

## Luft- und Raumfahrt

# Solar Impulse

Ohne einen Tropfen Treibstoff fliegend die Welt umrunden

### Product

Femap mit NX Nastran

### Herausforderungen

Optimieren der Konstruktion von Metallteilen des Flugzeugs und den Composite- und Sandwich-Verbundstrukturen der Kevlar-Pappwabenkonstruktion zur Gewichtsreduktion

### Erfolgsfaktoren

Integrierter FEA-Solver mit Pre- und Postprozessor zur Unterstützung einer breiten Palette von Analysearten

Möglichkeit des direkten CAD-Geometrieimports

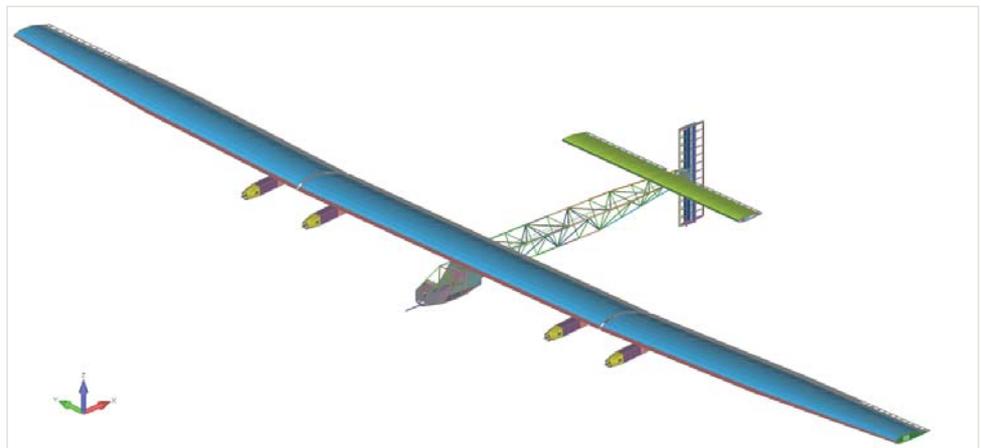
Mittels Femap-API kundenspezifische Funktionen erzeugt

Schnelle Interpretation der Ergebnisse mittels Datentabelle; Möglichkeit zur Kombination von Ausgabesätzen

Zusammenarbeit mit Siemens-Partner AeroFEM

### Ergebnisse

**Cockpit um Faktor 3 vergrößert bei weniger als doppeltem Gewicht**



**Femap mit NX Nastran wird für die Optimierung und Überprüfung der Konstruktion des ersten Flugzeuges verwendet, das die Erde ausschließlich mit Sonnenenergie umrundete.**

### Per Solarflugzeug um die Welt

Die Solar Impulse ist ein mit Sonnenenergie betriebenes Flugzeug. Leiter des Projektes sind der schweizer Psychiater und Pilot Bertrand Piccard, Copilot bei der ersten Nonstop-Erdumrundung mit einem Ballon, und der schweizer Ingenieur und Unternehmer André Borschberg. Ziel des Projektes ist, die Erde in einem Flächenflugzeug zu umrunden, das ausschließlich mit Sonnenenergie betrieben wird. Die Erdumrundung, eine Reise über 35.000 km/21.000 Meilen und 500 Flugstunden, begann im März 2015.

Das Flugzeug, mit dem die Erde umrundet wurde, ist das zweite von diesem Unternehmen hergestellte Modell. Es trägt die schweizerische Luftfahrzeugregistrierung HB-SIB und ist als Solar Impulse 2 bekannt.

Sein Vorläufer war die HB-SIA, die 2009 ihren Jungfernflug unternommen hat und im Juli 2010 während eines 26-stündigen Fluges einen ganzen Tagesgang der Sonne sowie beinahe neun Nachtstunden lang geflogen ist.

Aufgrund der mit der HB-SIA gemachten Erfahrungen erhielt die Solar Impulse 2 eine größere Flügelspannweite von 71,9 m. Das ist nur knapp kürzer als die des weltgrößten Flugzeugs, der Airbus A380. Um Flüge über mehrere Tage oder Ozeanquerungen zu ermöglichen, verfügt sie außerdem über ein dreimal so großes Cockpit.

