr teuer. Das Watt Solarleistung kostete etwa 1000 Dollar. Heute zahlt man pro Watt noch etwa 10 Dollar.

Schon 1958 wurde der erste Satellit mit Solarzellen ausgerüstet, die bereits einen Wirkungsgrad von 10.5% hatten. Zum Vergleich: Heute haben Solarzellen einen Wirkungsgrad von etwa 20 %.

Solarzellen werden in drei Hauptgruppen unterteilt. Solarzellen aus monokristallinem, polykristallinem und amorphem Silizium. Näher will ich auf diese Typen hier jedoch nicht eingehen.



Monokristalline Solarzelle

### 2.2 Sunrise I / II

Am 4. November 1974 fand der erste Solarflug der Welt in Kalifornien statt. Sunrise I war ein unbemanntes Solarflugzeug der Firma Astro Flight mit fast 10 Metern Spannweite und einem Gewicht von 12 Kilogramm.

Der Solargenerator hatte eine maximale Leistung von 450 Watt. Bei einem Sturm wurde dieses Modell beschädigt und die Firma Astro Flight bekam einen neuen Auftrag für das Modell Sunrise II.



Sunrise I vor dem Start

Es wurde mit 4'480 Solarzellen bestückt, welche zusammen eine maximale Leistung von 570 Watt erbrachten. Diese Zellen hatten einen Wirkungsgrad von 15.9% und kosteten 46'000 Dollar.

Trotz der verbesserten Leistung konnte das Gewicht gegenüber der ersten Version um zwei Kilogramm reduziert werden auf 10 Kilogramm. Sunrise II hatte eine Steigrate von über 90 Metern in der Minute.

### 2.3 Solaris

Zwei Jahre nach der Sunrise I, am 16. August 1976, konnte der Deutsche Fred Militky beweisen, dass es auch kleiner geht.

Er musste sein Solarmodell, die Solaris, ohne irgendwelche Geldunterstützung entwickeln. So baute er ein kleines Modell mit nur zwei Metern Spannweite und gerade einmal 605 Gramm Gewicht. Damit reichte auch eine Solarzellenleistung von nur 10 Watt.



*Solaris im Flug*

Dieses Modell konnte ungefähr 2½ Stunden lang in der Luft bleiben und Steigflüge bis in 50 Meter Höhe unternehmen.

### 2.4 Gossamer Penguin / Solar Challenger

Erst fünf Jahre waren vergangen seit dem ersten Solarflugmodell und schon hob das erste bemannte Solarflugzeug in den USA im Jahre 1979 ab.

Der Gossamer Albatross, welcher nur mit Muskelkraft betrieben war, wurde weiterentwickelt zum Gossamer Penguin.



*Gossamer Penguin*

Der Gossamer Penguin wurde statt mit Muskelkraft mit einem Solarpaneel ausgerüstet. Das Modell konnte jedoch nur in Bodennähe fliegen und war schwer zu steuern. Damit war man noch nicht zufrieden. Eine Weiterentwicklung war schon in Planung; der Solar Challenger, welcher 1980 seinen Erstflug hatte. Mit dieser Weiterentwicklung konnten sehr grosse Höhen erreicht und lange Strecken zurückgelegt werden.

## 2.5 Pathfinder

In einem Geheimprogramm der USA wurde 1980 ein unbemanntes Solarflugzeug entwickelt. Das Modell Pathfinder sollte tagelang in der Luft bleiben können. Nach einigen Testflügen stellte man jedoch fest, dass die Technik dazu noch nicht ausreichte und das Projekt wurde schliesslich stillgelegt.

Dreizehn Jahre später, also im Jahre 1993, wurde der Pathfinder wieder flugbereit gemacht und verbessert. Das Solarflugzeug stellte am 7. Juli 1997 einen Rekord für allgemein durch Propeller betriebene Flugzeuge auf, mit einer Flughöhe von 21'800 Meter. Der Pathfinder wurde noch mehrmals weiterentwickelt.



Pathfinder

## 2.6 Icaré II

Ein bemerkenswertes bemanntes Solarflugzeug ist der Solarsegler Icaré II. Icaré II sieht wie ein normales Hochleistungssegelflugzeug aus. Die Flügeloberfläche ist jedoch mit Solarzellen bestückt, welche schon bei nur  $50\text{mW}/\text{dm}^2$  Einstrahlung  $1'812\text{ W}$  erbringen (Höchstwerte sind etwa  $100\text{mW}/\text{dm}^2$ ). Für den Horizontalflug wären nur  $1'400\text{ W}$  nötig. Dieses Flugzeug hat eine Spannweite von 25 Metern und wiegt nur 290 Kilogramm ohne Pilot. Solche Flugzeuge wären nicht allzu schwer in Serie herzustellen, aber das Hindernis ist immer noch der hohe Preis für die Solarzellen.



