

Hannes Ross:

Mit der Sonne um die Welt – Das Flugzeugprojekt SolarImpuls



Präsentation für DGLR / RAeS / VDI / ZAL / PSL

Hamburg Aerospace Lecture Series

Hamburg University of Applied Sciences

06.12.2017

Download this file from:

<http://hamburg.dgfr.de>

<http://doi.org/10.5281/zenodo.1133172>

Copyright © Hannes Ross

The work is licensed under a

Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License:

CC BY-NC-SA

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>

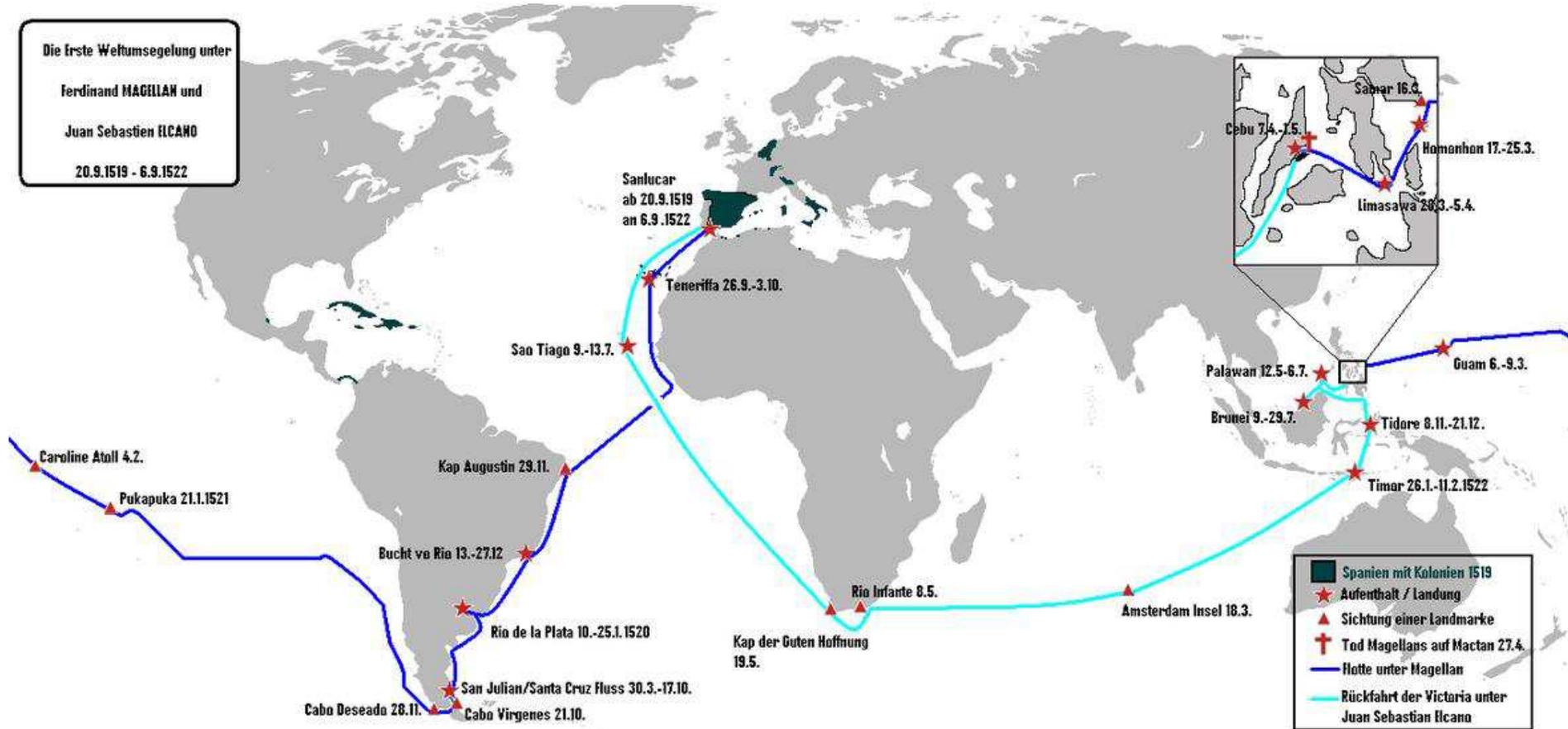


Any further request

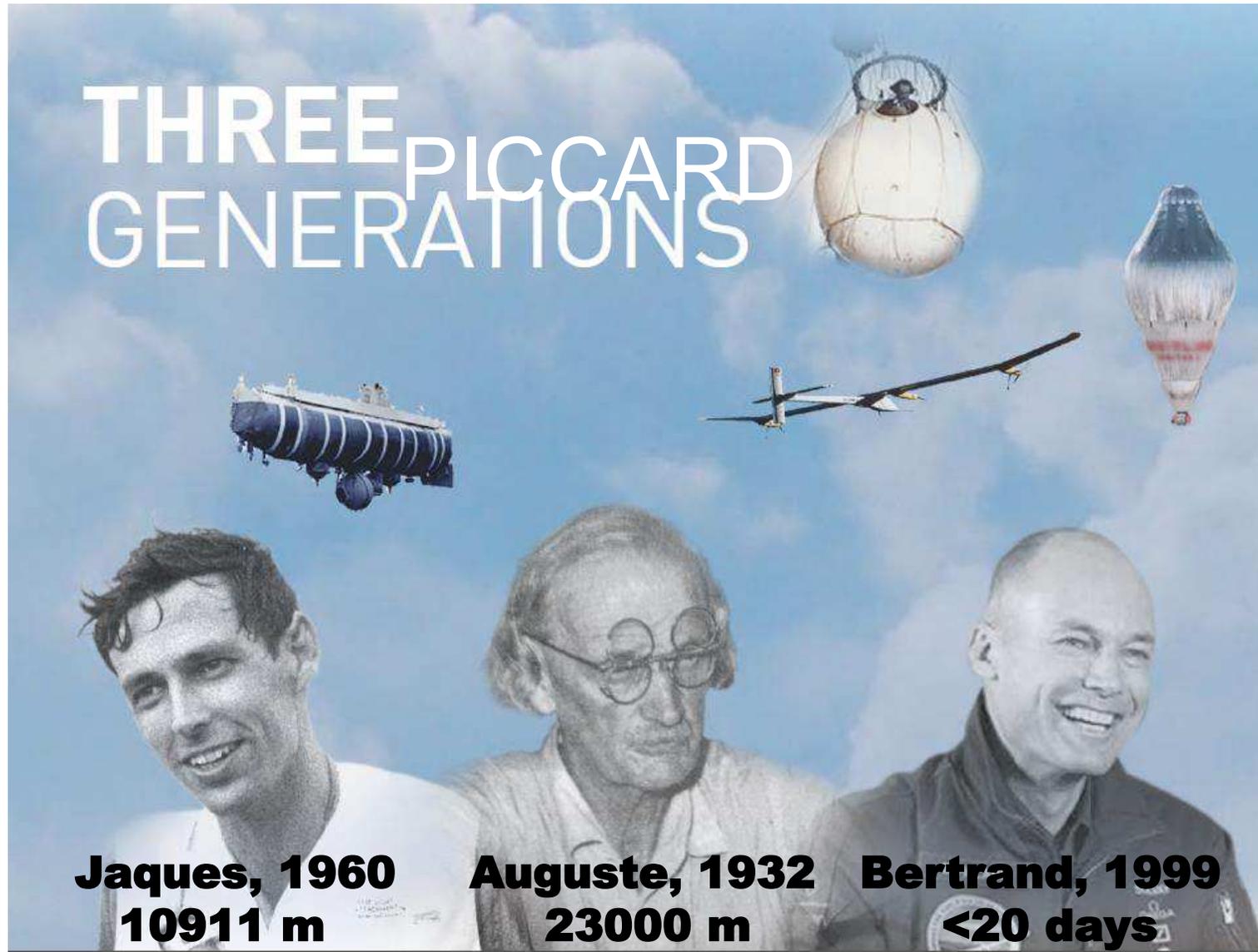
may be directed to Hannes Ross

E-Mail: Hannes.Ross@t-online.de

Die allererste Weltumrundung vor ~500 Jahren
 20.Sept. 1519 – 6 September 1522



THREE PICCARD GENERATIONS



Jaques, 1960
10911 m

Auguste, 1932
23000 m

Bertrand, 1999
<20 days



**Von 3,7 to flüssigem Propangas
waren bei der Landung nur noch
37kg geblieben!**

**2001 von Bertrand Piccard /
André Borschberg gestartet**

Ziel:

Entwicklung eines bemannten
Solarflugzeuges was nur mit dem
Strom der Solarzellen um die Welt
fliegen kann.

Machbarkeitsstudie 2002-2003

Vorgehensweise:

Entwicklung eines "Prototypen"
zum Nachweis eines 24
Stundenzyklus mit positiver
Energiebilanz → HB-SIA

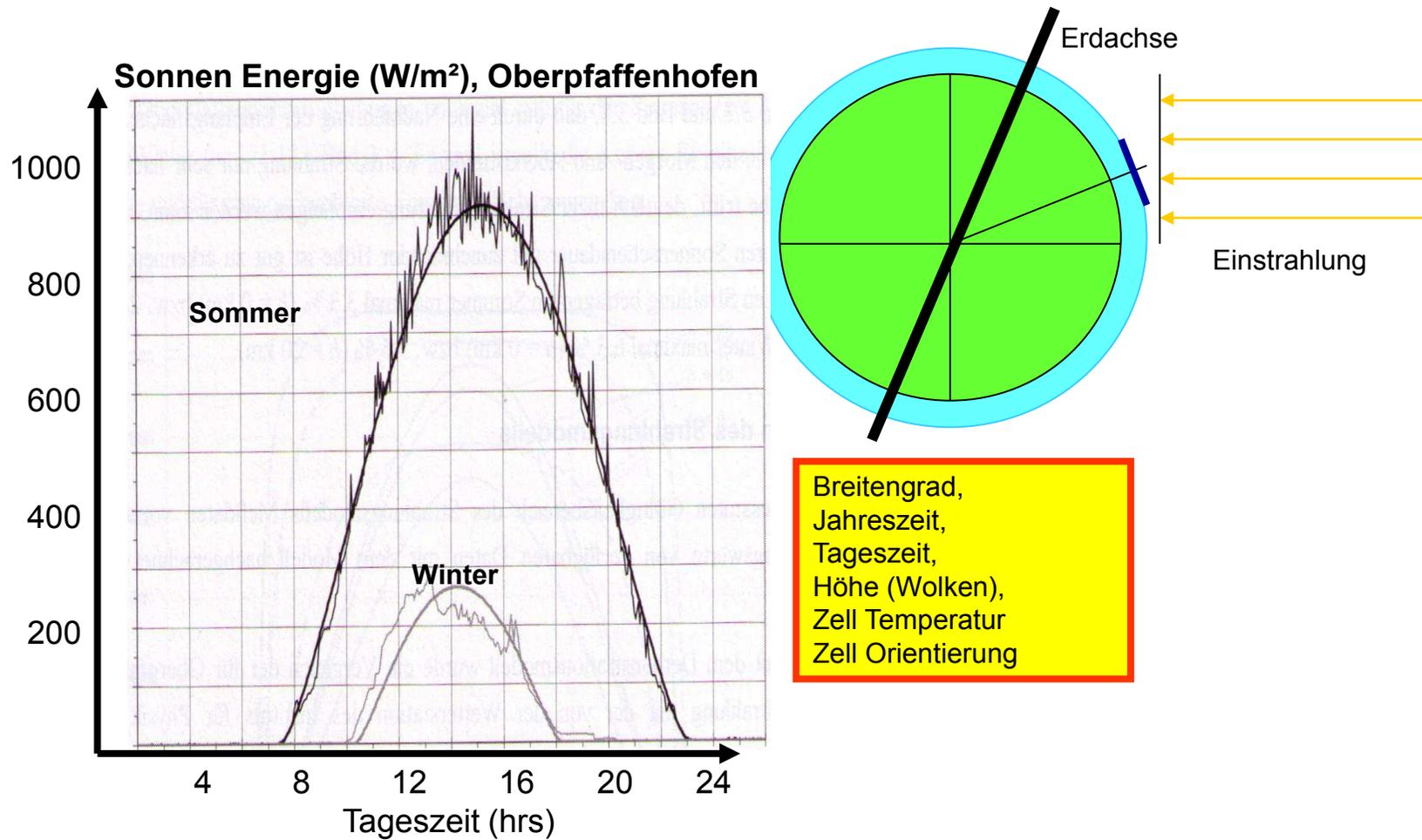
Entwicklung des Rekordflug-
zeuges, dass in 4-6 Tagen Pazifik
und Atlantik überqueren und die
Welt umrunden kann → HB-SIB



