

Auslegung von Solargeneratoren für eine Merkur-Mission mit Pro/MECHANICA

Dr.-Ing. Stefan Reul, PRETECH GmbH



Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Zweck
- Solargenerator-Aufbau
- Pro/MECHANICA Modell
- Thermische und strukturmechanische Ergebnisse
- Zusammenfassung

Mit freundlicher Genehmigung der ESA/ESTEC, Noordwijk,
und Galileo Avionica, Milano



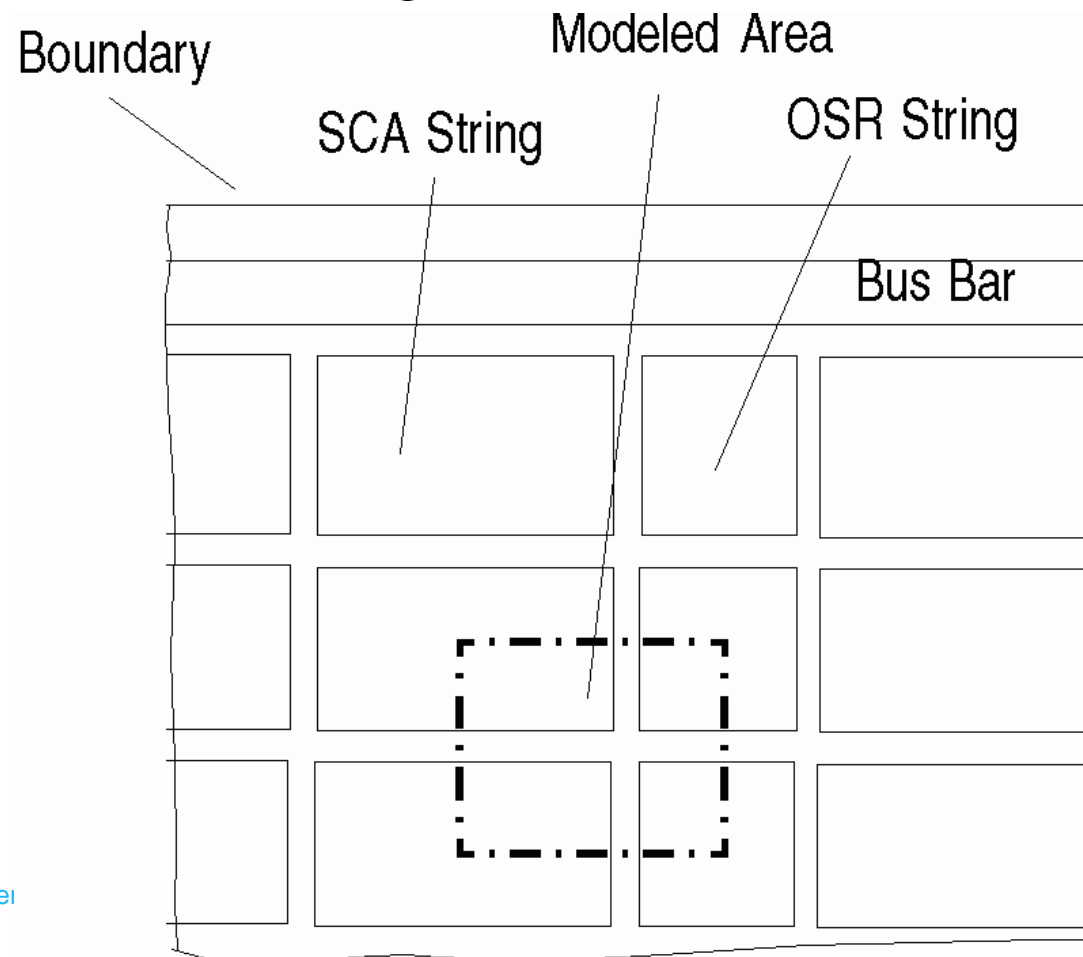
Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Zweck
 - Entwicklung einer Solarzellen-Aufbau Technologie
 - Umgebungsbedingungen (neben Vakuum):
 - Bis zu 25 Solarkonstanten (25 SC; 1 SC = 1,35 kW/m²)
 - Am Merkur ‚nur‘ 10 SC
 - Ziel: Temperaturen an den Solarzellen unterhalb von 300 °C bei max. elektrischer Leistung
 - Bestimmung der Temperaturen und Spannungen
 - Untersuchung u.a. verschiedener
 - Generatorsubstrate (Kohlefaser und Al)
 - Anteile zwischen Spiegeln (OSR's) u. Solarzellen (SCA's)
 - Solarzellen-Typen



Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Aufbau einer Solargenerator-Konstruktion



Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Berücksichtigte Modell-Teile
 - Teile: Substrat, Kleber, Solarzellen, Spiegel, Deckglas, etc.
 - Zellenformate: zwischen 40x40 mm² und 80x60 mm²
 - Zellen-Dicken: 0,15 mm
 - Deckglas- und Spiegel-Dicken: 0,10 mm
 - Spiegelformate: zwischen 40x40 mm² und 40x60 mm²
 - CFRP- und C-C-Honeycomb-Substrat und Decklagen



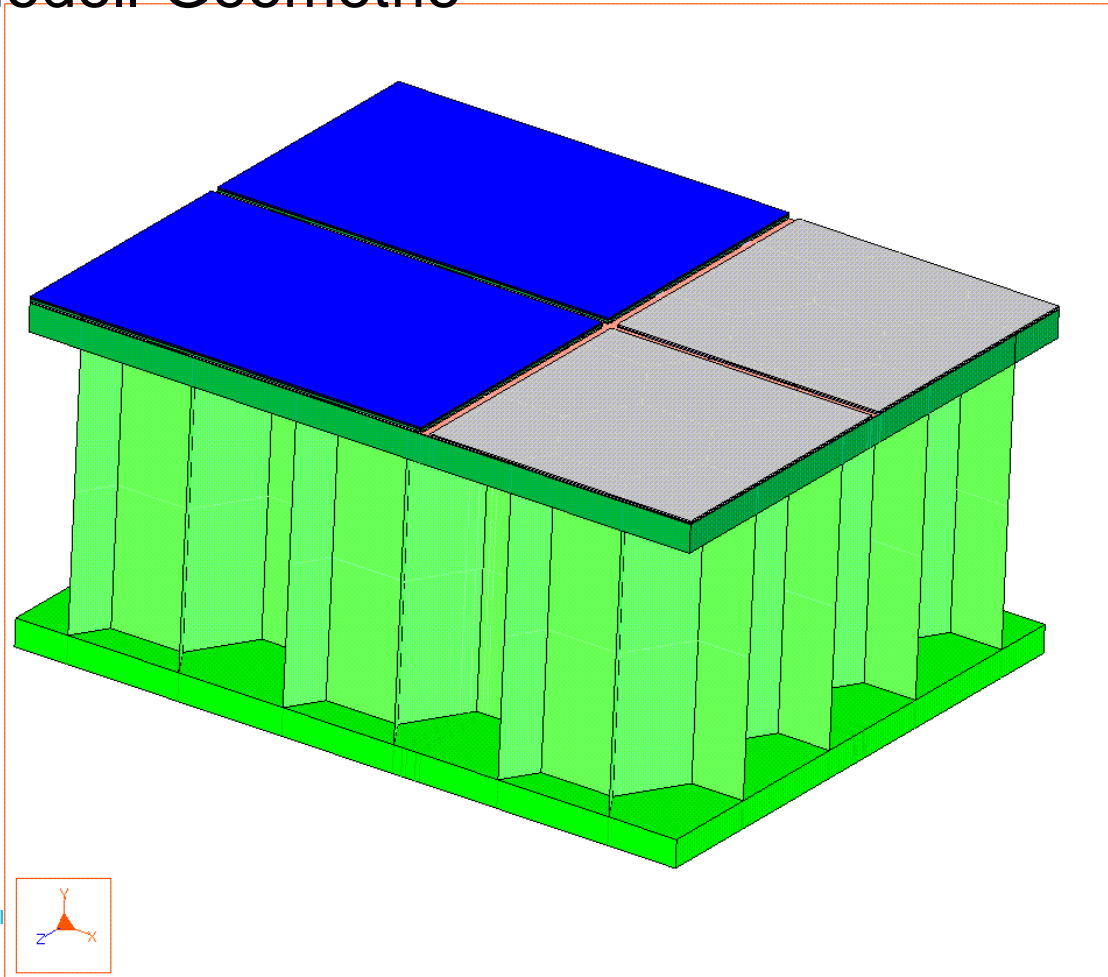
Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Berechnungen berücksichtigen:
 - Symmetrie um den Modellrand herum (alle 4 Seiten)
 - Strahlung gegen 10 K Umgebung (iteratives Vorgehen)
 - Absorption der Sonnenstrahlung auf allen Vorderseiten-Flächen und -Kanten mit unterschiedlichen Absorptionskoeffizienten
 - Orthotropes Materialverhalten des Honeycomb
 - Materialverhalten bei erhöhten Temperaturen (300 °C)
 - Solarer Einstrahlwinkel 15° (25 SC) und 90° (senkrecht, 10 SC)