### Ergebnisse (Fortsetzung)

Möglichkeit der Optimierung von Dicke und Anzahl von Kohlefaser-Schichten half das Gewicht der Tragflächenkonstruktion gering zu halten

Höhere Belastbarkeit der Motorgondeln bei nur minimaler Gewichtszunahme

Das Flugzeug widersteht trotz geringstmöglichem Gewicht den Unbilden der Weltumrundung

„Die Lagendefinition ist total einfach. Mit Femap konnten wir uns sehr rasch mit dieser Materie vertraut machen.“

Gerı Piller  
Leiter Strukturanalyseabteilung  
Solar Impulse

Einer der bemerkenswertesten Aspekte der Solar Impulse 2 ist die Tatsache, dass sie trotz dieser enormen Spannweite und der 633 kg wiegenden Batterien nur wenig mehr Gewicht auf die Waage bringt als ein durchschnittliches Auto (2.300 kg). Die Gewichtsminimierung war ganz offensichtlich eine der wesentlichsten Anforderungen an die Konstruktion. „Das Flugzeug benötigt eine Menge Batterien, und die sind schwer“, erklärt Gerı Piller, Leiter der Berechnungs- und Strukturanalyseabteilung bei Solar Impulse. „Das Flugzeug erhält jedoch nur einen geringen Teil der Energie von den Solarzellen und muss deshalb wirklich leicht sein.“

### Eine FEA-Lösung für viele Arten der Analyse

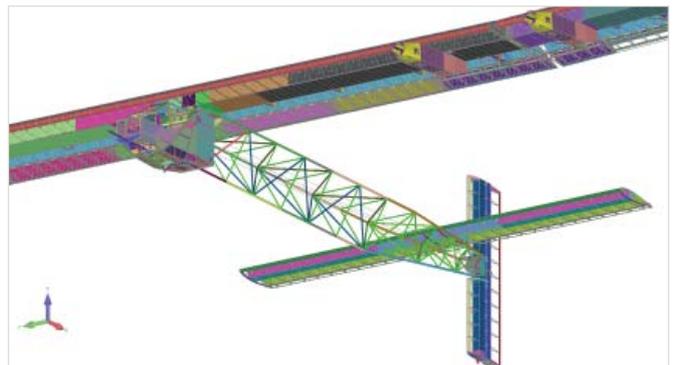
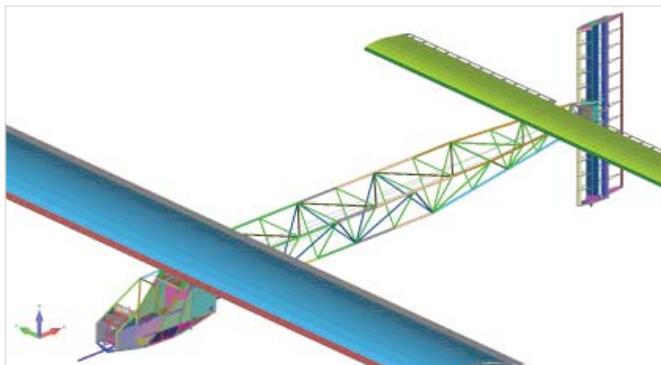
Bei der Entwicklung sowohl der HB-SIA als auch der HB-SIB verwendete das aus Piller und vier weiteren Ingenieuren bestehende Strukturanalyse-Team als Lösung für die Finite Elemente Analyse (FEA) die Software Femap™ mit NX™ Nastran® vom Product

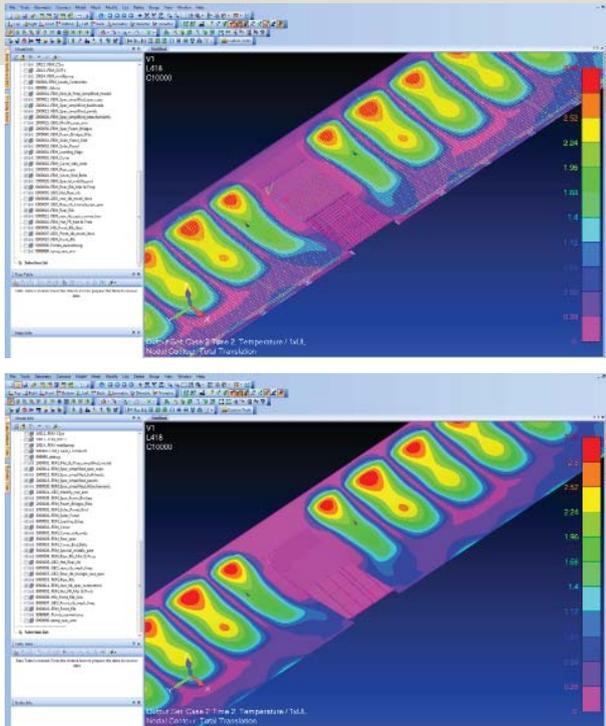
Lifecycle Management (PLM) Spezialisten Siemens PLM Software. Das Unternehmen verwendet Femap mit NX Nastran seit 2007 und nutzte die Software zuletzt auch für die Feinabstimmungen an der Solar Impulse 2 als Vorbereitung auf ihre Reise um die Welt.

