

# BAT

Solar Butterfly

**Andre Gut**

Betreuender Dozent: Dejan Romancuk

HSLU

Departement: Maschinentechnik

18.12.6969

## Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Sämtliche verwendeten Textausschnitte, Zitate oder Inhalte anderer Verfasser wurden ausdrücklich als solche gekennzeichnet.

Luzern 17. Februar 2021

Ort, Datum



Unterschrift

## **Abstract**

Bla Bla

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Dokumentation</b>	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Aufgabenstellung . . . . .	1
1.2	Abgrenzung der Arbeit . . . . .	1
1.3	Vorgehen . . . . .	1
1.4	Theorie . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Anforderungen und Methodik</b>	<b>4</b>
2.1	Anforderungen an den Solar Butterfly . . . . .	4
2.2	Auslegungskriterien . . . . .	4
2.2.1	Aluminiumstrukturen . . . . .	4
2.2.2	Sandwichstrukturen . . . . .	4
2.2.3	Verbindungen . . . . .	7
2.3	Dauerfestigkeit . . . . .	7
2.4	Verformung . . . . .	7
<b>3</b>	<b>FEM</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Auslegung und Design</b>	<b>7</b>
<b>II</b>	<b>Anhang</b>	<b>7</b>
<b>A</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>B</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>C</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>7</b>
<b>D</b>	<b>Rissfortschritt</b>	<b>8</b>
D.1	Zeichnungen . . . . .	8
D.1.1	Zeichnung des Probenrohlings - Erste Serie . . . . .	8
D.1.2	Zeichnung des Probenrohlings - Zweite Serie . . . . .	8
<b>III</b>	<b>Elektronischer Anhang</b>	<b>8</b>
<b>A</b>	<b>Elektronischer Anhang</b>	<b>8</b>
A.1	Zeichnungen . . . . .	8
A.1.1	Zeichnung des Probenrohlings - Erste Serie . . . . .	8
A.1.2	Zeichnung des Probenrohlings - Zweite Serie . . . . .	8

## List of Symbols

$B$	The area of the needle point	
$E_d$	E-Modul der Deckschicht	
$E_k$	E-Modul des Schaumkernes	
$G_k$	Schub-Modul des Schaumkernes	
$h$	Abstand der neutralen Fasern der Deckschichten	
$m$	Moment pro Länge	$N$
$N$	The number of angels per needle point	
$n$	Normalkraft pro Länge	$N/mm$
$p$	Streckenlast	$N/mm^2$
$P_k$	Kritische Knicklast	
$P_k B$	Euler-Knicklast des schubsteifen Balkens	
$P_k S$	Schubknicklast	
$q$	Schubkraft Pro Länge	$N/mm$
$t_d$	Höhe der Deckschicht	
$t_k$	Höhe des Schaumkernes	
$w_b$	Verformung durch Biegebelastung	
$w_s$	Verformung durch Schubbelastung	
$w_{Ges}$	Gesamtverformung	

## Teil I

# Dokumentation

## 1 Einleitung

Klimaerwärmung Alternative Transportmittel, CO<sub>2</sub> ausstoss durch Transport Vorläuferprojekt Solar-Auto. Weltumrundung. Neuer Anlauf mit mehr komfort Zusätzlich, eigene Stromversorgung. 100 m<sup>2</sup> Solarpanelen, xx m<sup>2</sup> Wohnfläche, Ausziehbare Wohnmodule usw. usf. 2200 kg Gewicht Bat mit vier Leuten mit je einer Aufgabe: Auslegung Ausfahrmechanismus, Auslegung und Konstruktion von Panelen Ausfahrmechanismus

Globales CAD, Gewicht usw. In dieser Arbeit wird die Auslegung und Dimensionierung der Grundstruktur beschrieben

Anforderungen, Lastenheft, Globales FEM zur Lastpfadbestimmung -> Auslegung der Komponenten und Strukturen

### 1.1 Aufgabenstellung

Der Fokus dieses Teils der Arbeit liegt im Ausarbeiten der Auslegungskriterien (Lastenheft) und der Dimensionierung der Grundstruktur inklusive Lasteinleitungen. Dabei soll auch ein globales FEM zur Anwendung kommen (z.B. zur Bestimmung von Schnittgrössen für Handrechnungen). Zulässige Festigkeitswerte sollen abhängig von der gewählten Bauweise abgeschätzt werden ("Design-Allowables") und mittels Test bestätigt werden.