Inhalte

- 1. Solar Energie, wesentliche Grundlagen**
- 2. Solar Impulse Projekt**
- 3. HB-SIA: Missions Flüge**
- 4. HB-SIB: Entwicklung**
- 5. Die Herausforderungen der Weltumrundung**

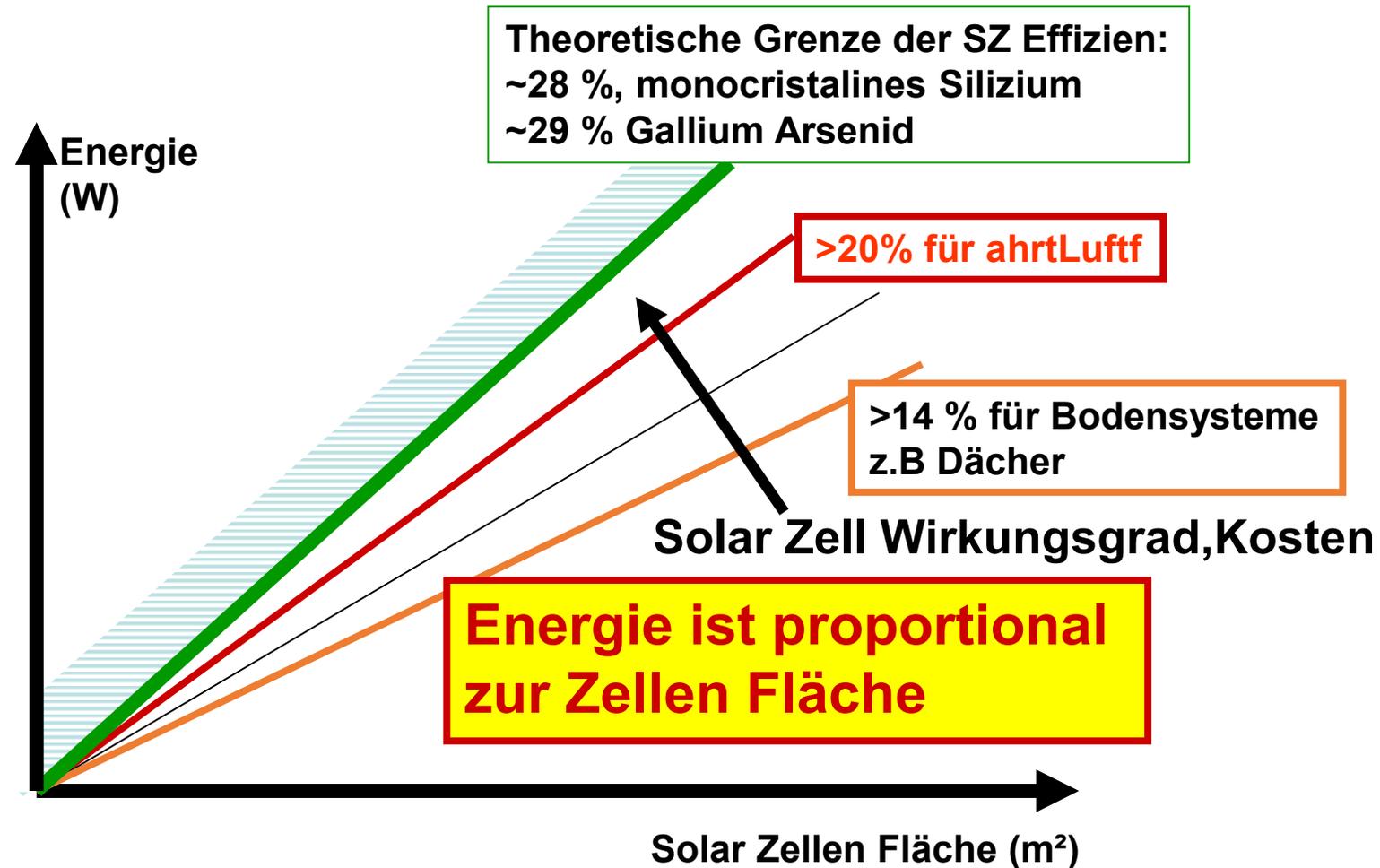
Wesentliche Parameter für die Solarenergie Gewinnung



Source: B.Keidel
Dissertation

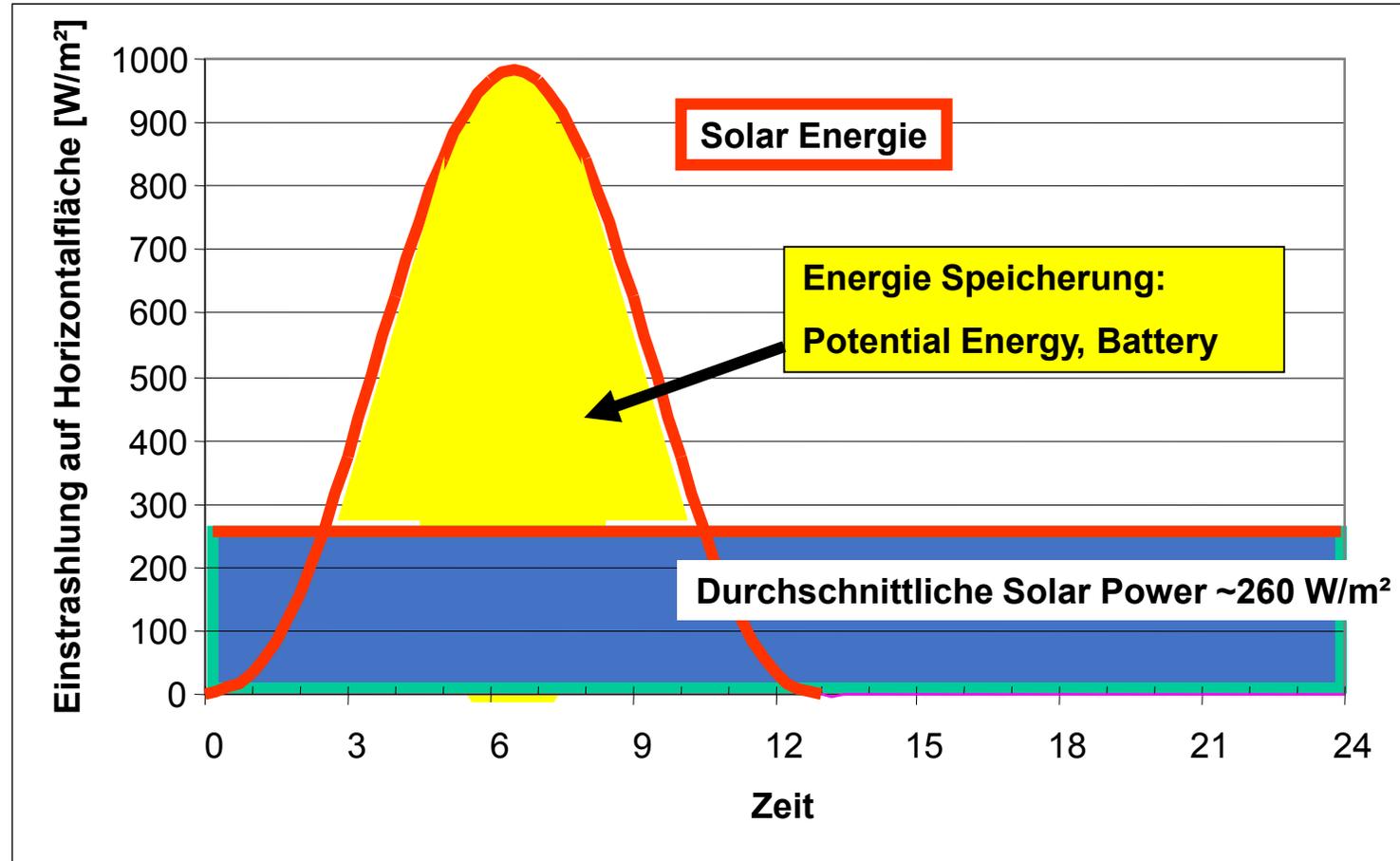
Breitengrad,
Jahreszeit,
Tageszeit,
Höhe (Wolken),
Zell Temperatur
Zell Orientierung

