

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

I	Dokumentation	1
1	Einleitung	1
1.1	Aufgabenstellung	1
1.2	Abgrenzung der Arbeit	1
1.3	Vorgehen	1
1.4	Theorie	1
1.5	Auslegungskriterien Komponenten	3
2	Anforderungen	4
2.1	Anforderungen an den Solar Butterfly	4
2.2	Auslegungskriterien	4
2.2.1	Aluminiumstrukturen	4
2.2.2	Sandwichstrukturen und Platten	4
II	Anhang	6
A	Quellenverzeichnis	6
B	Abbildungsverzeichnis	6
C	Tabellenverzeichnis	6
D	Rissfortschritt	6
D.1	Zeichnungen	6
D.1.1	Zeichnung des Probenrohlings - Erste Serie	6
D.1.2	Zeichnung des Probenrohlings - Zweite Serie	6
III	Elektronischer Anhang	6
A	Elektronischer Anhang	6
A.1	Zeichnungen	6
A.1.1	Zeichnung des Probenrohlings - Erste Serie	6
A.1.2	Zeichnung des Probenrohlings - Zweite Serie	6

List of Symbols

B	The area of the needle point
c	Höhe des Schaumkernes
E_c	E-Modul des Schaumkernes
N	The number of angels per needle point

Teil I

Dokumentation

1 Einleitung

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

Lastenheft erstellen: (Welchen Belastungen wird der Solar Butterfly ausgesetzt?) Lastkollektive und Standardlastfälle: Quelle von Bärtsch Lasten bei: Fahren (Lastkollektiv) Stehen Wind Abstützung/Aufbockung Personen

Steifigkeitskriterien Ermitteln: (Was darf sich wie fest verformen?)

Design allowables bestimmen: (Welches Material hält wie viel aus?) Sandwichplatten Alu Evtl. Verbindungen (Kleben, Nieten, Schrauben)

FEM-Simulationen durchführen um Schnittgrößen zu bestimmen und anschliessend mit den Design Allowables vergleichen

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?) - Aluminiumstrukturen: - Platten: - Verbindungen: - Dauerfestigkeit:

Lastfälle definieren (Welche Szenarien muss der Butterfly alles aushalten)

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.

1.5 Auslegungskriterien Komponenten

Allgemeine Kriterien:

- Aluminiumstrukturen: - Verschmierte Materialwerte - Max Spannungen, dehnung usw. - Knicke - Designallowables: 100MPa usw.
- Platten: - Beulen, Knittern, Max. Spannungen usw. - Designallowables für platten: 25x1 12x0 usw.
- Verbindungen: - Nieten - Schrauben - Klebeverbindungen
- Dauerfestigkeit: - Für Strukturen: Struktur muss 50% der Maximalen Belastung Dauerfest sein.
- Muss für Sandwich ermittelt werden?

2 Anforderungen

In diesem Kapitel wird beschrieben, welchen Anforderungen der Solar Butterfly und dessen Komponenten gerecht werden müssen. Zu Beginn wird auf die allgemeinen Anforderungen des Solar Butterflys eingegangen und anschliessend auf die Auslegungskriterien der einzelnen Komponenten.

2.1 Anforderungen an den Solar Butterfly

Als *Anforderungen* werden Kriterien verstanden, welche erfüllt werden müssen. In dieser Arbeit werden lediglich die Anforderungen bezüglich der Auslegung und der Festigkeitsaspekten behandelt. Die komplette Anforderungsliste des Solar Butterflys ist in der Arbeit von HUBER zu finden. Es wird definiert, was erfüllt werden muss, und wie das Erfüllen des Kriteriums gewährleistet wird.

- 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 verformen darf und 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. 200'000km Fahrt auf zum Teil recht holperiger Strasse auf sich nehmen kann. Dies beinhaltet die Auslegung der Komponenten auf Dauerfestigkeit. Es wird die vereinfachte Annahme getroffen, dass die Struktur für 50% der Maximallast dauerhaft ausgelegt werden soll.

2.2 Auslegungskriterien

Nachdem die allgemeinen Kriterien für den Solar Butterfly abgehandelt wurden, wird in diesem Unterkapitel behandelt, was die Anforderungen konkret für die Einzelkomponenten bedeutet. Es wird beschrieben, mit welchen Methoden vorgegangen wird und welche Vereinfachungen gemacht werden.

2.2.1 Aluminiumstrukturen

- Verschmierte Materialwerte - Max Spannungen, Dehnung usw. - Knickung - Designallowables: 100MPa usw.

2.2.2 Sandwichstrukturen und Platten

Was müssen die Platten aushalten: Festigkeitsprobleme: Bruch der Deckschicht, Schubbruch der Kernschicht, Verformung, Delamination, Ermüdung.

Stabilitätsprobleme: Knicken, Schubbeulung der Kernschicht (Shear Crimping), kurzweiliges Beulen der Deckschicht (Wrinkling).

Annahmen und Vereinfachungen linear elastisches Materialverhalten, homogene und isentrope Materialien, Eigenbiegesteifigkeit der Deckschichten ist vernachlässigbar, Dehnsteifigkeit des Kerns wird vernachlässigt, kein Zusammendrücken des Kerns.

Festigkeitsprobleme Lamierte schichten nehmen Normalkräfte auf, der Schaum die Schubkräfte. [Abbildung vereinfachte Spannungen] Normalkräfte werden von den Deckschichten übernommen, daher:

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

Schubkräfte werden durch den Kern aufgenommen, daher:

$$\tau_c = \frac{q}{t_c} \quad (2)$$

Verformung???

Kleber wird so gewählt, dass der Kern schwächer ist. So kann eine Delamination ausgeschlossen werden. Ermüdung???????

Stabilitätsprobleme Globale Instabilität: Euler-Knicklast:

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

wobei

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

Schubknicklast:

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

Die Gesamte kritische Knicklast ergibt sich zu:

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

Lokale Instabilitäten: Schubbeulen:

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

Knittern:

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

wobei k_s für Auslegungen = 0.5 ist.

Verbindungen - Nieten - Schrauben - Klebeverbindungen

Dauerfestigkeit - Muss für Sandwich ermittelt werden? - Für Strukturen: Struktur muss 50% der Maximalen Belastung Dauerfest sein.

Teil II

Anhang

A Quellenverzeichnis

B Abbildungsverzeichnis

C Tabellenverzeichnis

D Rissfortschritt

D.1 Zeichnungen

D.1.1 Zeichnung des Probenrohlings - Erste Serie

D.1.2 Zeichnung des Probenrohlings - Zweite Serie

Teil III

Elektronischer Anhang

A Elektronischer Anhang

A.1 Zeichnungen

A.1.1 Zeichnung des Probenrohlings - Erste Serie

A.1.2 Zeichnung des Probenrohlings - Zweite Serie