- Schnittgrössen für Handrechnungen
- ("Design-Allowables") und mittels Test bestätigt

### 1.2 Abgrenzung der Arbeit

### 1.3 Vorgehen

Anforderungen: (Welcher Kriterien gilt es zu erfüllen? Was ist die definition von "nicht aushalten"? ) Festigkeit

Sicherheit gegen Fliessen

Steifigkeit

Sicherheit

Dauerfestigkeit 200'000km Fahren

Muss den Lasten im Lastenheft standhalten können.

Anforderungen/Auslegungskriterien an Materialien und Komponenten: (Was dürfen spezifische Komponenten aushalten? Wie werden diese überprüft? Designallowables) - Aluminiumstrukturen:

- Platten:
- Verbindungen:
- Dauerfestigkeit:

Globales FEM-Modell für die Ermittlung der Lastpfade  
Überprüfung einzelner ausschnitte des Butterflys gemäss Kriterien.

## 1.4 Theorie

Leichtbau:

Als Einschränkung ist dabei zu berücksichtigen, dass hierdurch weder die Funktion noch die Sicherheit und Langlebigkeit /s. DIN EN 1993/ beeinträchtigt werden dürfen. Maßnahmen, mit denen man dies heute zu erreichen versucht, sind: - Umsetzung des Integrationsprinzips, - Wahl leichter und hochfester Werkstoffe, - neue Herstelltechnologien - analytische Beherrschung der Beanspruchungs- bzw. Instabilitätsfälle durch hochwertige Analysemethoden (FEM, BEM).

Im Zuge der Umsetzung dieser Prinzipien kommen bestimmte Entwurfsstrategien /BLE 74/ zum Tragen, deren Merkmale sich verkürzt klassifizieren lassen in einen Form- oder Funktionsleichtbau, bei dem integrative Konstruktionslösungen, dünnwandige Querschnittsgeometrien und eindeutige Kraftleitungspfade umgesetzt werden; einen Stoffleichtbau, bei dem spezifisch schwere Werkstoffe durch leichtere Werkstoffe mit möglichst hohen Gütekennzahlen substituiert werden; einen Fertigungsleichtbau, in dem alle technologischen Möglichkeiten ausgeschöpft werden, um das Ziel der Funktionsintegration (Einstückigkeit) bei geringstem Materialeinsatz und minimalem Fügeaufwand zu realisieren und einen Sparleichtbau, mit dem Ziel hohe Kosten zu vermeiden durch eine gerade noch ausreichende Werkstoffqualität, minimalem Werkstoffeinsatz und vereinfachte Herstellung. (S16)

Da ein typisches Einsatzgebiet von Leichtbaukonstruktionen die Verkehrstechnik (Automobilbau, Schienen- und Luftfahrzeuge) ist, dürfen Leichtbaukonstruktionen nicht „unsicherer“ als vergleichbare Massivkonstruktionen sein. Dies bedingt eine sorgfältige Auslegung auf Steifigkeit (Instabilitäten), Bruchfestigkeit sowie Zuverlässigkeit und Nutzungsdauer. (S20)