Solar Energie Ausbeute

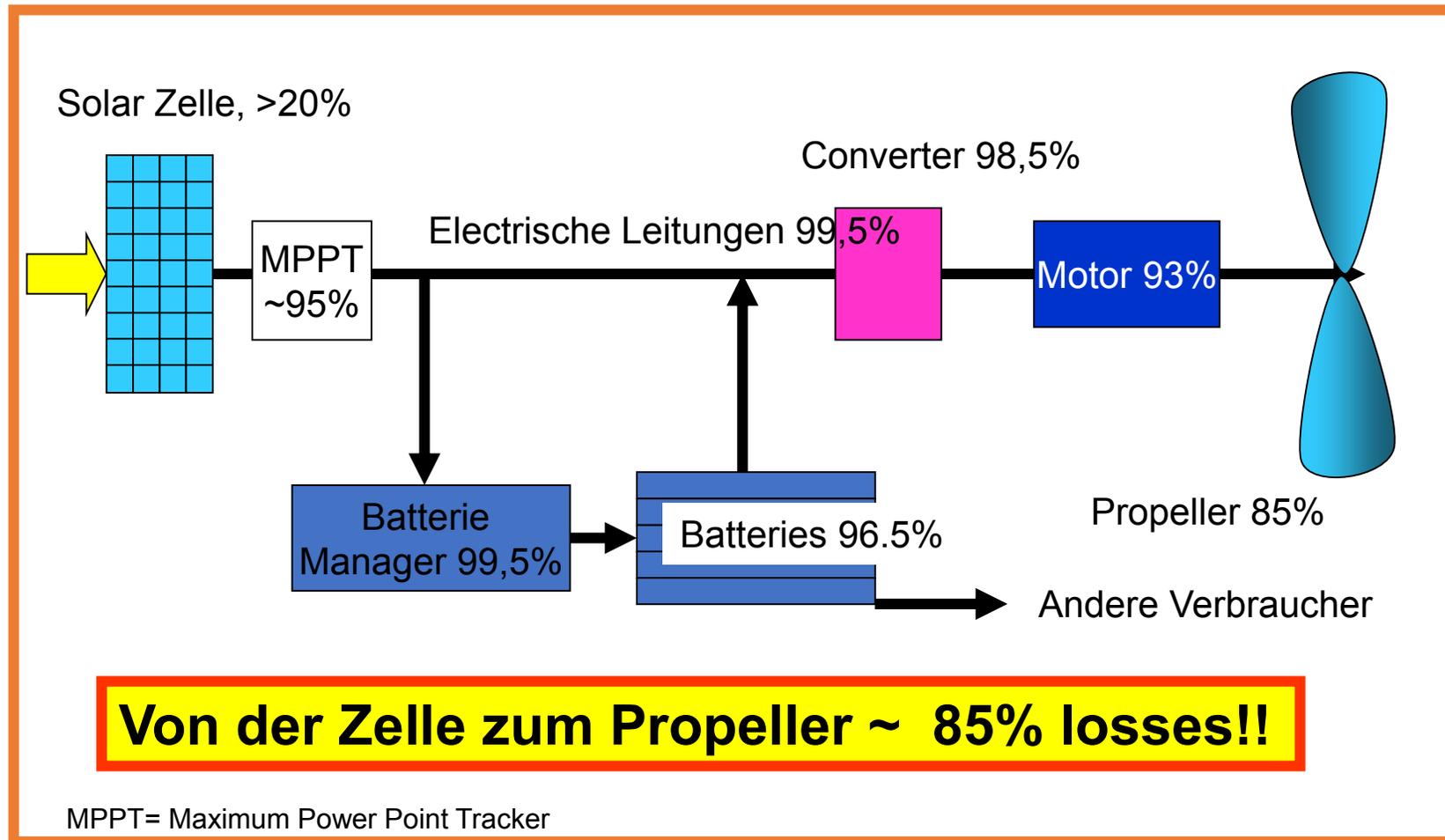


Available Solar Power

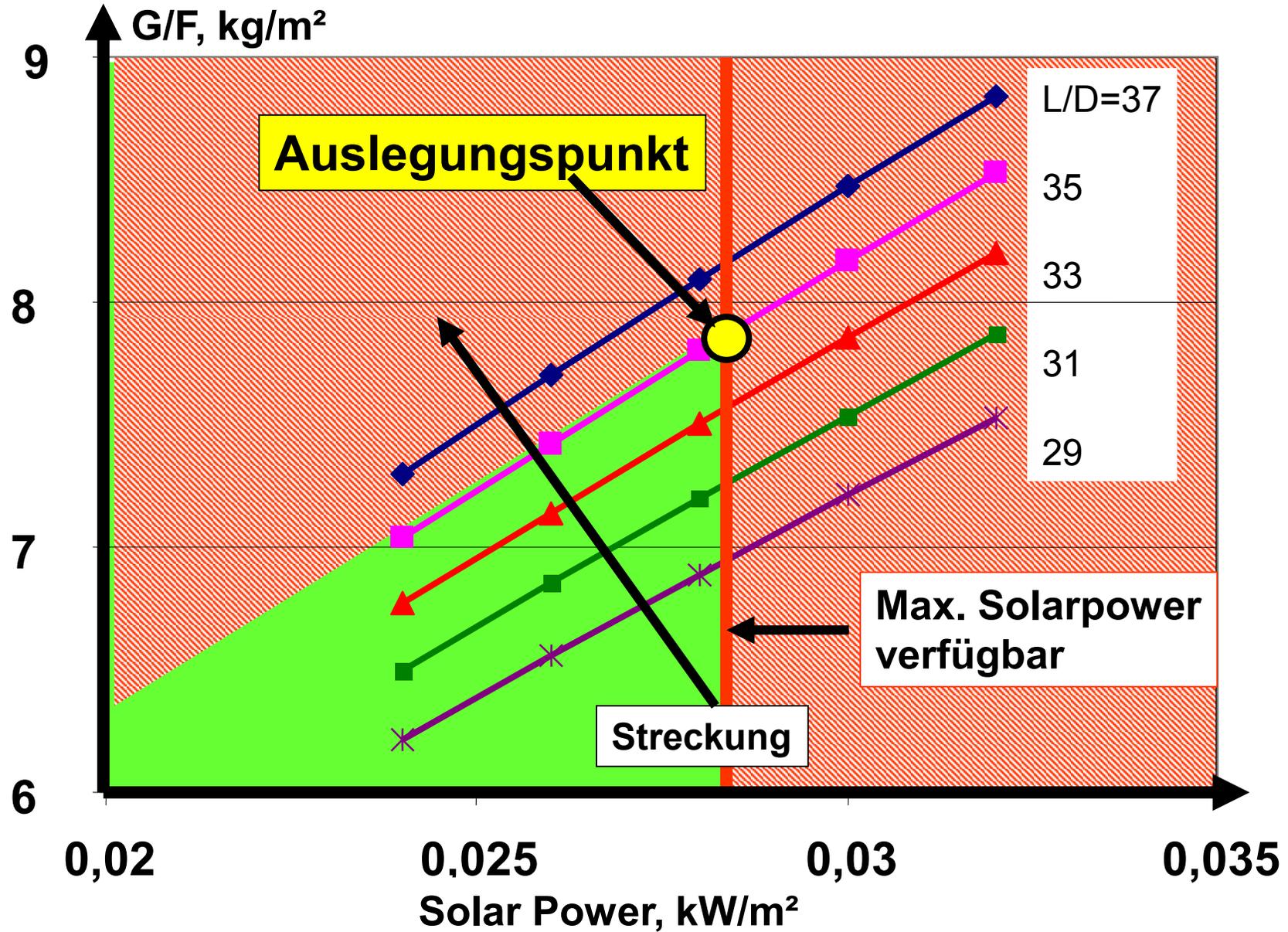
Solar Konstante 1300W/m^2 extraterrestrisch
In "normalen Flughöhen $\sim 1000\text{W/m}^2$ Mittags



Antriebssystem Und Typische Verluste/Wirkungsgrade



Horizontalflug



Das Entwurfsproblem

Solarzellen liefern nur wenig Energy pro m².

- **Mit wenig Energie kann man nur langsam fliegen**
- **Je langsamer die Fluggeschwindigkeit, desto größer die notwendige Flügelfläche**
- **Fliegen in niedriger Höhe (größere Dichte) erlaubt einen kleineren Flügel und benötigt weniger Energie**
- **Höhere Streckung verbessert das L/D aber die Aeroelastik wird schwieriger**

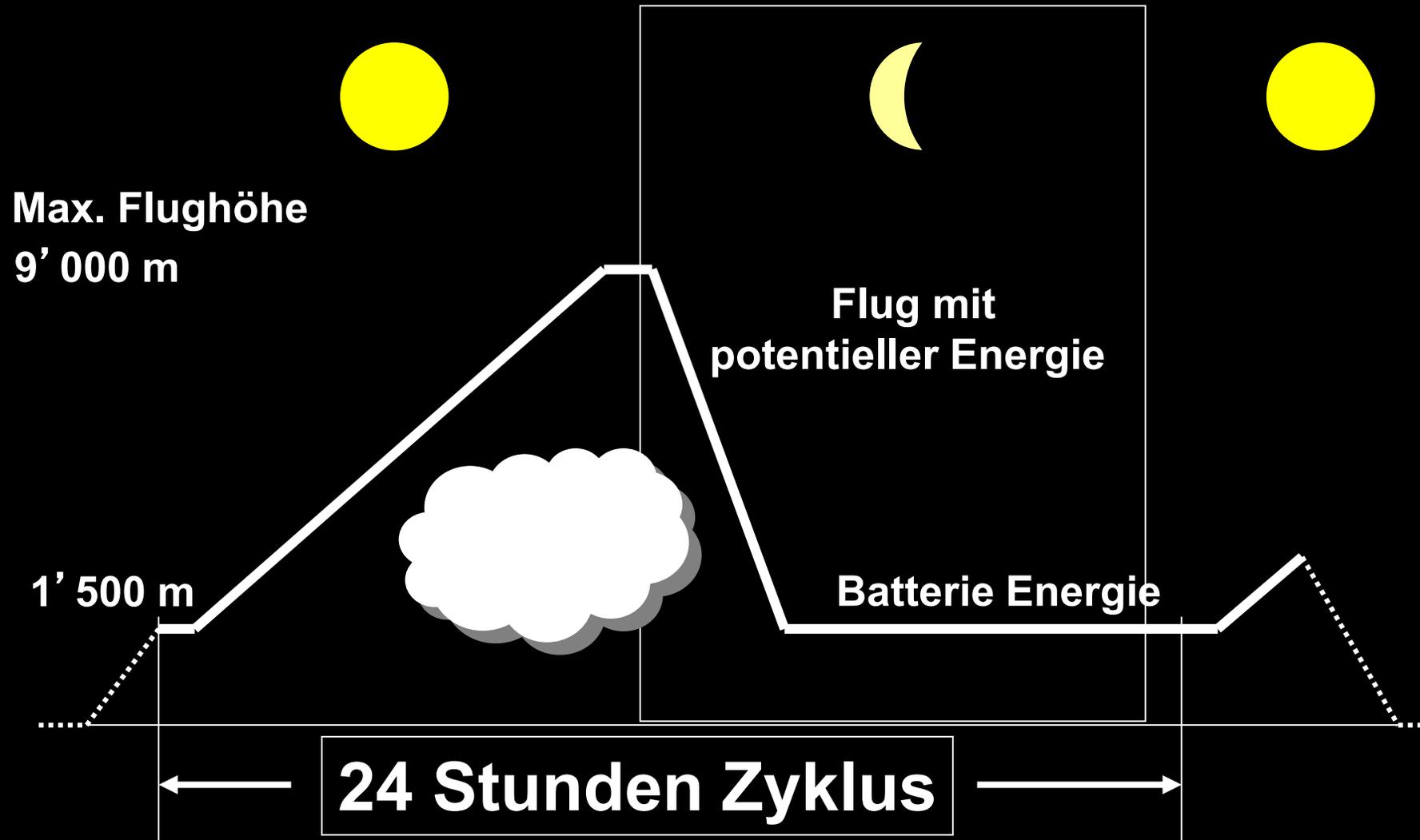
Helios (NASA), normale Flügel Biegung bei 1g