*Icaré II*

## 2.7 Helios

Und zum Abschluss noch ein letztes, sehr interessantes Projekt der Nasa für unbemannte Solarflugzeuge. Die Spannweite des riesigen Solarflugzeuges Helios war mit 75.3 Metern etwa 10 Meter länger als diejenige der Boeing 747. Helios sollte zur Erforschung der Atmosphäre dienen und mehrere Monate in der Luft bleiben können. Dieser



*Helios über Hawaii*

Solarflieger übertrumpfte am 13. August 2001 den bisherigen Höhenrekord für nicht raketenangetriebene Flugzeuge der SR-71 mit einer Höhe von 29'000 Metern.

Bei einem Testflug über Hawaii stürzte Helios jedoch wegen Problemen mit der Steuerung und daraus folgendem Flügelbruch ab.

Diese Art von Flugzeugen könnte ähnlich wie Satelliten verwendet werden. Es wäre sogar möglich sie billiger als Satelliten herzustellen.

## 3. Der Stand des Solarfluges heute

In diesem Kapitel der Arbeit werde ich über den heutigen Stand der Technik im Bereich des Solarfluges schreiben. Dieses Thema allgemein zu fassen wäre sehr schwer, da im Moment nur ein grösseres Projekt läuft. Deshalb habe ich dieses Kapitel auf das im Moment laufende Projekt „Solar Impulse“ von Bertrand Piccard bezogen.

### 3.1 Bertrand Piccard

Bertrand Piccard lebt in der Schweiz und ist Psychiater, Wissenschaftler und Abenteurer.

Er war zusammen mit Brian Jones der erste Mensch, der in einem Ballon die Welt umrundete. Solche Rekorde scheinen in seiner Familie zu liegen. Sein Grossvater machte mit einem Ballon den Höhenflugweltrekord und sein Vater machte den Weltrekord im Tieftauchen in einem U-Boot.

Nun will Piccard einen neuen Weltrekord aufstellen. Er will mit einem rein solarbetriebenen Flugmodell die Welt in mehreren Etappen umrunden.



*Solar Impulse*

### 3.2 Der Zweck dieses Riesenprojektes

Mit diesem riesigen Solarflugzeug will Bertrand Piccard einen neuen Rekord aufstellen. Aber dies ist nicht sein Hauptziel. Sein Ziel ist es, der Welt zu demonstrieren, wie viel man heute mit Solarenergie machen kann. Er sagt, er wolle nicht schon wieder Millionenbeträge von Forschungsgeldern nur für einen Rekord verschwenden.

### 3.3 Von der ersten Konstruktion zum Prototyp

Im Jahre 2003 hat das ganze Projekt mit einer Machbarkeitsstudie an der Technischen Hochschule in Lausanne begonnen. Danach wurde das Konzept entwickelt, Langzeitflüge simuliert und der erste Prototyp konstruiert. Das Ganze stellte die Konstrukteure vor eine harte Aufgabe. Der Bau eines solchen Flugzeuges war etwas ganz Neues. Noch nie hat man ein so grosses, aber dennoch so leichtes Flugzeug entwickelt.

Nach über vier Jahren Konstruktions- und Forschungsarbeiten wurde im Jahr 2007 mit dem Bau des ersten Prototypen HB-SIA begonnen. In diesem Sommer soll er fertig gestellt werden. HB-SIA wird 61 Meter Spannweite haben und ist somit eine verkleinerte Version des endgültigen Flugzeuges. Der Prototyp dient zur Überprüfung der geplanten Komponenten sowie für erste Tests. 2009 soll mit der HB-SIA ein erster 36-Stunden-Flug geflogen werden. Das würde einem ganzen Tag-Nacht-Tag Zyklus entsprechen. Und das, ohne die Abgabe von irgendwelchen Schadstoffen.