Die Philosophie des „safe-life-quality“, die absolute Schadensfreiheit für das ganze Leben verlangt, und die Philosophie des „fail-safe-quality“, die Schadenstoleranz und hinreichende Resttragfähigkeit voraussetzt. Dem Ziel nach sollten alle erforderlichen Leichtbaumaßnahmen begründbar sein. (S21) Auslegungsphilosophie: Safe-Life-Quality: Absolute Schadensfreiheit für die angestrebte Lebensdauer Statistische Ausfallwahrscheinlichkeit Fail-Safe-Quality: Schadenstolerant Hinreichende Resttragfähigkeit

aufeinander aufbauende Arbeitsschritte mit etwa folgenden Inhalten: - Klären der Aufgabenstellung: Informationsbeschaffung über die Anforderungen einer Aufgabe und Erstellung einer Anforderungsliste; Eingrenzung bestehender Bedingungen und ihre Bewertung für die Lösungserfüllung; Festlegung einer Lösungsrichtung; technisch-wirtschaftliche Konsequenzen. - Konzipieren (Findung einer prinzipiellen Lösung): Hinterfragung der Aufgabe und Sichten des Kernproblems; Zerlegung des Kernproblems in untergeordnete Teilprobleme; Suche nach Lösungswegen zur Erfüllung der Teilprobleme; Kombination der Teilproblemlösungen zu Lösungsansätzen für das Kernproblem; Bewertung der Lösungen; Erstellung von Konzeptskizzen. Voraussetzungen einer sinnvollen Konzepterstellung sind Kenntnisse über die Größe und Richtung der wirkenden Kräfte, die Möglichkeiten des gewählten Werkstoffs, die Bauweiseigenschaften und eine angepasste Vordimensionierung. Ein gutes Konzept ist letztlich auch der Garant für eine innovative Problemlösung. Der Konzeptentwicklung sollte daher große Bedeutung beigemessen werden. - Entwerfen (gestalterische Konkretisierung einer Lösung): maßstäbliche Ausarbeitung der Konzeptskizzen zu Bauvarianten; Bewertung, Vereinfachung und Auswahl einer Variante; Überarbeitung zu einem Gesamtentwurf und - Ausarbeiten (fertigungs- und montagegerechte Festlegung einer Lösung):

endgültige Bestimmung der Geometrie, Dimensionen, Werkstoffe und Herstellung, um die notwendigen Fertigungsunterlagen erstellen zu können.

Hieran schließen sich eine oder mehrere Schleifen an, die der Optimierung der Lösung dienen. Dem zuzuordnende Phasen sind: - Prototypen-Herstellung (Kontrolle der Funktionen, Montage etc.), - Testprozeduren (Überprüfung der Tragfähigkeit, Zuverlässigkeit, Lebensdauer).

FEM Die FEM ist eine rechnerorientierte Methode, die softwaretechnisch über einen Vorrat an mechanischen Grundelementen (Balken, Scheibe, Platte, Schale, Volumina), einen Zusammenbau- und einen Lösungsalgorithmus verfügt.

S206 Abb.



## 2 Anforderungen und Methodik

In diesem Kapitel wird beschrieben, welchen Anforderungen der Solar Butterfly und dessen Komponenten gerecht werden müssen. In einem ersten Schritt werden auf die allgemeinen Anforderungen des Solar Butterflys und anschliessen auf die daraus folgenden Auslegungskriterien der einzelnen Komponenten eingegangen. Es wird beschrieben, was die Anforderungen konkret für die einzelnen Komponenten bedeuten und wie gewährleistet wird, dass diese erfüllt werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird lediglich auf diejenigen Anforderungen eingegangen, welche für die strukturelle Auslegung und Festigkeitsberechnungen relevant sind. Die komplette Liste der Anforderungen an den Solar Butterfly ist in der Arbeit von [HUBER] zu finden.

### 2.1 Anforderungen an den Solar Butterfly

- Der Solar Butterfly muss den Angreifenden Kräften und herrschenden Lastfällen standhalten. (Vgl. Lastenheft [KAPITEL]) Konkret bedeutet dies, dass die Struktur sich bei den verschiedenen Lastfällen, und Kombinationen davon, nicht plastisch vervormen dürfen und somit eine genügend grosse Sicherheit gegen Fließen aufweisen muss.
- Weiter darf der Solar Butterfly sich nicht so stark verformen, dass seine Funktionstauglichkeit eingeschränkt wird. Die exakten Anforderungen an die Steifigkeit werden bei der Abhandlung der einzelnen Komponenten genauer beschrieben.
- Die Struktur des Solar Butterflys soll so ausgelegt werden, dass dieser ca. 180'000 km Fahrt auf zum teil recht holperiger Strasse auf sich nehmen kann. Dies beinhaltet die Auslegung der Komponenten auf Dauerfestigkeit.