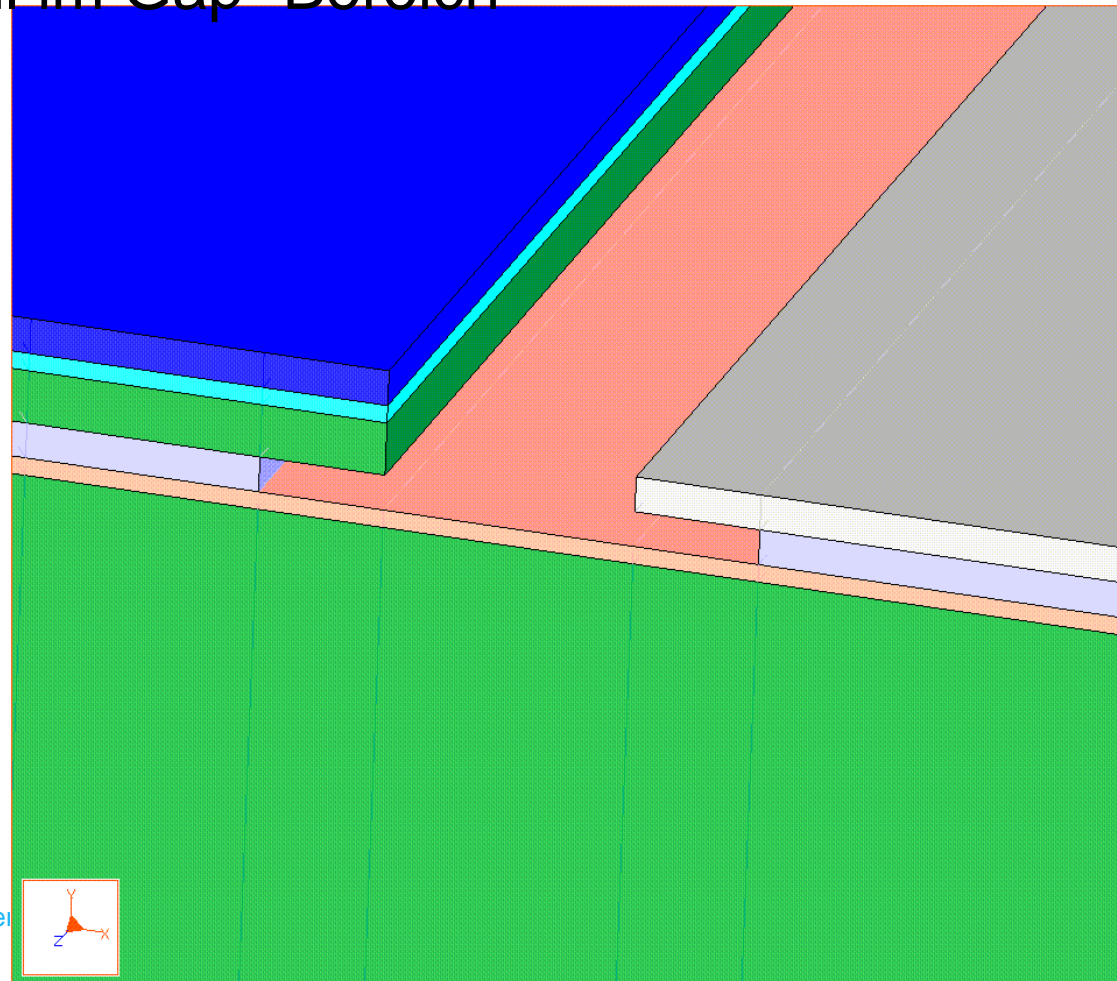
Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- 3D-Modell-Geometrie



Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Detail im Gap -Bereich



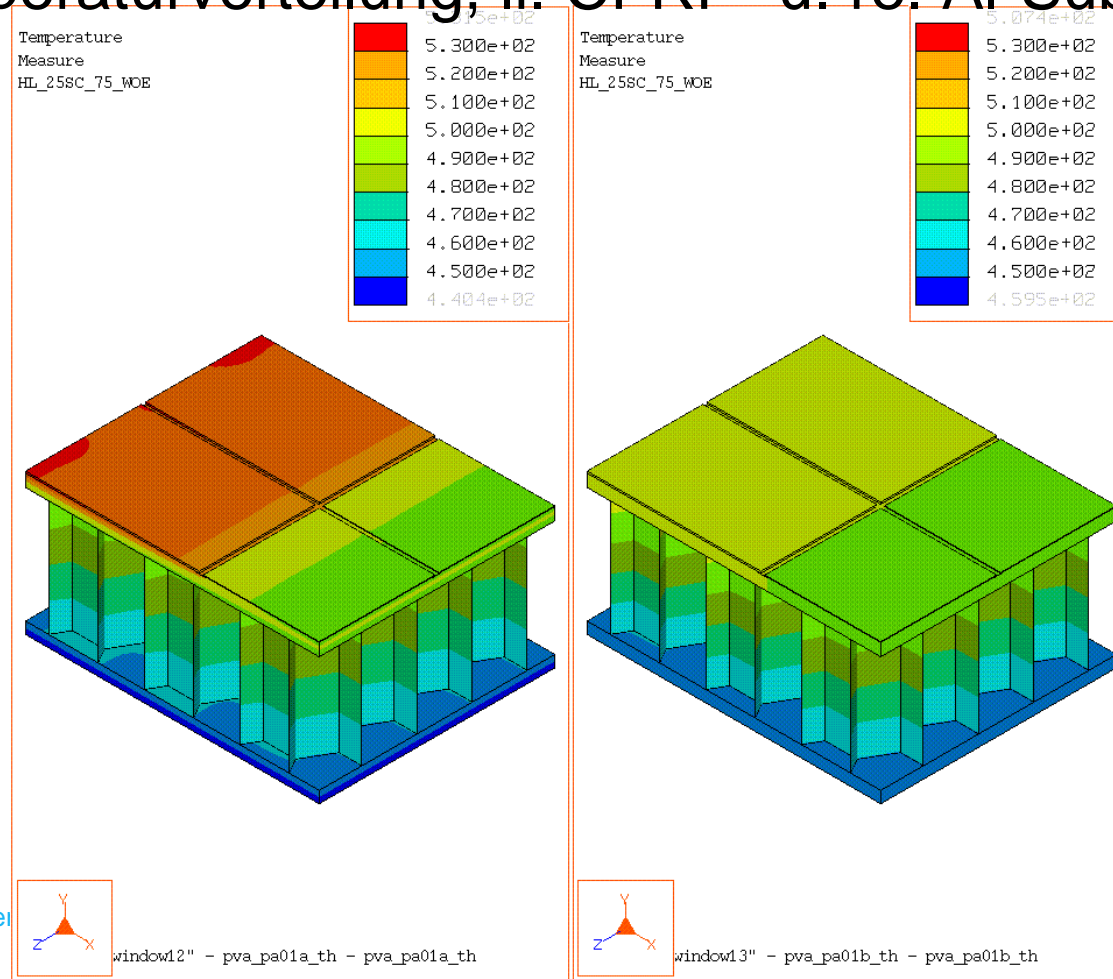
Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Analysen
 - Pro/MECHANICA Thermal unterstützt z.Z. keine Strahlung
 - Strahlung durch temperaturabhängige konvektive Randbedingungen modellieren
 - Der Wärmeübergangskoeffizient muß dann in einem iterativen Prozess bestimmt werden
 - Die Berechnungen erfolgen in zwei Schritten:
 - Quasistatische thermische Analyse mit Pro/MECHANICA Thermal
 - Quasistatische strukturmechanische Analyse mit Pro/MECHANICA Structure
 - Vor-Analysen: für den Ersatz des Honeycombs und zur Verifikation unbekannter Materialdaten