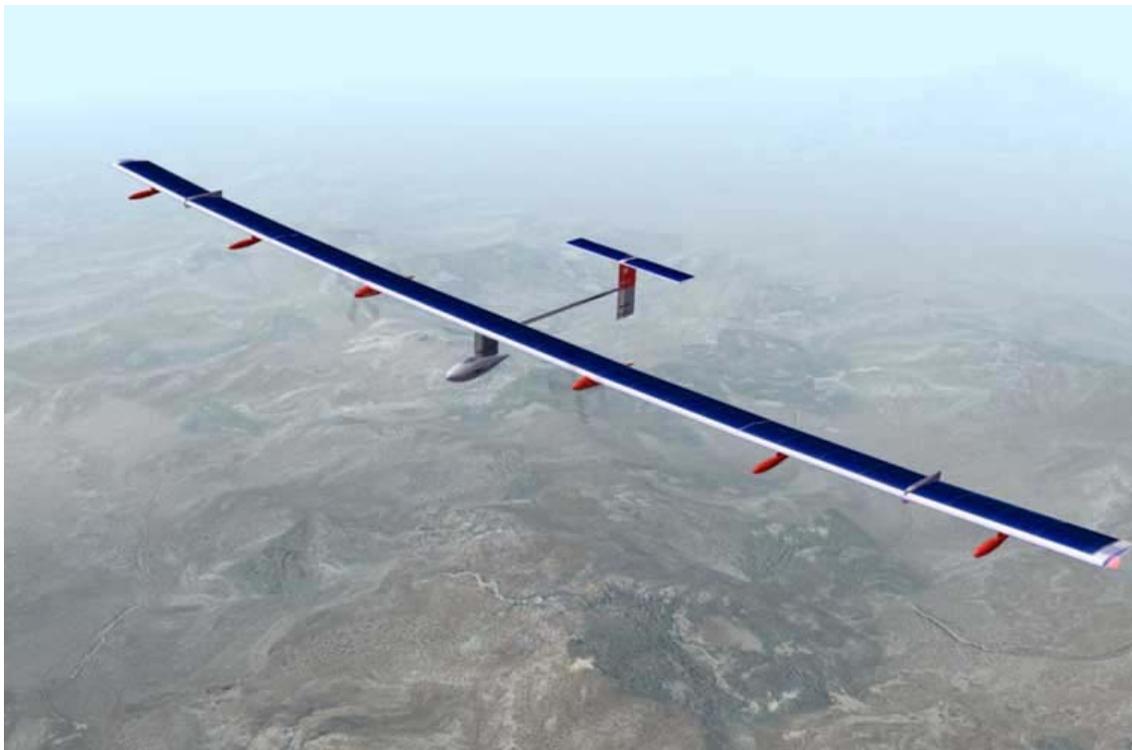
*Ein Computermmodell des Prototypen HB-SIA bei Nacht*

### 3.4 Der Bau des endgültigen Flugzeuges

Nach den Tests mit dem Prototyp HB-SIA soll mit dem Bau des endgültigen Flugzeuges begonnen werden. Dieses Flugzeug wird 80 Meter Spannweite haben und nur gerade 2 Tonnen wiegen. Damit es auch in der Nacht geflogen werden kann, wird ein Akku von 450 Kilogramm benötigt. Dieses Gewicht entspricht schon einem Viertel des ganzen Flugzeuges.

Der Akku wird am Tag aufgeladen. In der Nacht, wenn das Fliegen mit der Sonnenenergie nicht mehr möglich ist, werden die Motoren über diese Energie gespeist. Da das Flugzeug eine Flächenbelastung von nur gerade 8 Kilogramm pro m<sup>2</sup> hat, ist es extrem anfällig auf Turbulenzen. Auch das stellte die Konstrukteure vor ein grosses Problem.

Bis zu der Erdumrundung im Jahr 2011 werden die 50 Mitarbeiter des Projektes wohl noch sehr viel zu tun haben. Doch das Projekt wird die Weltbevölkerung sicherlich wieder einmal darauf aufmerksam machen, dass man auch mit weniger Schadstoffausstoss noch reisen kann, denn 3% des Ausstosses an Treibhausgasen kommen vom Fliegen.



*Computermodell des endgültigen Flugzeuges bei der Erdumrundung*

## 4. Der Bau eines Solarflugzeuges

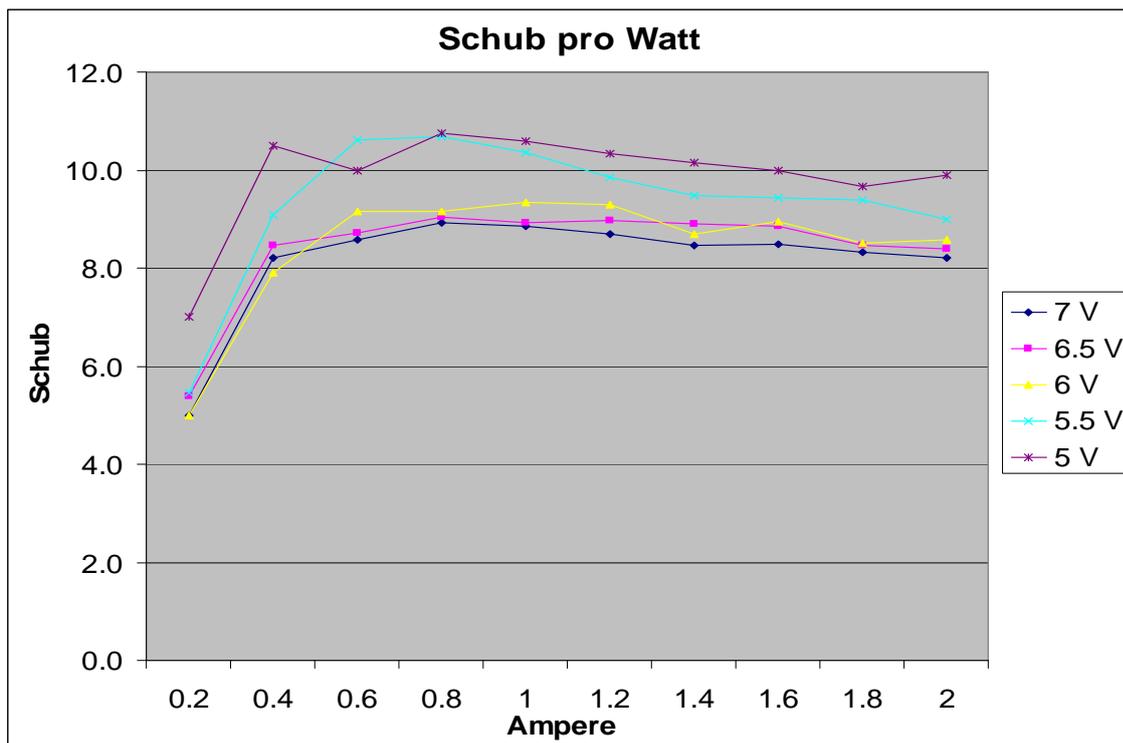
Der Eigenbau eines Solarmodellflugzeuges ist nicht gerade einfach. Man muss viele verschiedene Faktoren beachten, damit das Flugzeug am Schluss flugfähig ist. Es gibt viele Komponenten, die einen besseren Wirkungsgrad ergeben würden. Doch diese Komponenten sind entweder viel zu teuer oder es gibt sie gar nicht und man müsste die Teile sehr aufwendig selber herstellen. Ich habe versucht, mit sehr einfachen Mitteln und kleinem Kostenaufwand ein solches Modell zu bauen.