### 2.2 Auslegungskriterien

Nachdem die allgemeinen Kriterien für den Solar Butterfly abgehandelt wurden, wird in diesem Unterkapitel behandelt, was die Anforderungen konkret für die einzelnen Komponenten und Strukturelementen bedeutet. Es wird beschrieben mit welchen Methoden die Auslegung angegangen wird und welche Vereinfachungen getroffen werden.

Verwendete Komponenten erwähnen? Sandwich, Profile usw...?

Grund Struktur erläutern... Boden, Chassis, Wände, Panels usw.

Sicherheitsfaktoren: 1.5

#### 2.2.1 Aluminiumstrukturen

- Sicherheit gegen Fließen: Herrschende Spannung muss kleiner sein als  $R_{p0.2}$

Spannungsarten:

- Hauptspannungen und
- Ermüdung.

- Instabilitäten; Knickung: Profile und Strukturen müssen so ausgelegt werden, dass diese nicht Knicken.

#### 2.2.2 Sandwichstrukturen

Auslegungskriterien der Sandwichstrukturen können gemäss [1] in die beiden Kategorien *Festigkeitsprobleme* und *Stabilitätsprobleme* eingeteilt werden. Zu den Festigkeitsproblemen gehören;

- Bruch der Deckschicht,
- Schubbruch der Kernschicht,
- Delamination und
- Ermüdung.

Zu den Stabilitätsproblemen gehören unter anderem;

- Knickung,
- Schubbeulung der Kernschicht (Shear Crimping) und
- Kurzweiliges Beulen der Deckschicht (Wrinkling).

Die auszulegenden Sandwichstrukturen werden gegenüber diesen Festigkeits und Stabilitätsproblemen abgesichert. Um den Rechenaufwand zu verringern werden Annahmen und Vereinfachungen getroffen.

**Annahmen und Vereinfachungen** Für die Auslegung von Sandwichstrukturen können gemäss [1] und [2] folgende Annahmen getroffen werden;

- linear elastische und isentrope Materialverhalten,
- Eigenbiegesteifigkeiten der Deckschichten sind vernachlässigbar,
- Dehnsteifigkeit der Kernschicht ist vernachlässigbar und
- die Kernschicht lässt sich nicht zusammendrücken.

Aus den getroffenen Annahmen resultiert ein vereinfachter Spannungszustand welcher besagt, dass die Deckschichten jeweils die Normalkräfte und die Kernschichten die Schubkräfte aufnehmen. (Sandwichmembrantheorie)

**Festigkeitsprobleme** Aus den getroffenen Annahmen und Vereinfachungen lassen sich die Formeln 1 und 2 herleiten. Mit der Formel 1 lassen sich die Spannungen in den Deckschichten berechnen. Die Dicke der Deckschicht wird gewählt, dass die zulässige Spannung höher liegt als jene, welche in der Deckschicht herrscht.

$$\sigma = \frac{1}{t_d} \cdot \left( \frac{n}{2} \pm \frac{m}{h} \right) \quad (1)$$

Mit der Formel 2 lassen sich die Schubspannungen in der Kernschicht berechnen und somit Aussagen über ihre Resistenz gegenüber dem Schubbruch machen. Die Dicke der Kernschicht wird so ausgelegt, dass die in der Kernschicht herrschenden Spannungen tiefer liegen als die zulässigen.

$$\tau_k = \frac{q}{t_k} \quad (2)$$

Die Delamination der Deckschichten wird abgesichert, indem die Auswahl des Klebers so getroffen wird, dass dieser eine höhere Schubfestigkeit aufweist als das Material der jeweiligen Kernschicht.