Piller wählte für das Solar Impulse Projekt Femap mit NX Nastran, weil die Lösung vom schweizerischen Engineering-Unternehmen und Siemens PLM Software Partner AeroFEM eingesetzt wird, die im Auftrag von Solar Impulse spezielle Analysen durchführte, etwa Aeroelastizität und Rotordynamik. Femap mit NX Nastran unterstützt sämtliche der verschiedenen für das Projekt Solar Impulse erforderlichen Analysearten (Festigkeit, Stauchung, Verformung, etc.), und die Wahl dieses Produktes ermöglicht es zwei Teams, nahtlos zusammenzuarbeiten. „Die Ingenieure bei AeroFEM sind wie ein Teil meines Teams“, sagt Piller. „Unsere Zusammenarbeit ist wirklich großartig.“

# „Mit Femap sahen wir sehr schnell, woran wir arbeiten mussten und wo wir noch optimieren konnten.“

Gerı Piller  
Leiter Strukturanalyseabteilung  
Solar Impulse





### Starke Funktionalität für das Aufsetzen von Analysen und für das Interpretieren der Ergebnisse

Femap erhält die Geometriedaten der Konstrukteure bei Solar Impulse aus dem CAD-System im STEP- oder IGES-Format. Diese Geometrie bildet die Grundlage für Finite Elemente (FE) Modelle. Femap besitzt auch eine eigene Modellierungsfunktion, die Piller einfach anzuwenden findet, insbesondere für die Verbundwerkstoffe, aus denen ein großer Teil des Flugzeuges besteht. „Die Lagendefinition ist total einfach“, sagt er. „Mit Femap konnten wir uns sehr rasch mit dieser Materie vertraut machen.“

Als Beispiel für die Verwendung sowohl von importierten Geometriedaten als auch der Modellierungstools in Femap beschreibt Piller am Tragflächenaufbau des Flugzeuges durchgeführte Arbeiten. Die Analytiker erzeugten ursprünglich aus der CAD-Geometrie der äußeren Oberfläche der Tragflächen ein einfaches Analysemodell, um sich die Lastverläufe anzusehen. Später fügten sie unter Verwendung von Femap 3D-Körper als Modell des Aramid-Papierwabenkerns aus Kevlar® hinzu, um detailliertere Analysen

durchzuführen, etwa über die örtliche und gesamte Stauchung. Die Größe der FE-Modelle für die Metallteile des Flugzeuges reicht von 50.000 bis 500.000 Elementen. Das Modell der Haupt-Tragflächenkonstruktion enthält zwei Millionen Elemente. In der Regel evaluieren die Analytiker 10 bis 20 Lastzyklen, in Ausdauerests werden nicht weniger als 160 betrachtet.

Mithilfe des Femap API (Applikation Programming Interface) schreibt Piller Team Scripts, um die Analysearbeit teilweise zu automatisieren.

Ein besonders hilfreiches Script wendet die programmierten unternehmenseigenen Festigkeitskriterien für die Verbundwerkstoffe an und hilft so, die Überprüfung der Laminat- zu automatisieren. Ein anderes läuft nach den Analysen der Composite-Teile. Es evaluiert die Ergebnisse automatisch anhand der Lage mit den höchsten Belastungen und zeigt schnell die Problemstellen in der Laminat- oder Sandwich-Struktur auf. „Scripts wie diese ersparen uns Zeit und – ebenso wichtig – helfen, die Genauigkeit der Analysen zu gewährleisten“, sagt Piller.

Die Analysten verwenden die Femap-Datentabelle häufig als Mittel zur schnellen Zusammenfassung und Interpretation der Analyseergebnisse. Die Datenbewertungsfunktion zeigt beispielsweise sehr rasch Belastungsminima und -maxima. „Wir nutzen diese Möglichkeit sehr viel. Was diese Funktion wirklich nützlich macht, ist die Möglichkeit, Ausgabesätze zu kombinieren“, sagt Piller.