### 4.1 Die Planung

Bevor man so ein Modell konstruieren kann, muss man wissen, auf was geachtet werden muss. Ich habe mich über das Internet sehr genau darüber informiert und auch zwei Bücher gekauft.

Ebenfalls habe ich den Motor, den ich verwende, selber getestet. Dazu besuchte ich einen Kollegen meines Vaters, der eine Firma im elektronischen Bereich besitzt. Er konnte mir viel über Solarzellen sagen und erklärte ausserdem, worauf man besonders achten muss.

Wir untersuchten, wie viel Standschub dieser Motor bei verschiedenen Spannungen und Stromstärken hat. Daraus konnte ich mir den Schub pro Watt Leistung ausrechnen und hatte so vergleichbare Werte:



Aus dem Diagramm kann man herauslesen, dass der Motor am effizientesten arbeitet, wenn er mit niedrigen Spannungen betrieben wird.

Ebenfalls wusste ich nach den Tests, wie viel Schub ich etwa zur Verfügung habe. Bei voller Einstrahlung habe ich einen Standschub von ungefähr 90 bis 100 Gramm, bei halb so viel Einstrahlung noch etwa 50 Gramm.

## 4.2 Die Wahl der Komponenten

Der Motor sollte einen sehr hohen Wirkungsgrad haben, damit die elektrische Energie möglichst gut in mechanische umgewandelt werden kann. Aus Kostengründen wählte ich jedoch den nicht ganz idealen Axi 2203/46 (18g), der meinem Vater gehört.

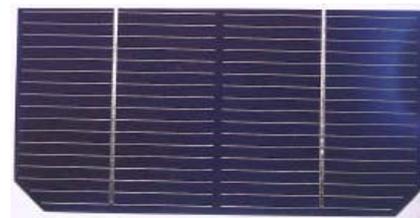
Der Regler (6g), Empfänger (2.8g) und die zwei Servos (je 4g) besass ich ebenfalls schon von meinen anderen Modellflugzeugen. Damit konnte ich viel Geld sparen, da diese leichten Komponenten nicht gerade billig sind.



Axi 2203/46

Die Wahl der Solarzellen war um einiges schwieriger. Zum einen mussten sie sehr leicht sein, jedoch aber auch einen hohen Wirkungsgrad haben, da der Flügel nur begrenzt für Solarzellen Platz hat.

Aus dem Diagramm auf der vorherigen Seite kann man entnehmen, dass eher tiefe Spannungen optimal wären. Ich habe jedoch trotzdem 14 Zellen gewählt, welche zusammen eine Maximalleistung von etwa 7 Volt und



Verwendete Solarzelle

1640 mA haben. Das aus dem einfachen Grund, da diese am besten passten. Alle Zellen zusammen haben ein Gesamtgewicht von 52 Gramm.

Einen Speicherakku habe ich nicht eingebaut. Dies hätte wegen Überladungsgefahr des Speicherakkus noch einen Laderegler benötigt und wäre somit zu kompliziert geworden.

## 4.3 Die Konstruktion des Solarfliegers

Nach der Wahl der Komponenten wusste ich nun, in welchem Gewichtslimit ich mich befinde. Nun konnte ich nach und nach berechnen, dass das Modell