**Stabilitätsprobleme** Die Stabilitätsprobleme der Sandwichstrukturen lassen sich in globale und lokale Instabilitäten einteilen. Zur globalen Instabilität gehört das Knicken, welches sich aus der Euler-Knickung des schubsteifen Balkens und dem Schubknicken zusammensetzt. Die kritische Belastung, bei welcher es zur Euler-Knickung kommt, lässt sich gemäss [1] mit der Formel 3 berechnen, wobei  $b$  für die Breite der Sandwichstruktur steht.

$$P_{kB} = \frac{\pi^2 \cdot E_d \cdot I_D}{l_k^2} \quad (3)$$

wobei

$$I_D = 2 \cdot b \cdot t_d \cdot \left( \frac{t_k}{2} + t_d \right)^2 \quad (4)$$

Die kritische Schubknicklast lässt sich gemäss [1] mit der Formel 5 berechnen.

$$P_{kS} = b \cdot t_k \cdot G_k \quad (5)$$

Die totale kritische Knicklast  $P_k$  ergibt sich dann aus der Formel 6:

$$P_k = \frac{1}{\frac{1}{P_{kB}} + \frac{1}{P_{kS}}} \quad (6)$$

Zu den lokalen Instabilitäten zählen das Schubbeulen und das Knittern der Deckschicht. Die kritischen Spannungen, bei welcher Schubbeulung auftritt, lässt sich gemäss [1] aus den Formel 7 berechnen.

$$\sigma_k^* = G_k \cdot \frac{h^2}{2 \cdot t_k \cdot t_d} \quad (7)$$

Die kritischen Spannungen, bei welcher das Knittern der Deckschicht auftritt, lässt sich nach [1] mit der Formel 8 berechnen.

$$\sigma_k = k_s \sqrt[3]{E_d \cdot E_k \cdot G_k} \quad (8)$$

Wobei für Auslegungen  $k_s = 0.5$  gilt.

Die Sandwichstrukturen werden ausgelegt, dass sie die herrschenden Belastungen tiefer liegen als die Kritischen.

### Verwendete Materialien und zulässige Werte Bsp.

Bodenplatte aus T92.9 mit 1 mm Alublech:

- $\tau_{zul} = 10MPa$
- $\sigma_{zul} = 100MPa$
- *Dauerfestigkeit* = 42.0MPa
- $\sigma_{Knittern} = 200MPa$

Wand aus T92.6 mit 0.5 mm Alublech:

- $\tau_{zul} = 5MPa$
- $\sigma_{zul} = 100MPa$

- *Dauerfestigkeit* =  $42.0\text{MPa}$
- $\sigma_{Knittern} = 150\text{MPa}$

### 2.2.3 Verbindungen

- Nieten
- Schrauben
- Klebeverbindungen
- Spannpratzen

## 2.3 Dauerfestigkeit

Die Dauerfestigkeit des Solar Butteflys wird erreicht, indem durch entsprechendes Design, Spannungskonzentrationen vermieden werden. Weiter wird der Solar Butterfly so ausgelegt, dass dieser bei 50% der Lasten aus dem Lastenheft, mit einem R von 0, dauerhaft ist. Bei den Sandwichstrukturen wird dabei lediglich die Deckschicht auf die Dauerfestigkeit ausgelegt.

## 2.4 Verformung

## 3 FEM

Wie ist das FEM aufgesetzt und welchen Zweck erfüllt es?

## 4 Auslegung und Design

Hier werden Komponenten und Baugruppen ausgelegt

## Teil II

# Anhang

## A Quellenverzeichnis

- [1] B. Harry, "Eth-skript,"
- [2] B. Klein, "Leichtbau-konstruktion dimensionierung, strukturen, werkstoffe und gestaltung,"

## B Abbildungsverzeichnis

## C Tabellenverzeichnis

## D Rissfortschritt

### D.1 Zeichnungen

#### D.1.1 Zeichnung des Probenrohrlings - Erste Serie

#### D.1.2 Zeichnung des Probenrohrlings - Zweite Serie

## Teil III

# Elektronischer Anhang

## A Elektronischer Anhang

### A.1 Zeichnungen

#### A.1.1 Zeichnung des Probenrohrlings - Erste Serie

#### A.1.2 Zeichnung des Probenrohrlings - Zweite Serie