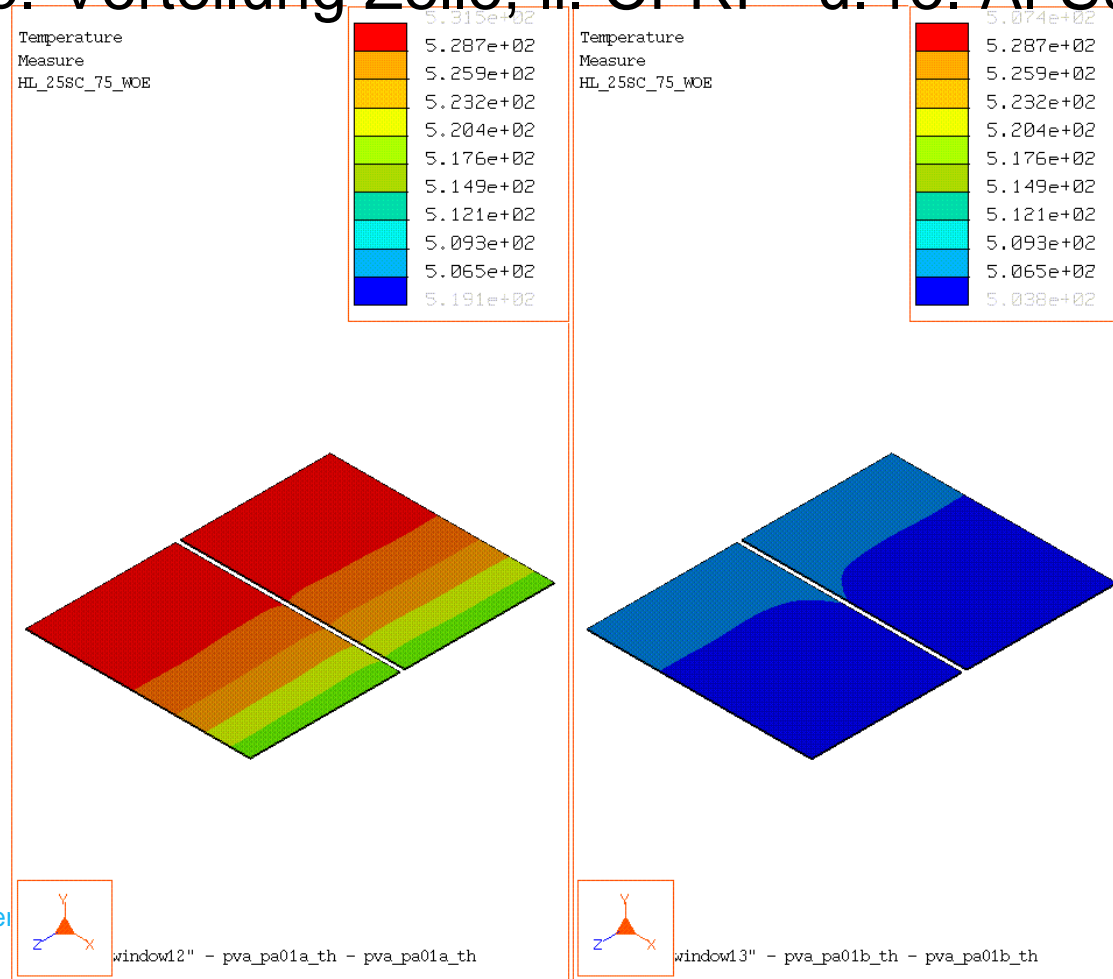
Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Temperaturverteilung, li. CFRP- u. re. Al-Substrat