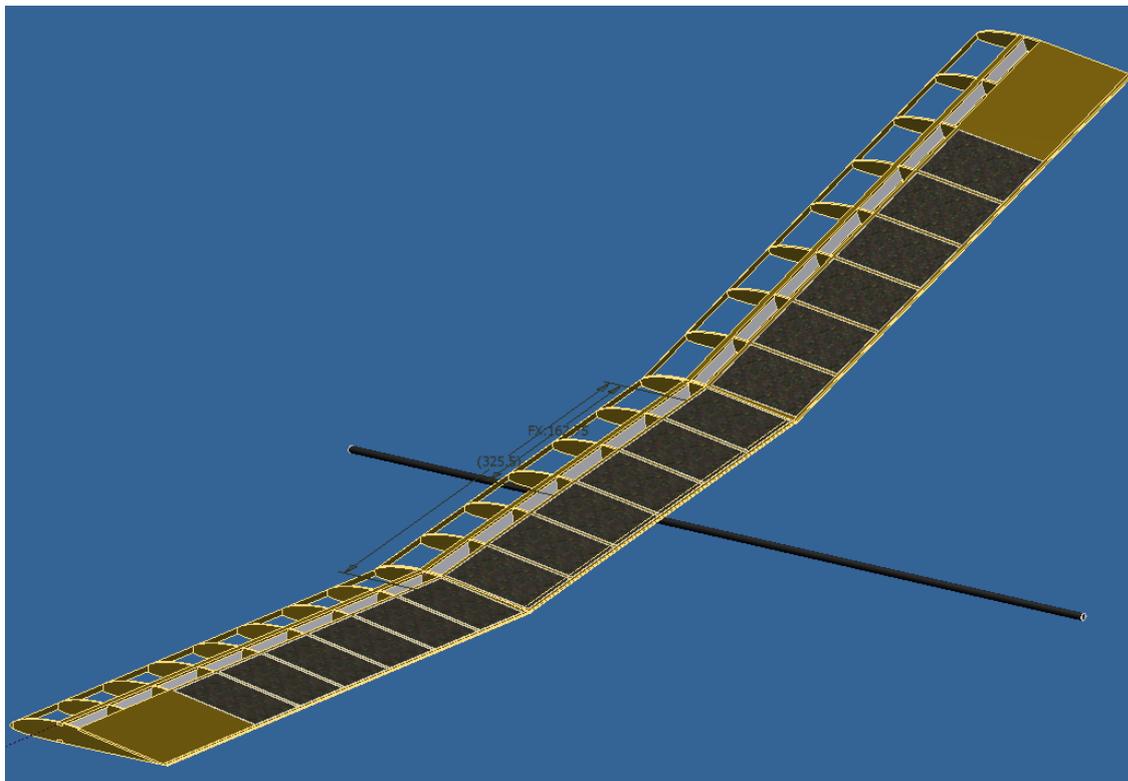
theoretisch fliegen würde. Anhand der vom Internet entnommenen Daten und des gekauften Buches „Solarmodellflug“ stellte ich eine Excel Datei zusammen, bei der ich nur noch die wichtigen Daten eingeben musste<sup>1</sup>. So konnte ich verschiedene Auslegungen von Flugzeugen testen. Nach Eingabe der Daten kann man über bestimmte Faktoren des Flugzeuges (zum Beispiel Gewicht, Flügelfläche, Solarzellen und vieles mehr) unter anderem folgendes herauslesen:

- Die Fluggeschwindigkeit sollte etwa 4.5 m/s betragen.
- Für den reinen Horizontalflug benötigt das Flugzeug nur 0.7 Watt.
- Für einen Steigflug von 2 m/s sind etwa 6 Watt erforderlich.
- Die Flächenbelastung des Fliegers beträgt ungefähr 8.4 g/dm<sup>2</sup>.
- Bei einer Bestrahlungsstärke von 50 mW/dm<sup>2</sup> hat das Modell eine Steiggeschwindigkeit von exakt 2 m/s.

Dabei ist noch zu erwähnen, dass der Energieverbrauch der Rudersteuerung nicht mitberechnet ist. Dieser beträgt im Leerlauf etwa 0.8 Watt.

Das Flugzeug konstruierte ich mit dem Programm Autodesk Inventor 2008.

Einer meiner ersten Entwürfe sieht folgendermassen aus:



<sup>1</sup> Siehe Anhang

Bei diesem Entwurf handelt es sich nur um die Flügelkonstruktion. Der Rumpf fehlt. Ausserdem rechnete ich, wie man der Zeichnung entnehmen kann, bei der Planung noch mit weiteren Solarzellen. Die definitive Konstruktion habe ich mir nicht mehr so genau aufgezeichnet.

Die Schwierigkeit lag darin, dass das Flügelprofil eine etwa 10 cm lange, gerade Strecke haben muss, damit die zerbrechlichen Solarzellen darauf passen.

#### 4.4 Der Bau des Solarfliegers

Nun kam der anspruchsvollste Teil der ganzen Arbeit. Das Flugzeug musste gebaut werden. Zuerst fertigte ich den Flügel an, sodass die Solarzellen einmal ausprobiert werden konnten. Nach dem Bau des Flügels lötete ich mit meinem Vater die Zellen zusammen. Dabei zerbrach eine dieser höchst empfindlichen Zellen. Da ich aus Kostengründen keine Ersatzzelle gekauft hatte, musste das Ganze jetzt mit nur 13 Zellen funktionieren.