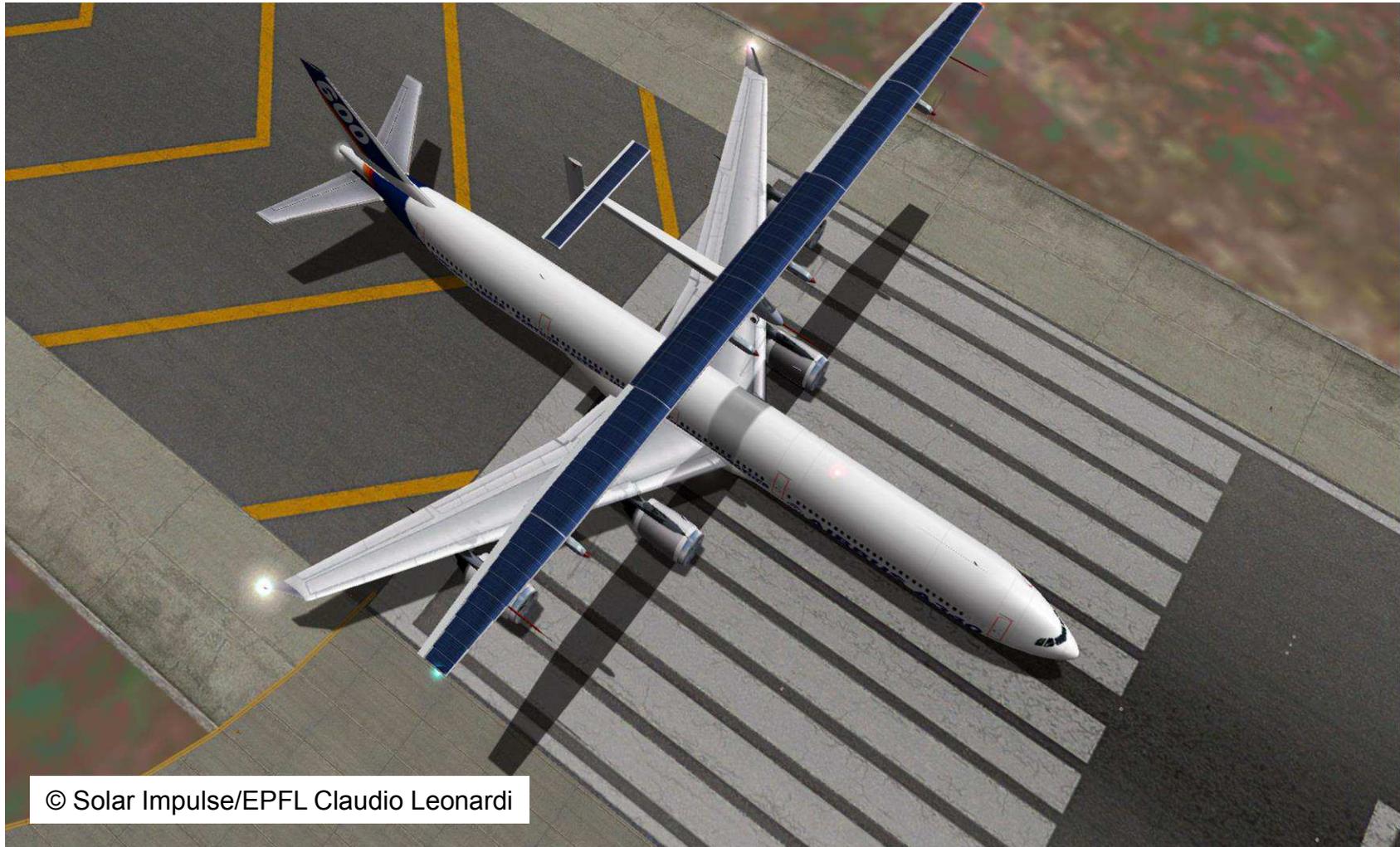
Helios Accident, 2003



Energie wird in Batterien und Höhe gespeichert



Größenvergleich HB-SIA mit Airbus A-340



Fliegen wie im Kabrio! mit unverkleidetem Cockpit





**26 hour flight
7th/8th July 2010**

HB-SIA: Missions Flüge

Paris, Juni 2011



Interkontinental Flüge 2012



Überquerung von Amerika, 2013



HB-SIB: Entwicklung

Flügel Hauptholm: Struktur Test



S-2, Main spar torsion box from sandwich plates



© Peter Frei, SOLARIMPULSE 2015



Hannes Ross, IBR, ZAL, 5.12.2017

Flügel Montage

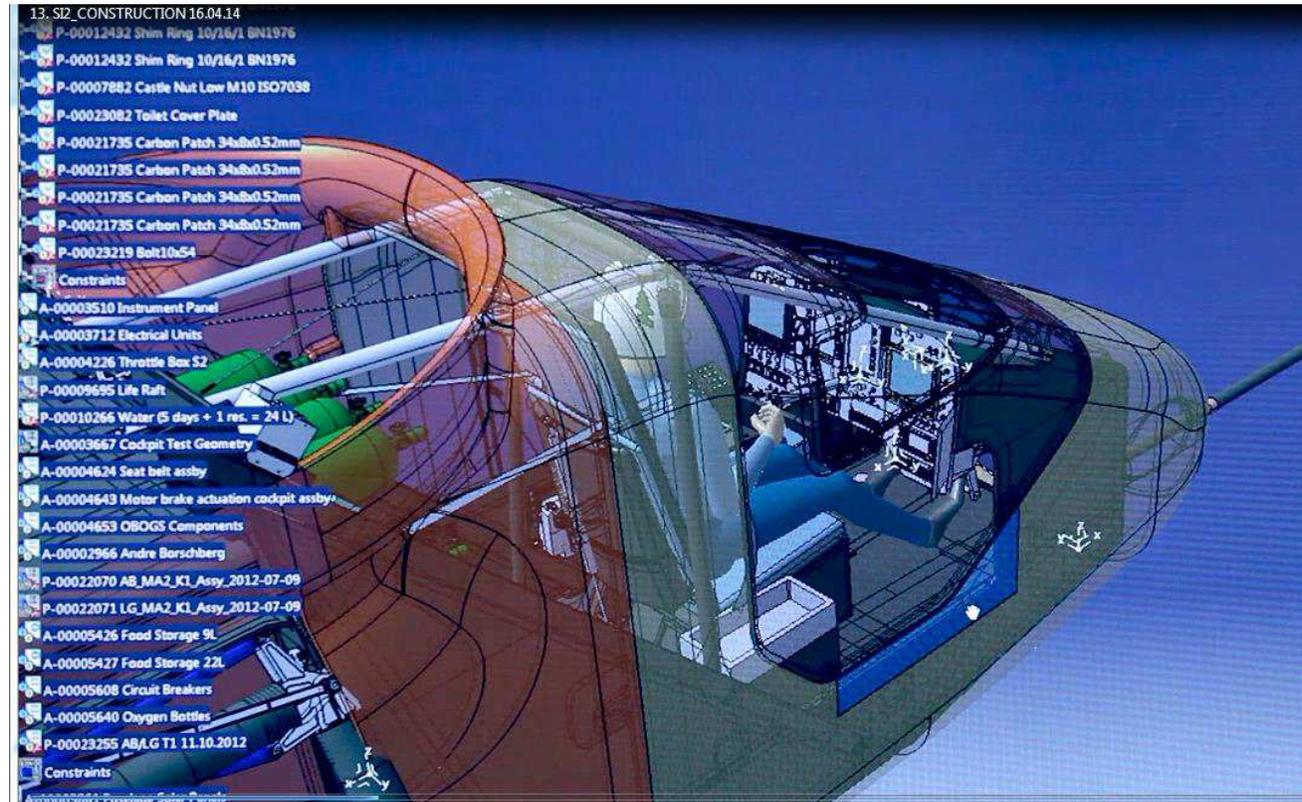


Hannes Ross, IBR, ZAL, 5.12.2017

Solar Cell Panel Installation



Application Of CATIA Program



Entwicklung eines transportablen Hangars



SI Mobiler Hangar



Hannes Ross, **IBR**, 6.12.17
HAW Hamburg

www.Solarimpulse.com

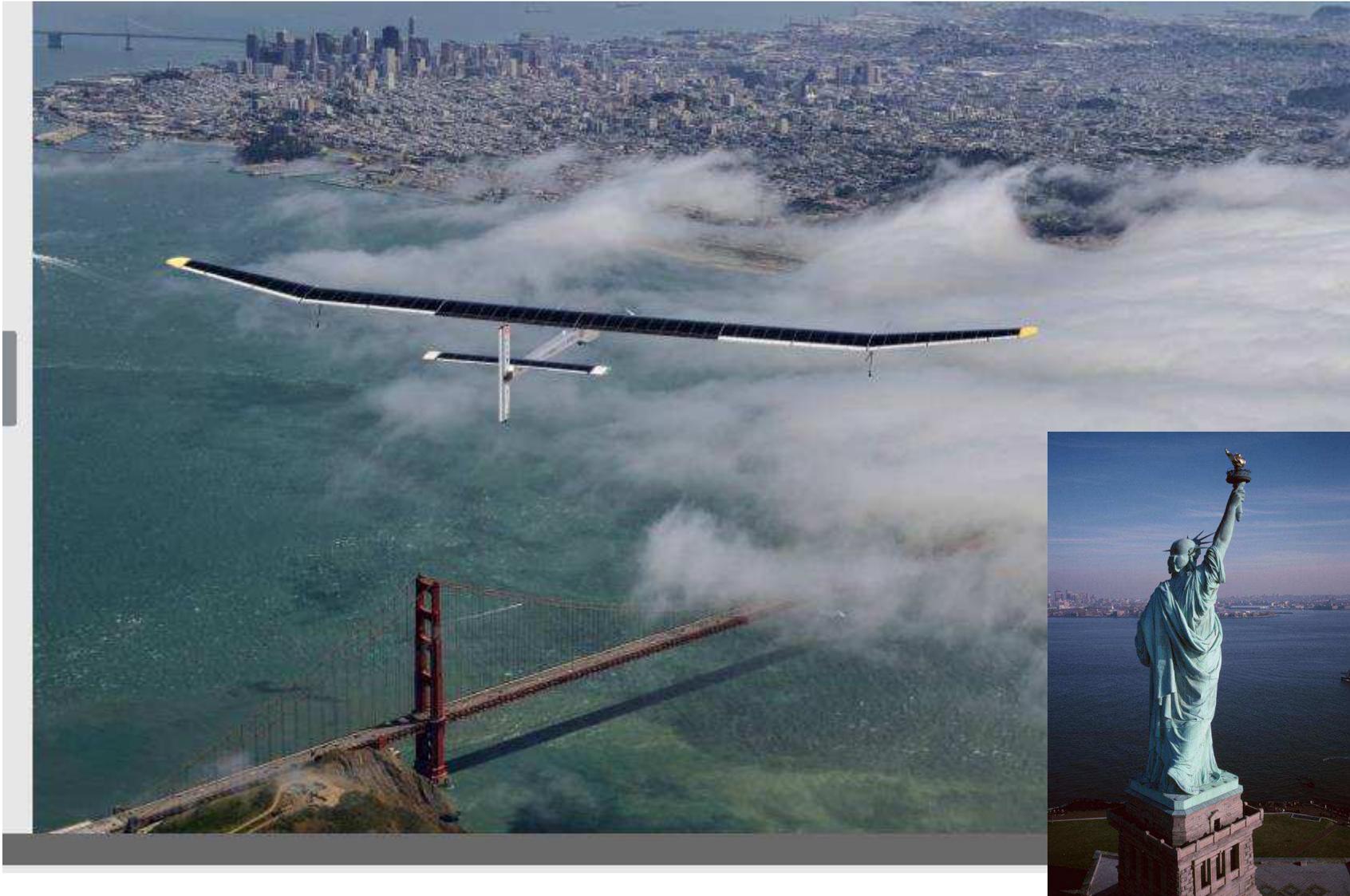
Cincinatti, am frühen Morgen – ohne Hangar