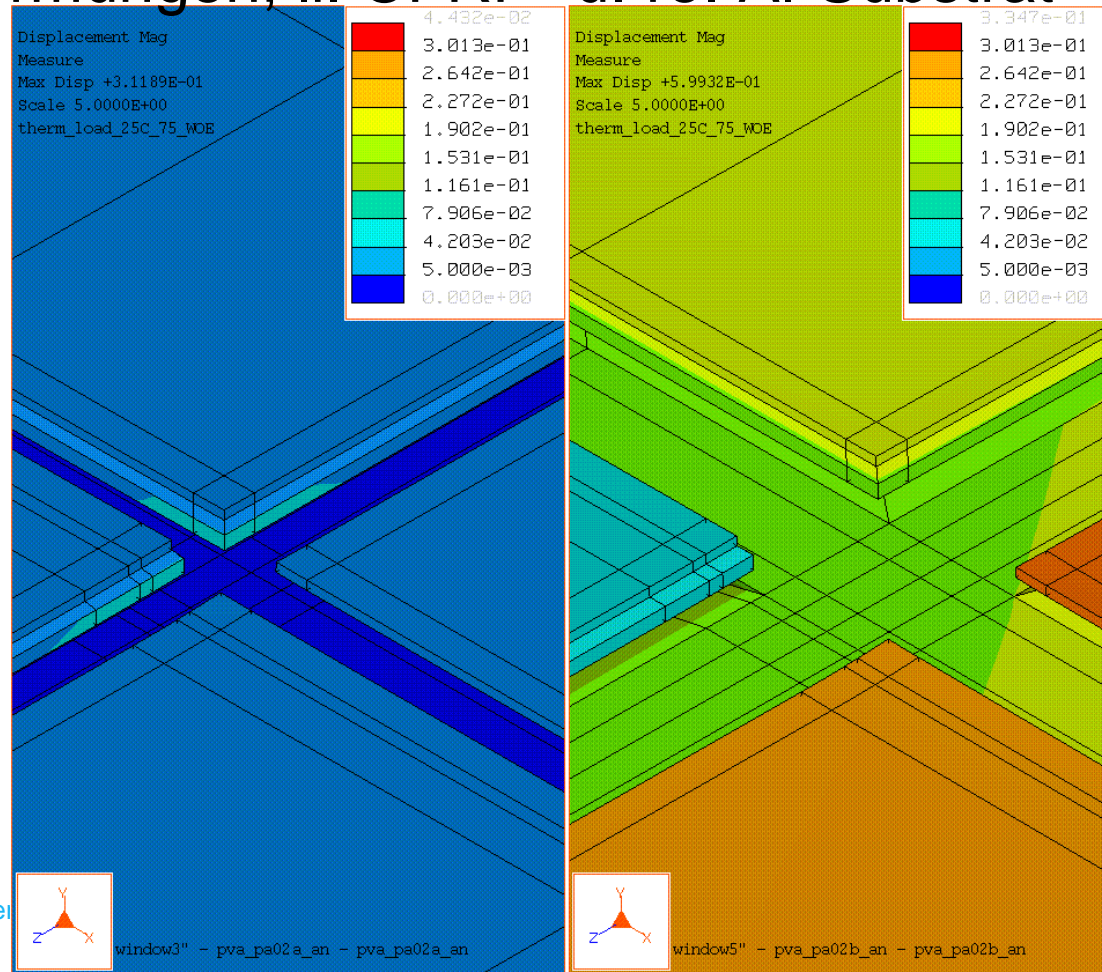
Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Temp.-Verteilung Zelle, li. CFRP- u. re. Al-Substrat