An einem sonnigen Tag testete ich diese Solarzellen auf dem Flügel aus, indem ich sie an ein bestehendes Modell anschloss. Der Motor lief erstaunlich gut. Danach baute ich den Rumpf. Auch er stellte eine spezielle Herausforderung dar, denn er sollte möglichst leicht aber dennoch stabil werden.

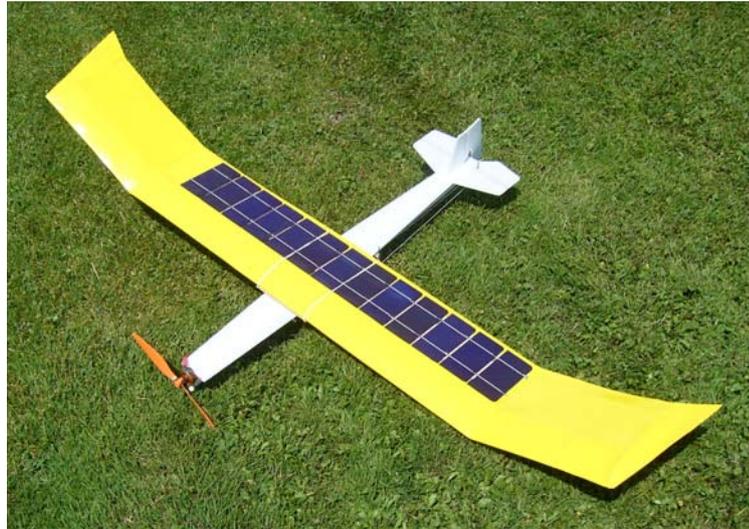


*Der Aufbau des Motorleistungstests*

Der Flieger wiegt fertig gebaut 198 Gramm. Das ist leicht, wenn man mit der Flügelspannweite von 1.20 m vergleicht.

## 4.5 Das Einfliegen

Endlich kam der Moment des ersten Fluges. Der aus langer Arbeit entstandene Solarflieger sollte zum ersten Mal fliegen! Ich ging für den Testflug mit meinem Vater zum Fluggelände der Modellfluggruppe Rothrist.



*Der selbstgebaute Solarflieger vor dem Erstflug*

Das Resultat war aber noch nicht allzu erfreulich. Zwar konnte ich einen kurzen Flug absolvieren und das Flugzeug stieg auf ungefähr 10 Meter. Der Flieger war allerdings nur sehr schwer zu steuern. Ich hatte einen zu kleinen Rumpf gebaut für diesen grossen Flügel. Das Leitwerk reichte nicht aus, um das Flugzeug optimal zu stabilisieren.

Mit diesen Erkenntnissen fertigte ich einen neuen, besseren Rumpf an. Mit diesem sollte ein erfolgreicher Testflug durchgeführt werden.

Doch leider konnte ich dies aufgrund des schlechten Wetters vor Abgabe der Arbeit nicht mehr testen. Wenn Sie am weiteren Verlauf des Projektes interessiert sind, dann besuchen Sie doch meine Webseite. Dort informiere ich dauernd über den aktuellen Stand des Solarflugzeuges. Die Adresse ist im Kapitel 8.2 zu finden.