Wasser in den Flügelklappen



Von der Golden Gate Brücke zur Freiheitsstatue



Warteschleife südlich des JFK Flughafens, New York



Der letzte Flug: Washington-Dulles nach New York



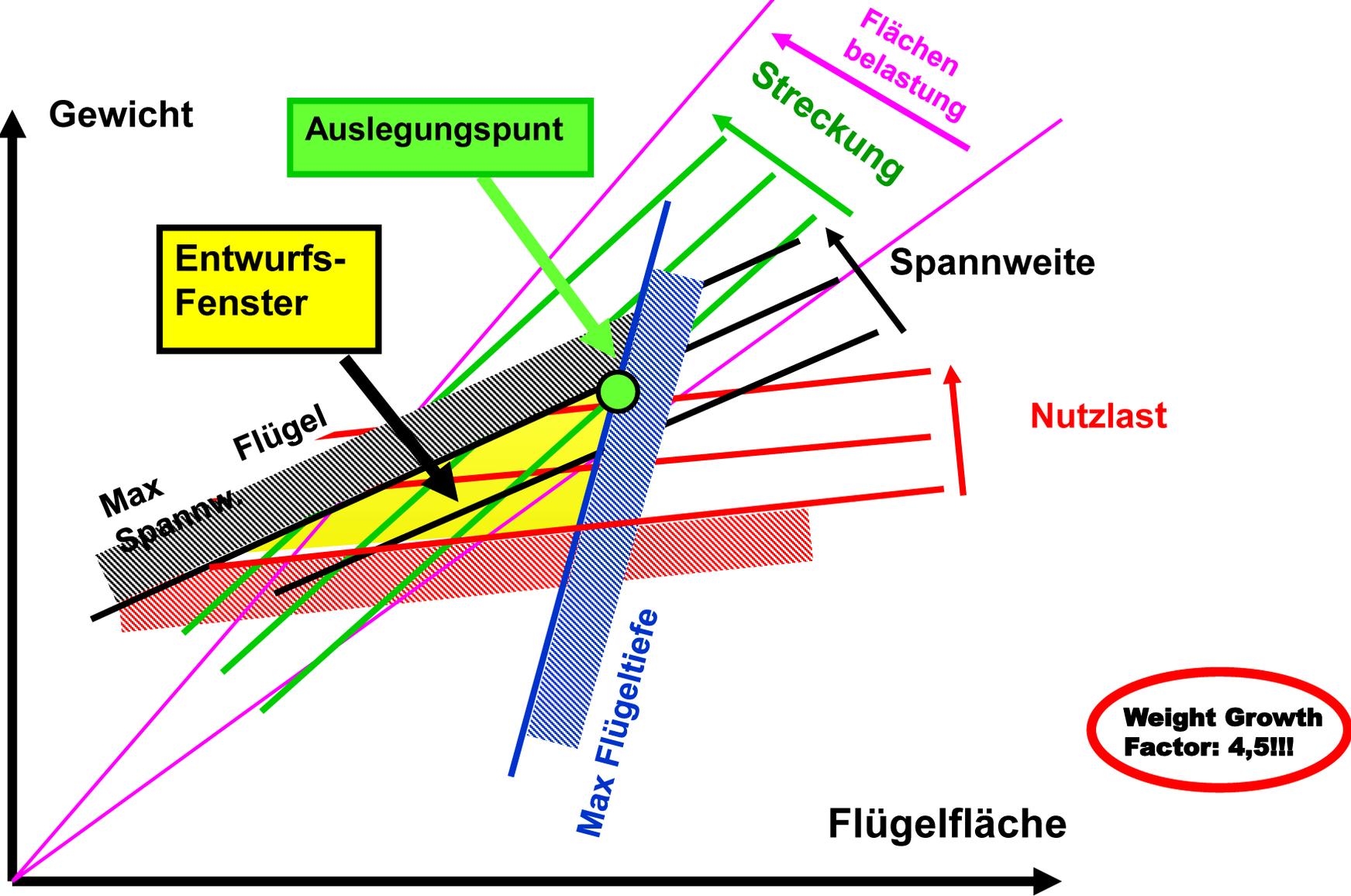
Solarimpulse Charakteristiken

- Nur ein Entwurfspunkt: Die gesamte Mission wird bei demselben Auftriebsbeiwert CA geflogen, d.h. bei
- CA = min. Sinken = min Energiebedarf
- Keine Schwerpunktsänderung
- Voll elektrisches Flugzeug
- Kein hydraulisches System

Entwurf des „Rekord“ Flugzeuges für die Weltumrundung

- Neu: Start-Tag, Breite
- Ozean Überquerung: 5-7 Tage
- Sicherheitsausrüstung, Nahrung, Getränke, Sitz, Toilette, Pilot Beobachtung
- Stabilisierungs System = Autopilot
- Kommunikation über Satelliten

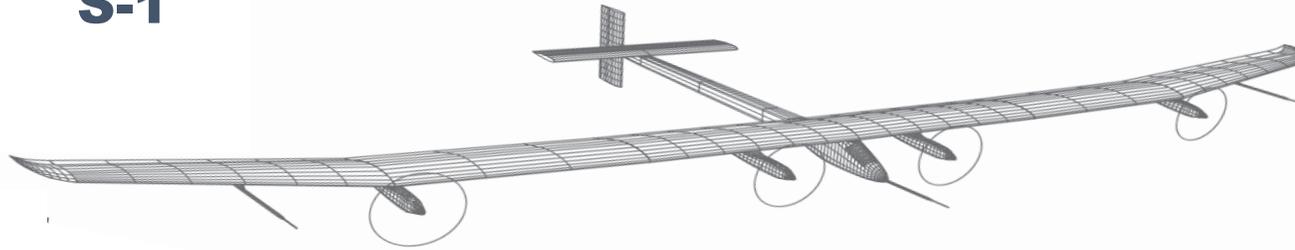
Entwurfswindow für S2



**Weight Growth
Factor: 4,5!!!**

Vergleich S-1 mit S-2

S-1



S-2



Cockpit



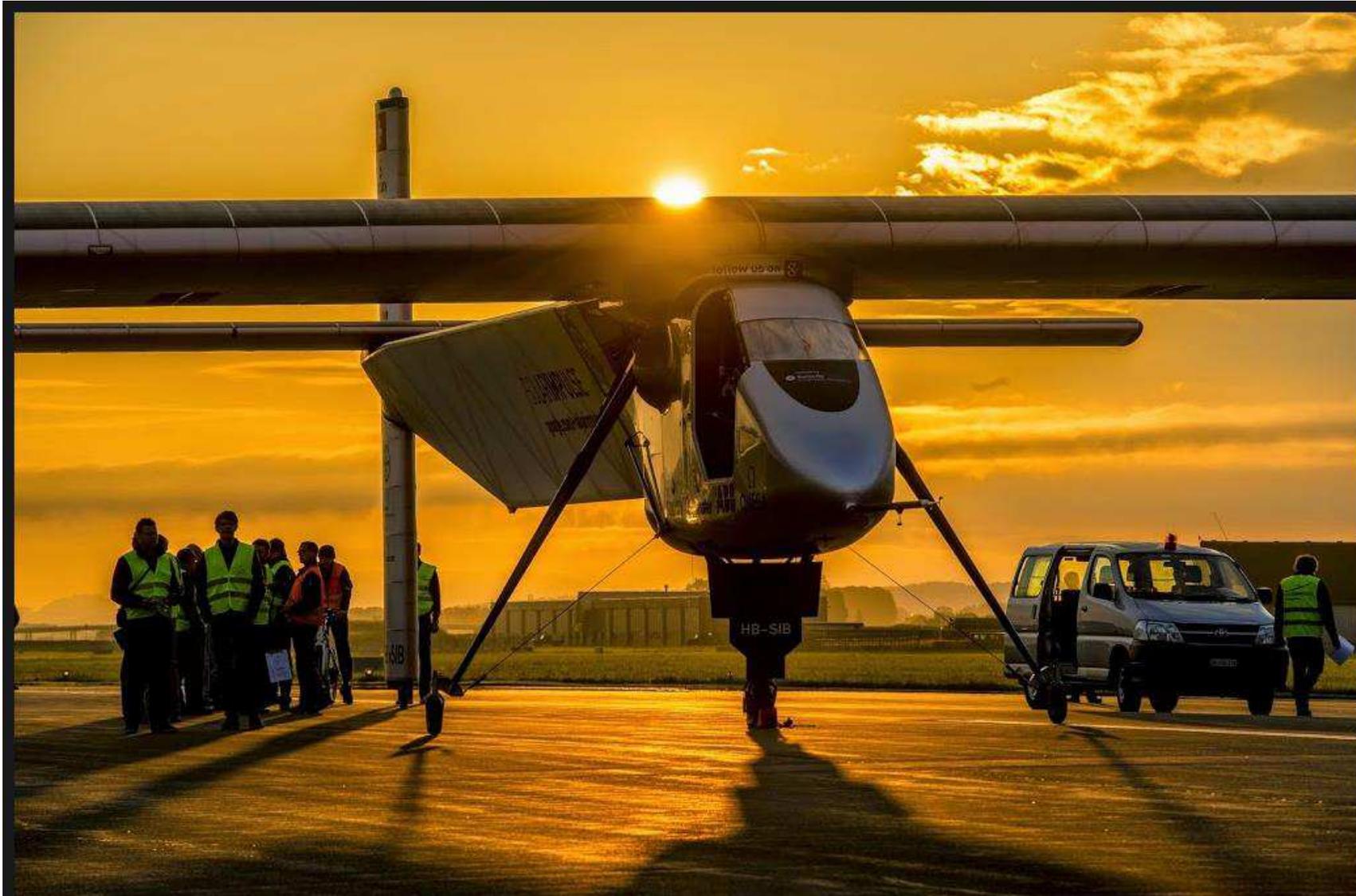
Hannes Ross, **IBR**, 6.12.17
HAW Hamburg

www.Solarimpulse.com

Dimensionen: Boeing 747-800 vs S-2



Landing Gear



Hannes Ross, **IBR**, 6.12.17
HAW Hamburg

**Erstflug HB-SIB
6. Juni 2014**



Hannes Ross, **IBR**, 6.12.17
HAW Hamburg

www.Solarimpulse.com

Erstflug HB-SIB, Test Pilot Markus Scherdel, 6/2015



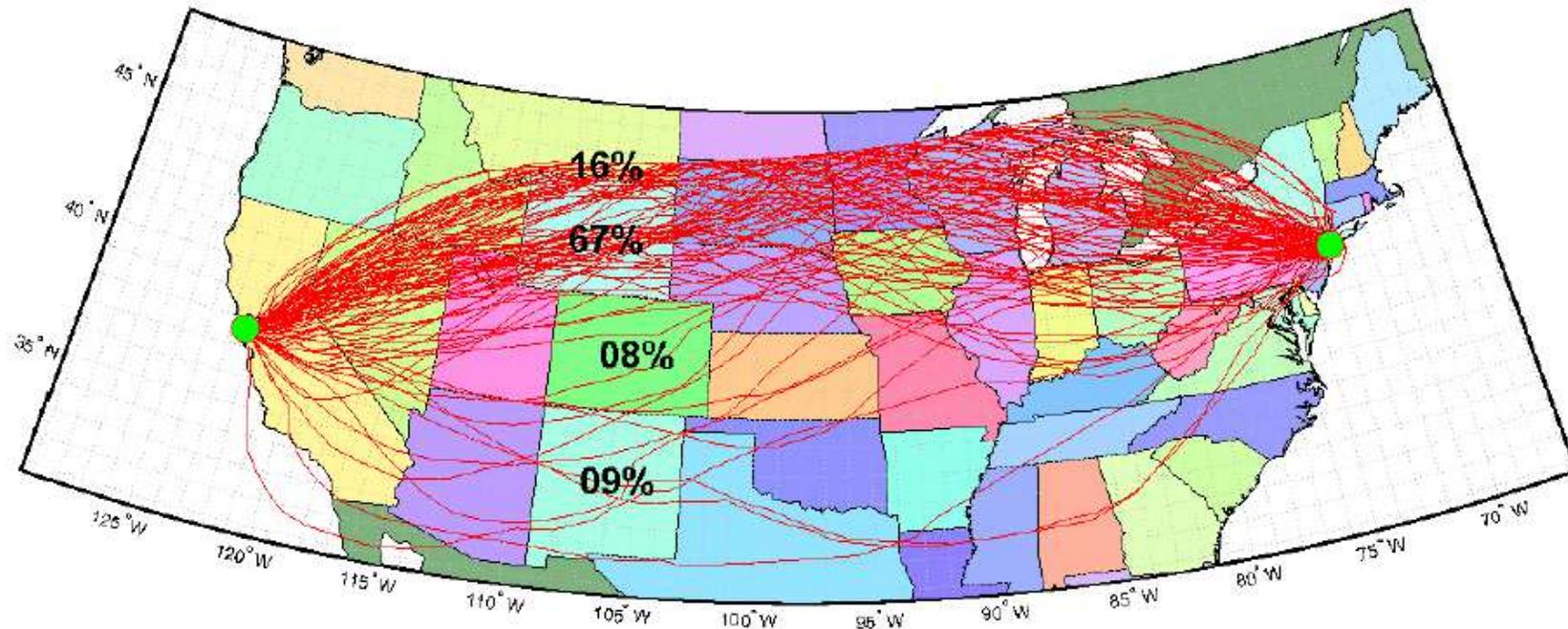
Hannes Ross, **IBR**, 6.12.17
HAW Hamburg

www.Solarimpulse.com

Herausforderungen der Weltumrundung

- Technik: Flugzeit 5-7 Tage
- Wettervorhersage über 5-7 Tage
- Pilot muß 5-7 Tage einsatzbereit sein
- Flugroute abgestimmt