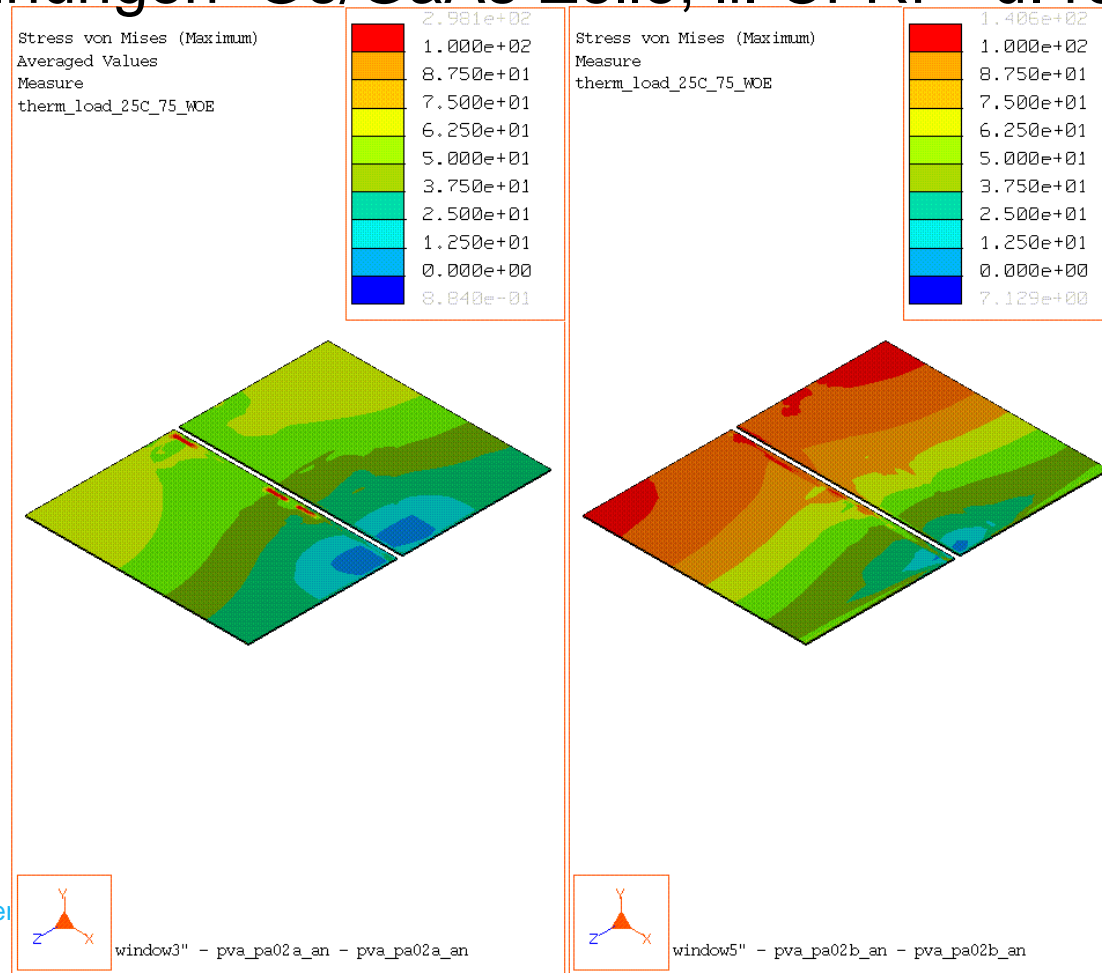
Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Verformungen, li. CFRP- u. re. Al-Substrat



Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Spannungen Ge/GaAs-Zelle, li. CFRP- u. re. Al-Subst.



Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Ergebnisse aus thermo-mechanischer Sicht I
 - Temperaturen innerhalb der PVA's mit C-C-Deckschichten (nicht CFRP!) sind geringer oder fast gleich wie bei Al-Deckschichten
 - Die Temperaturen in den Solarzellen hängen stark von der in-plane Wärmeleitfähigkeit der Substrat-Deckschichten ab
 - Al-Deckschichten verursachen hohe Spannungsniveaus innerhalb der SCA's und OSR's
 - Die durch die CFRP-Decklagen verursachten Spannungsniveaus sind 30 % bis 50 % niedriger als beim Al



Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Ergebnisse aus thermo-mechanischer Sicht II
 - Das Füllen der Gaps mit Kleber verursacht zusätzliche Spannungen in den Kanten/Ecken der Solarzellen und OSR's
 - Generatoren mit C-C-Decklagen und Honeycomb, 40x60 mm² Solarzellen und 40x40 mm² OSR's erscheinen optimal
 - Vergrößerung der Silberdicken der Kontakte unter den Solarzellen verbessern die in-plane Wärmeleitung
 - Eine Vergrößerung der Honeycomb-Wandstärken verbessert die Wärmeleitung in vertikaler Richtung
 - Deckgläser mit reflektierenden Fasern sollten zusätzlich untersucht werden



Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

- Allgemeine Ergebnisse
 - Solargenerator-Strukturen können gut mit Pro/MECHANICA Thermal und Structure analysiert werden
 - Strahlung kann nur durch einen iterativen Prozess berücksichtigt werden
 - Dünne Schichten können besonders effektiv durch Extrudieren vernetzt werden



Solargeneratoren für eine Merkur-Mission

Recht herzlichen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

Fragen ?