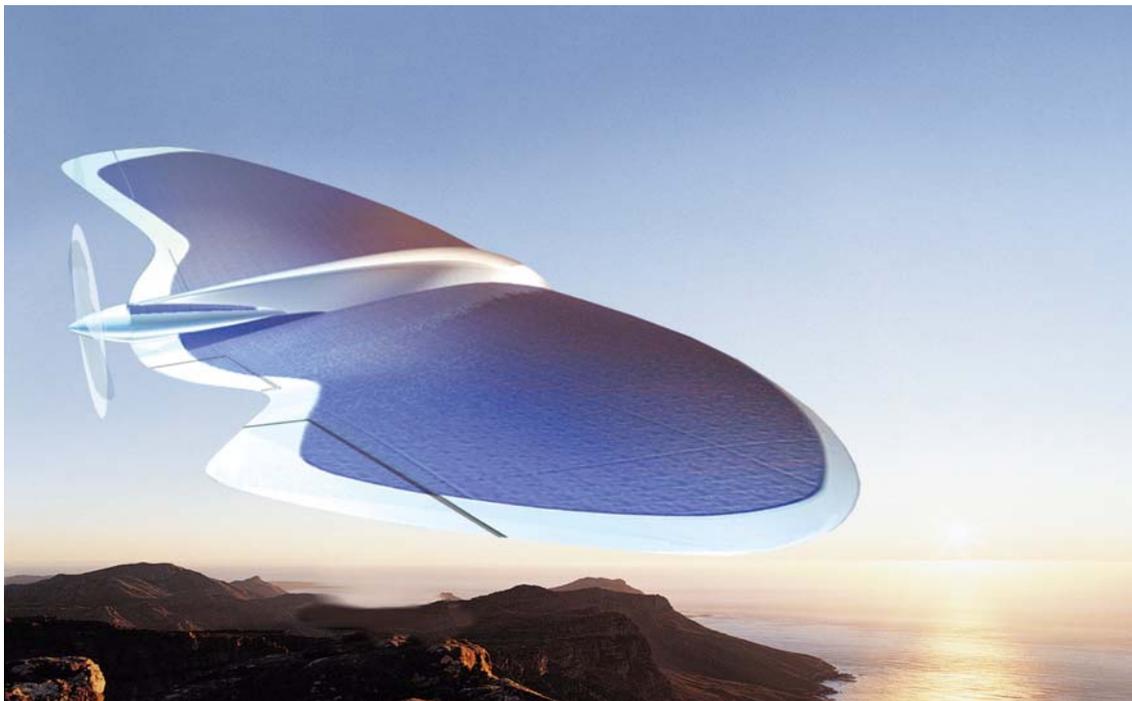
## 5. Die Zukunft des Solarfluges

Die Zukunft des Solarfluges liegt wahrscheinlich vor allem im Bau von unbemannten Drohnen oder in der Anwendung für ähnliche Aufgaben wie sie die Satelliten haben. Unter anderem zur Kommunikation, Überwachung und Forschung. Diese Flugzeuge könnten jahrelang in der Luft bleiben.

Im zivilen Flugverkehr wird die Solarenergie wahrscheinlich noch lange nicht Fuss fassen. Schon eine einfache Rechnung zeigt dies auf:

Wenn man eine Boeing 787 mit 300 Passagieren auf Solarstrom umrüsten will, dann müsste man mit der heutigen Technik die Flügelfläche dieser Boeing um etwa das 70-Fache vergrößern, damit alle Solarzellen angebracht werden könnten. Das ganze würde eine Sonneneinstrahlung voraussetzen, welche am Äquator um die Mittagszeit herrscht ( $100 \text{ mW/dm}^2$ ).

Dennoch haben sich schon Forscher Gedanken darüber gemacht, wie die Zukunft des Solarfluges aussehen könnte. Hier ein Entwurf eines österreichischen Flugzeugtechniklers:



Dieses Zukunftsflugzeug hat keinen Schadstoffausstoss. Es hat riesige Flügel, damit man genug Solarzellen anbringen kann, um die Energie für den Antrieb des Flugzeuges zu gewährleisten.

Das Design für das Flugzeug stammt aus der Natur von einem Samenblatt. Dies bringt dem Flugzeug eine gute Flugstabilität. Es wird jedoch

wahrscheinlich noch sehr lange dauern, bis so ein Zukunftsflugzeug realisiert werden kann.

Viel eher werden, wie vorher erwähnt, unbemannte Solarflugzeuge gebaut. Sie könnten in sehr grossen Höhen fliegen, da man einen Elektromotor benutzt. Für Kerosinantriebe hat es so hoch oben schlicht zu wenig Sauerstoff.

Solche Solarflugzeuge wären billiger herzustellen als Satelliten. Ausserdem könnte man sie nach Bedarf umstationieren und für andere Aufgaben gebrauchen, was mit Satelliten nicht so einfach möglich ist. Ein solches Modell, welches in der Entwicklungsphase ist, wäre die Vulture von DARPA.



*Vulture von DARPA*

Dieses Modell soll fünf Jahre lang in der Luft bleiben können. Die 12 Motoren halten das nur 370 Kilogramm schwere Flugzeug mit der Energie von Solarzellen in der Luft. Diese Solarzellen haben eine Gesamtleistung von ungefähr 5 Kilowatt.

Das in der Stratosphäre fliegende Flugzeug soll für Überwachungszwecke dienen. Bereits 2012 soll es einsatzbereit sein.

## 6. Schlusswort

Nach all den neuen Erkenntnissen über die Solarenergie in der Luftfahrt, die ich durch diese Arbeit bekommen habe, finde ich, dass der Solarflug in Zukunft viel verbreiteter auftauchen wird. Nicht etwa im zivilen Bereich, das dauert noch lange, sondern bei den beschriebenen Solardrohnen.

Das Erarbeitung dieser Arbeit war für mich sehr lehrreich.

All diese Informationen im Internet zu finden war nicht sehr einfach, da dieses Gebiet der Luftfahrt noch sehr wenig verbreitet ist. Das ist auch ein Grund dafür, dass der Teil über die Zukunft der Solarenergie sehr bescheiden ausgefallen ist, denn darüber konnte man sozusagen nichts finden.

Durch den Eigenbau eines Solarfliegers habe ich selbst gesehen, dass mit den heutigen Technologien der Solarflug nicht mehr sehr schwer ist. Aber die Pioniere dieser Sparte der Luftfahrt sollten bewundert werden. Um ein Solarflugzeug mit den damaligen Mitteln zum Fliegen zu bringen war eine sehr grosse Leistung.

Ich denke, dass das riesige Solarflugprojekt von Bertrand Piccard dem Solarflug einen Aufschwung erbringen wird. Es beweist auch, dass man mit so einem Flugzeug nicht nur am Tage, sondern mit den Akkus an Bord auch bei Nacht fliegen kann. Momentan ist kein anderes Forschungsprojekt dieser Grösse für erneuerbare Energien in Arbeit.