Karte der günstigen Winde über USA

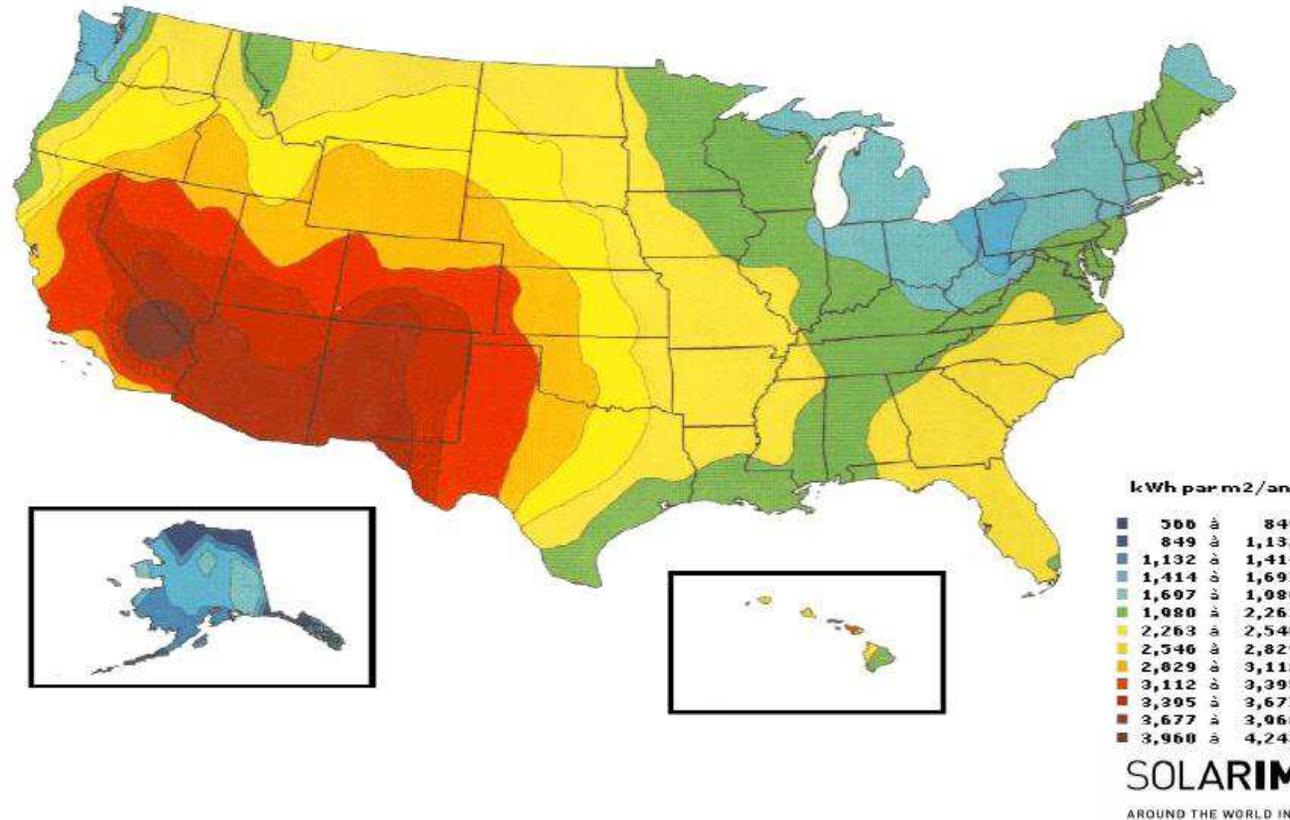


Sonnenstunden Verteilung

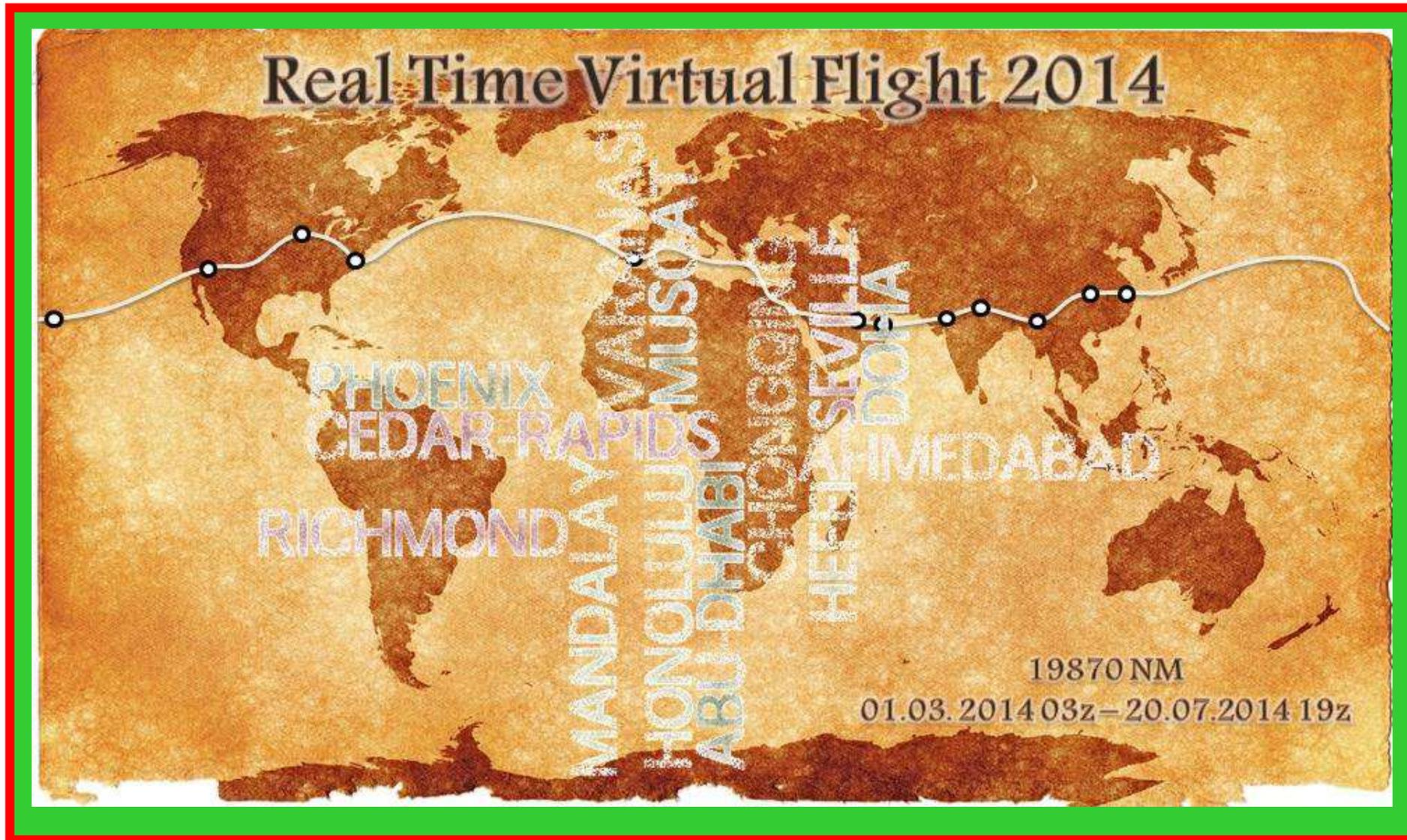
Sunshine study

INTO
LTSO

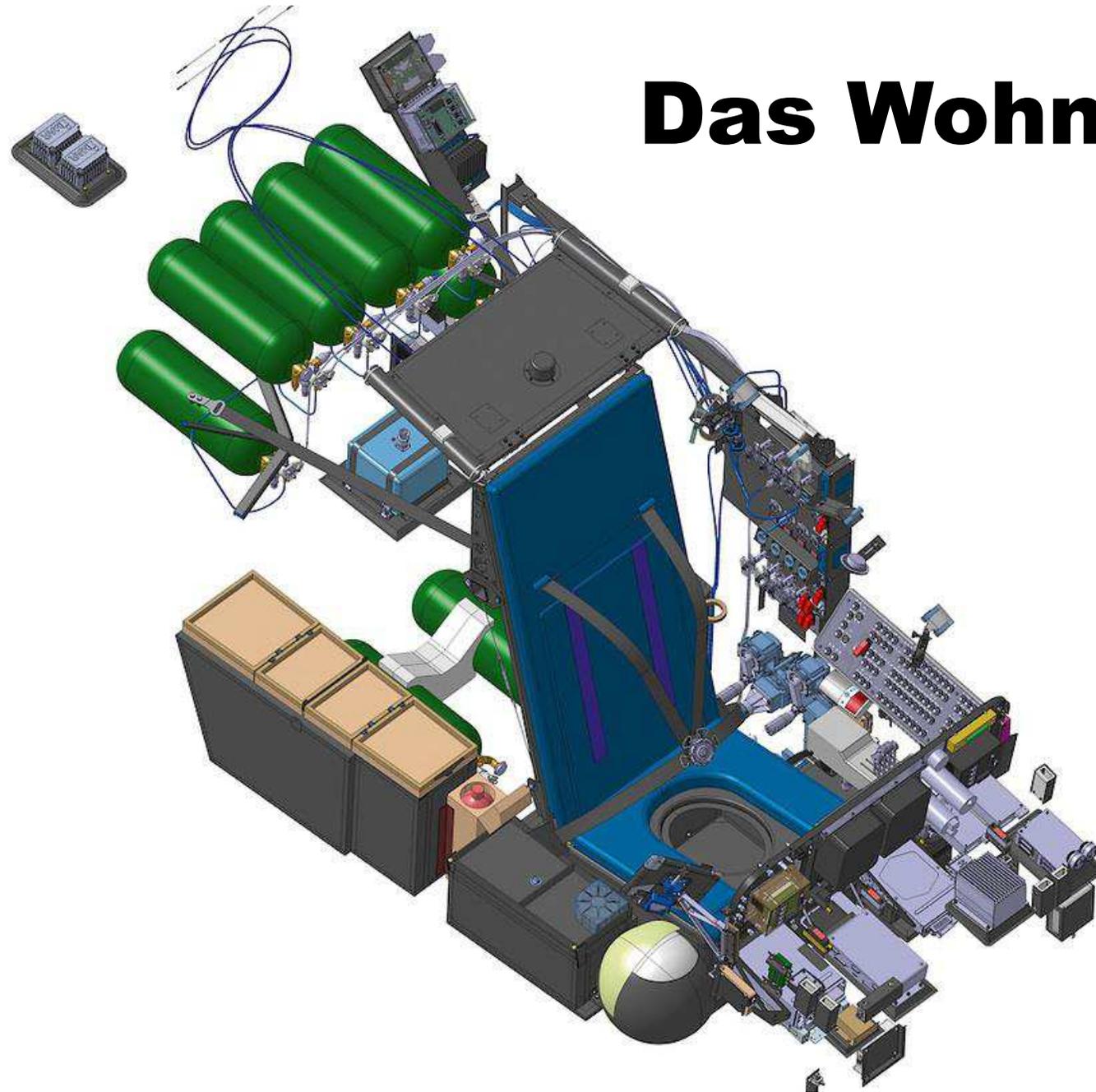
☐ Energie am Erdboden, kWh/m²/Jahr



In 12 Etappen um die Welt

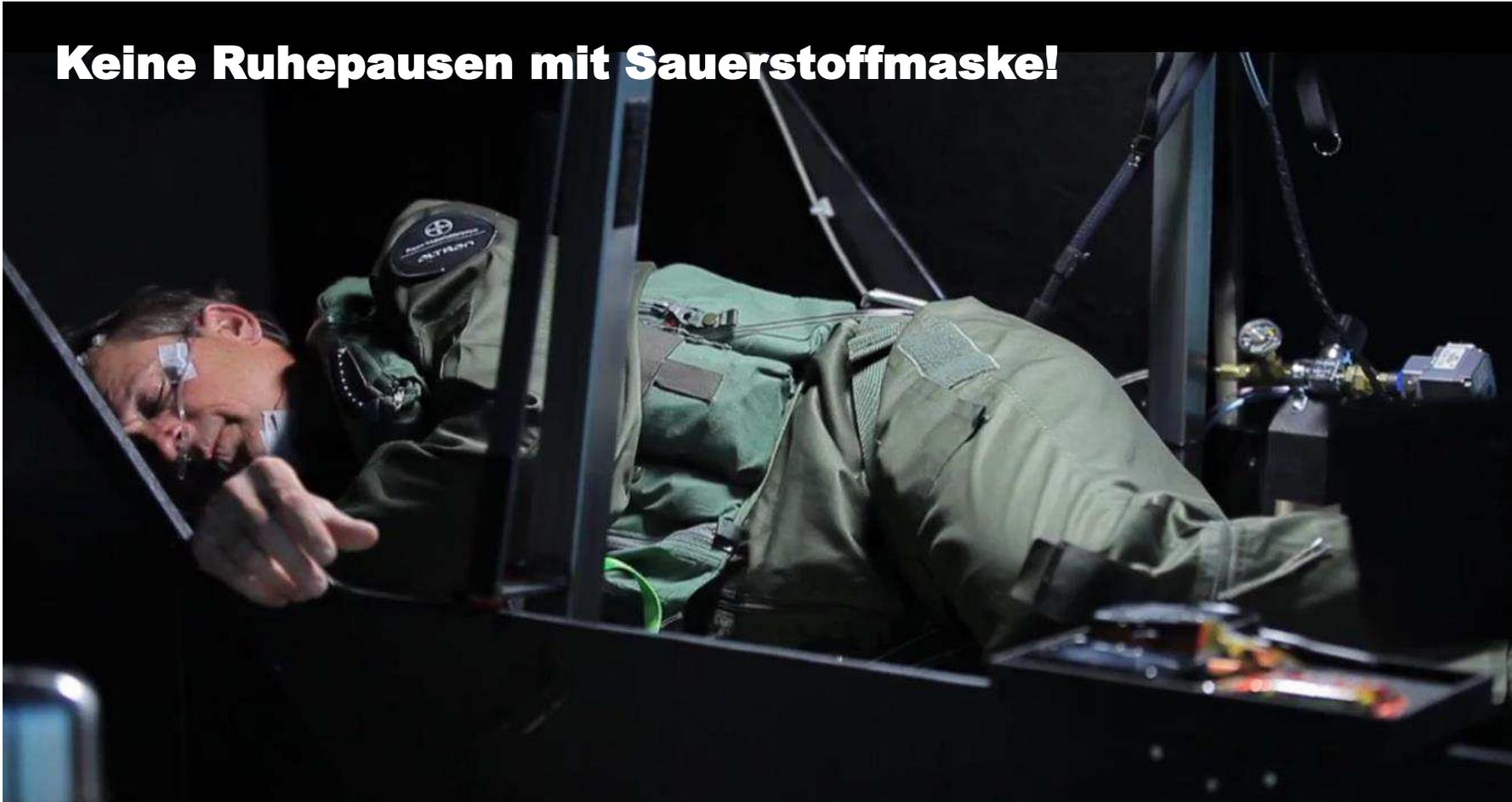


Das Wohnzimmer



Piloten Ruhepausen: Alle 2 Stunden 20 Min

Keine Ruhepausen mit Sauerstoffmaske!



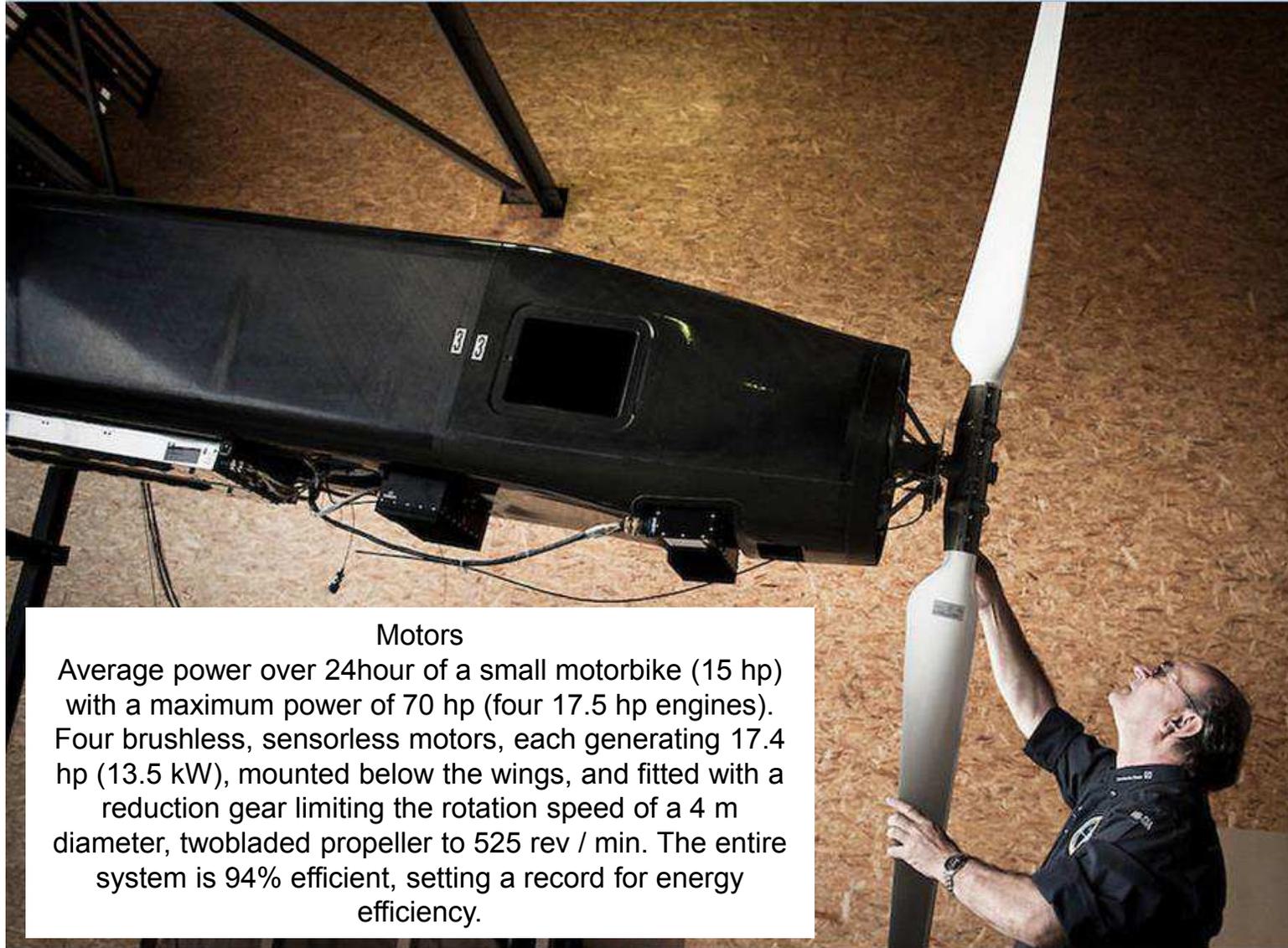
Bertrand Piccard: self hypnosis
Andre Borschberg: Yoga training

Bekleidung für einen warmen Sommerabend! Cockpit ist unbeheizt, keine Druckkabine



Hannes Ross, **IBR**, 6.12.17
HAW Hamburg

Elektroantrieb, Charakteristiken



Motors

Average power over 24hour of a small motorbike (15 hp) with a maximum power of 70 hp (four 17.5 hp engines). Four brushless, sensorless motors, each generating 17.4 hp (13.5 kW), mounted below the wings, and fitted with a reduction gear limiting the rotation speed of a 4 m diameter, twobladed propeller to 525 rev / min. The entire system is 94% efficient, setting a record for energy efficiency.

Pilot Performance

Erhalt der Wachsamkeit und Aufmerksamkeit

Selbsthypnose und Meditationstechniken bieten dem Piloten die Möglichkeit Konzentration und Aufmerksamkeit aufrecht zu erhalten

Diät und Medizin

Wissenschaftlich ausgewählte Nahrung für jeden Piloten stellt sicher, dass die Anforderungen (2,4 kg Nahrung, 2,5 Ltr Wasser, 1 ltr Erfrischungsgetränk pro Tag) für die Ozeanüberquerungen eingehalten werden können.

Ärzte und Spezialisten für „Höhen“- Medizin prüfen und beraten den Piloten vor und während des Fluges.

Überwachung während des Fluges

Das Mission Control Center ist in ständigem Kontakt mit dem Piloten/Flugzeug.

Hunderte von technischen Parametern werden über ein Satelliten Daten Link ausgetauscht. Unter Berücksichtigung der aktuellen Wetterdaten wird ständig eine Vorausberechnung des Flugpfades erstellt und der Pilot über Änderungen der Flugstrecke/Luftraumdaten und Wetter auf der Route und am Landeort informiert.