### Dreimal größeres Cockpit mit weniger als doppeltem Gewicht

Ein konkretes Beispiel für den Wert, den die Verwendung von Femap mit NX Nastran in diesem Projekt bringt, ist das

Durch die Verwendung von Femap bei diesem Projekt konnten Piller und seine Kollegen rasch ermitteln, wie sie am besten das Gewicht des Flugzeuges senken und dennoch dessen Eignung für die Unbilden der Weltumrundung gewährleisten konnten.

## Lösungen/Dienstleistungen

Femap

[www.siemens.com/plm/femap](http://www.siemens.com/plm/femap)

### Hauptaktivität des Kunden

Solar Impulse SA ist Hersteller und Betreiber eines mit Sonnenenergie betriebenes Flugzeuges. Leiter des Projektes sind der schweizer Psychiater und Pilot Bertrand Piccard und der schweizer Ingenieur und Unternehmer André Borschberg.

[www.solarimpulse.com](http://www.solarimpulse.com)

### Customer location

Lausanne

Schweiz

### Partner

AeroFEM GmbH

[www.aerofem.com](http://www.aerofem.com)

Obwohl das Cockpit dreimal so groß ist, wiegt es weniger als das Doppelte des Originals.

Cockpit des Flugzeuges, bei dessen Gewichtsreduktion die FEA-Lösung eine Rolle spielte. Das einsitzige Cockpit des Flugzeuges, das um die Welt flog, ist mit 3,8 m<sup>3</sup> winzig, es ist jedoch drei Mal so groß wie das Cockpit des ersten Flugzeuges von Solar Impulse (Das neue Cockpit ist in der Tat so viel geräumiger, dass Solar Impulse auf seiner Website scherzhaft behauptet, das Unternehmen habe „dem Piloten ein Upgrade auf die Business-Class gegeben“).

Obwohl das neue Cockpit drei Mal größer ist, wiegt es weniger als das Doppelte des Originals (60 kg gegenüber 42 kg beim Vorgängermodell).

Auch bei der Tragflächenkonstruktion des neuen Flugzeuges hat Femap zu einer wesentlichen Gewichtsreduktion beigetragen. Die Tragfläche besteht aus einem Wabenkern aus Kevlar, der mit einem hochentwickelten Kohlefasermaterial überzogen ist. Da das neue Flugzeug schneller fliegt als das erste, mussten seine Tragflächen höhere Lasten aufnehmen. Analytiker optimierten mithilfe von Femap die Anzahl der

Kohlefaserschichten so, dass sie die erforderlichen Belastungsfälle mit dem geringsten zusätzlichen Gewicht erreichen konnten. Sie waren in der Lage, von einem Material mit einem Gewicht von 100 Gramm pro Quadratmeter auf ein solches mit nur 25 g/m<sup>2</sup> umzusteigen, was eine erhebliche Gewichtsersparnis brachte.

Die Motorgondel des zweiten Flugzeuges muss ebenfalls eine höhere Last tragen. Auch hier wurde die Gewichtszunahme auf ein Minimum beschränkt, einerseits durch den Umstieg von einer Rahmenkonstruktion mit Stromlinienverkleidung auf eine Sandwichstruktur und andererseits durch Optimierung von Komponenten wie Verblenden oder Holzgurte mittels FEA.

Durch die Verwendung von Femap bei diesem Projekt konnten Piller und seine Kollegen rasch ermitteln, wie sie am besten das Gewicht des Flugzeuges senken und dennoch dessen Eignung für die Umbilden der Weltumrundung gewährleisten konnten. „Mit Femap sahen wir sehr schnell, woran wir arbeiten mussten und wo wir optimieren konnten“, sagt Piller.

“Die Ingenieure von AeroFEM sind wie ein Teil meines Teams. Unsere Zusammenarbeit ist wirklich großartig.”

Gerı Piller  
Leiter Strukturanalyseabteilung  
Solar Impulse

### Siemens PLM Software

Deutschland +49 221 20802-0  
Österreich +43 732 37755-0  
Schweiz +41 44 75572-72

[www.siemens.com/plm](http://www.siemens.com/plm)

© Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. Siemens and the Siemens logo are registered trademarks of Siemens AG. D-Cubed, Femap, Fibersim, Geolus, GO PLM, I-deas, J.T., NX, Parasolid, Solid Edge, Syncrofit, Teamcenter and Tecnomatix are trademarks or registered trademarks of Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. or its subsidiaries in the United States and in other countries. NASTRAN is a registered trademark of the National Aeronautics and Space Administration. Kevlar is a trademark or registered trademark of E. I. du Pont de Nemours and Company or its affiliates. All other logos, trademarks, registered trademarks or service marks belong to their respective holders.

44290-Z16-DE 7/15 loc