Wenn der Ölpreis weiterhin so stark ansteigt wie jetzt, wird der Solarflug sicher eine gute Zukunft haben.

## 7. Quellen- und Literaturverzeichnis

### Bücher:

„Solarmodellflug“ von Helmut Bruss - Verlag für Technik und Handwerk –

ISBN: 3-88180-017-4 – Baden-Baden 1991

„Faszination Solartechnik“ von Werner Lehnert – ISBN: 3-00-012305-9 –

Bad Rappenau 2004

### Internetseiten:

Uwe Buchtmann, Fliegen mit Sonnenkraft

URL: <http://www.solarflugzeuge.de/>

Dr. Sieghard Dienlin, RC Solarflug

URL: <http://www.dienlin.de/sieghard/ModellTechnik/StartseiteDt.html>

Lemo-Solar, Hersteller der verwendeten Solarzellen

URL: <http://www.lemo-solar.de/>

Helmut Schenk, Abschätzung des Antriebs von Elektroflugmodellen, 2002

URL: [http://www.rc-network.de/magazin/artikel\\_02/art\\_02-0035/E-Antrieb.pdf](http://www.rc-network.de/magazin/artikel_02/art_02-0035/E-Antrieb.pdf)

André Noth, History of Solar flight, 2008

URL: <http://sky-sailor.epfl.ch/docs/History%20of%20Solar%20Flight%20v2.0-%20A.Noth%202008.pdf>

Univerität Stuttgart, Icaré II

URL: <http://www.ifb.uni-stuttgart.de/icare/aktuelles/aktuelles.php>

Website des Projektes „Solar Impulse“

URL: <http://www.solarimpulse.com/de/>

Rudolf Voit-Nitschmann, Solar- und Elektroflugzeuge– Geschichte und Zukunft, 2001

URL: <http://www.uni-stuttgart.de/wechselwirkungen/ww2001/nitschmann.pdf>

## 8. Anhang

### 8.1 Excel Datei: Leistungsbedarf und Gewichtsrechnung

Hier noch ein Blick auf diese Excel Datei von Abschnitt 4.3. Die wichtigen Sachen stehen in den zwei mit Doppelten Strichen markierten Kästen links. Es steht nur im Anhang, da das zu kompliziert wäre für die Arbeit, aber dass dennoch ein Blick darauf geworfen werden kann. Man kann alle wichtigen Daten über das endgültige, fertig gebaute Solarflugzeug herauslesen:

				Pro Zelle					
	cm	cm	cm <sup>2</sup>	V	A	%	mW	W	
Anz. Zellen	Länge Zelle	Breite Zelle	Fläche:	Nennspann.	Nennstrom	Wirkungsg.	mW pro cm <sup>2</sup>	Leistung:	
13	10	5	650.00	0.5	1.64	16.40	50	5.33	
Hintereinander:		Parallel:	Volt:	Ampere:	Watt:	g je Zelle:	Gramm/Watt		
13		1.00	6.50	1.64	10.66	3.7	4.51		
Gewicht:			1.98 N						
Fläche:			0.2125 m <sup>2</sup>						
Gleitwinkel:			12						
Ca:			0.8						
Wirkungsgrad:			0.70						
Steiggeschwindigkeit:			2 m/s						
Fluggeschwindigkeit:			4.30 m/s						
Leistung für Horizontalflug:			0.71 W	Eingabe erforderlich wird ausgerechnet					
Leistung für Steigflug:			3.96 W						
Leistung H +S:			4.67 W						
Nötige Solarzellenleistung:			6.67 W						
Flächenbelastung:			9.31 g/dm <sup>2</sup>						
Bestrahlungsstärke:				500.00 W/m <sup>2</sup>					
Strahlungsempfindliche Fläche:				0.07 m <sup>2</sup>					
Wirkungsgrad Solarzellen:				0.16 %					
Wirkungsgrad Motor, Regler, Propeller:				0.70 %					
Gewichtskraft Modell:				1.98 N					
Tragflügelfläche:				0.21 m <sup>2</sup>					
Beiwert des Gesamtwiderstandes:				0.041					
Auftriebsbeiwert:				0.80					
Steiggeschwindigkeit:			1.66 m/s						
Sinkgeschwindigkeit:			0.23 m/s						
Propeller Vortriebsleistung:			1.89 W						

## 8.2 Webseite des Autors

Um über den weiteren Verlauf des Solarflugzeuges von Kapitel 4 informiert zu sein, können Sie meine Website besuchen.

Man findet dort:

- Der Aktuelle Stand des Solarflugzeuges sowie Fotos und Filme mit Flugberichten
- Die Excel Datei „Leistungsbedarf und Gewichtsrechnung“
- Die ganze Projektarbeit
- Sowie weitere interessante Sachen

Diese Sachen findet man unter:

[www.alex.miroliit.ch/projektarbeit.html](http://www.alex.miroliit.ch/projektarbeit.html)