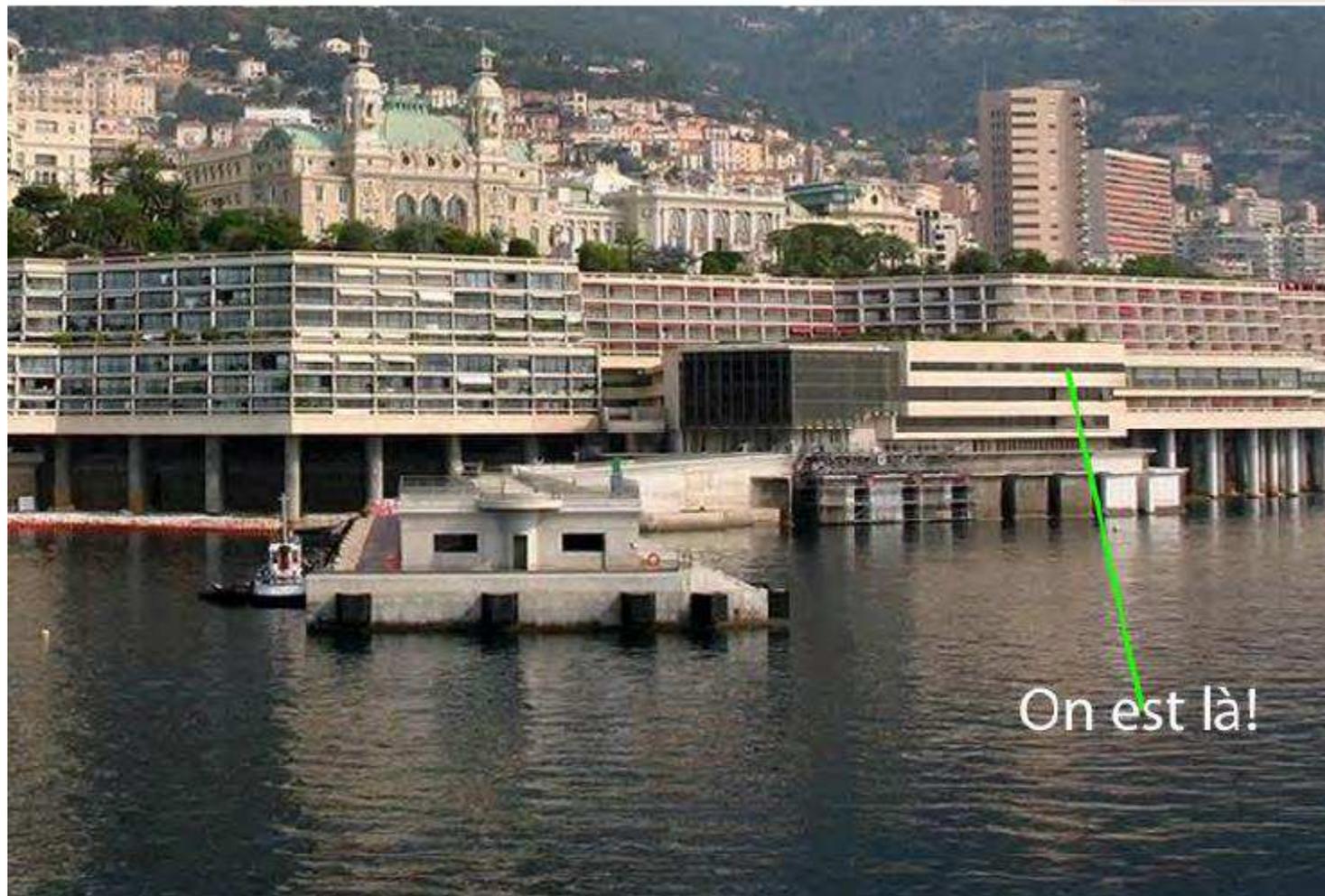
Überlebens Training



Transport nach Abu Dhabi, Jan.2015



Mission Control Center, Monaco



Test Flüge in Abu Dhabi



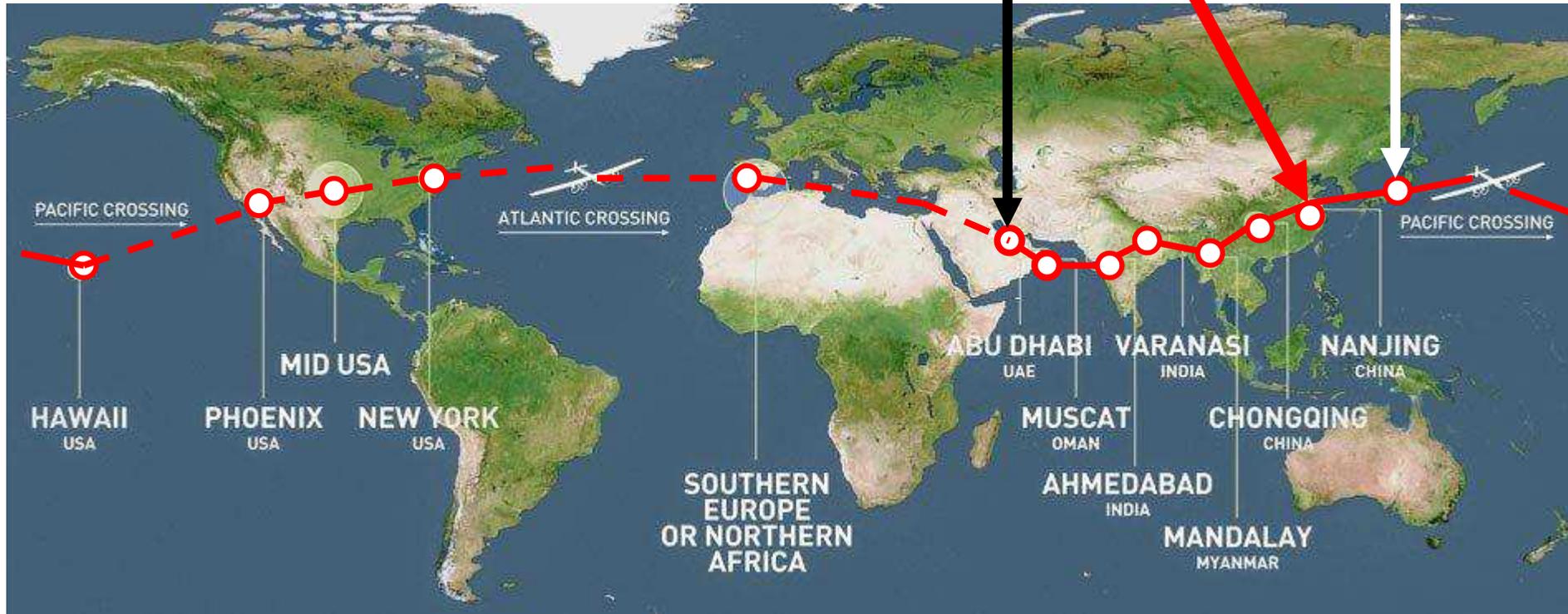
Status März 2015

- 72 Stunden Missionssimulation mit Piloten Langzeittest durchgeführt
- Piloten Langzeit test in der Klimakammer mit Druckverlauf abgeschlossen
- Pilot Überlebenstraining nach Fallschirmabsprung im September 2014 durchgeführt
- Virtueller Flug mit echten Wetterbedingungen in Echtzeit in 2014 durchgeführt
- ATC, routing, kommerzielle Aspekte abgestimmt
- Lufttüchtigkeitszeugnis der Schweizer Behörde ok
- **Die Weltumrundung started am 9.März 2015 in Abu Dhabi**

Mit der Sonne um die Erde

Start nach Hawaii
Geplant : von Nanjing
Wirklich: von Nagoya

RTW Start



— Completed
- - To be flown

SI2'S MOBILER HANGAR BEI GEWITTER IN MANDALAY



Hannes Ross, **IBR**, 6.12.17
HAW Hamburg

www.Solarimpulse.com

Beobachtung medizinischer Parameter

Pilot Health

- **Allgemeinzustand**
- **Ruhepausen & Schlafdauer**
- **Ernährung und Wasserhaushalt**
- **Medikamente (z.B. Thrombosis)**
- **Puls Rate**
- **Fitness Test (Fragebogen)**

Sauerstoff

SPO2 (Finger und Stirn Sensor)

Sauerstoffgehalt des Blutes

(direkte Datenübertragung zum MCC)

- **O2 Vorbereitung (vor dem Steigflug 12 kft)**
- **O2 Kabinen Konzentration**
- **O2 Atmung (akustische Beobachtung)**

ABHZ

Unerwartetes medizinisches Problem

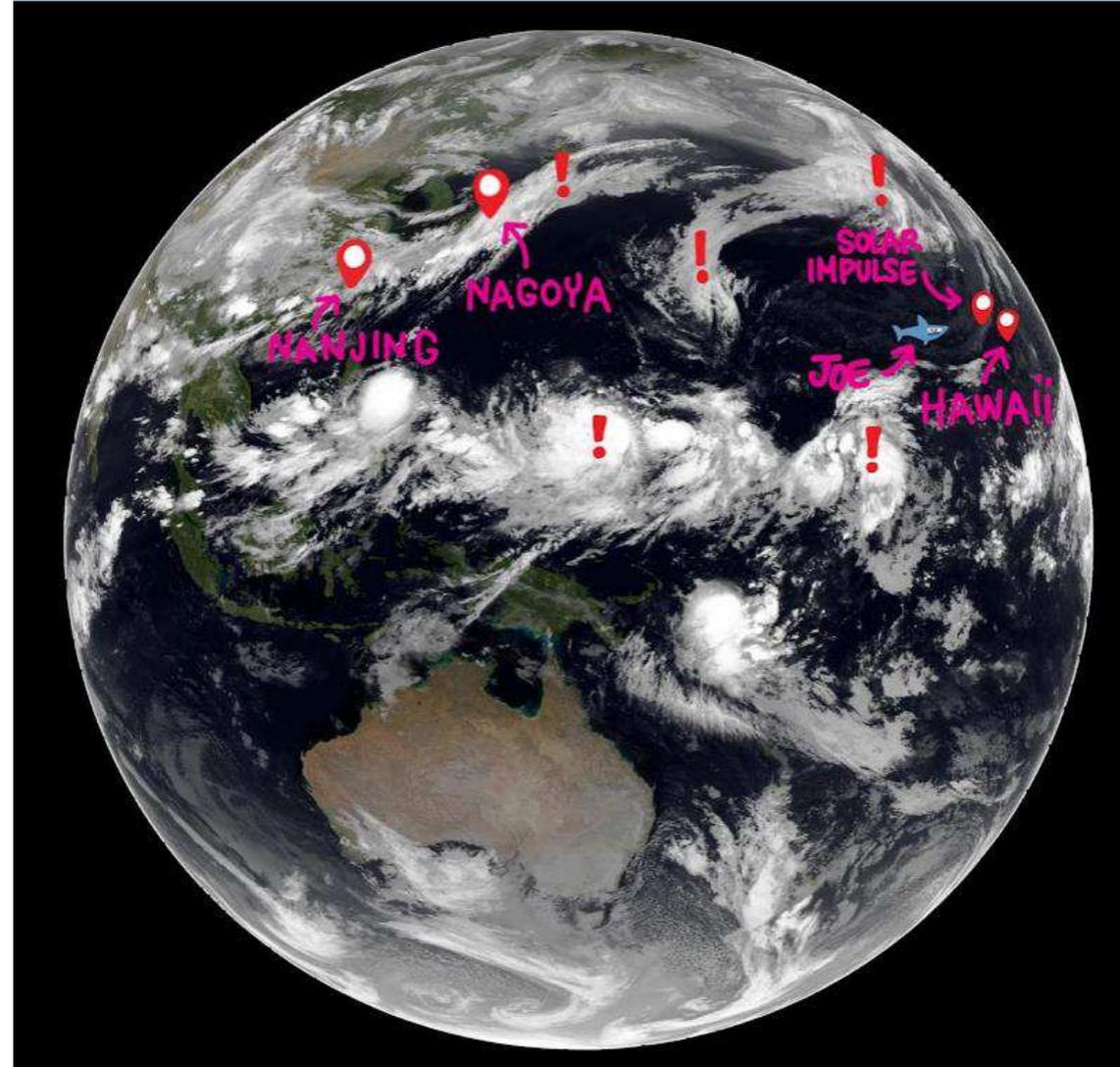
NANJING, APRIL 21, 2015

Nach 3 Wochen Wartezeit auf gutes Wetter waren wir fast am Ende:

Dann der Schock: Andre mußte zurück in die Schweiz um eine Gürtelrose behandeln zu lassen*. Also habe ich seinen Flug im letzten Moment übernommen!

* = Herpes Zoster, Gürtelrose

Weather on the way to Hawaii



Plastikfolie gegen Regen in Nagoya

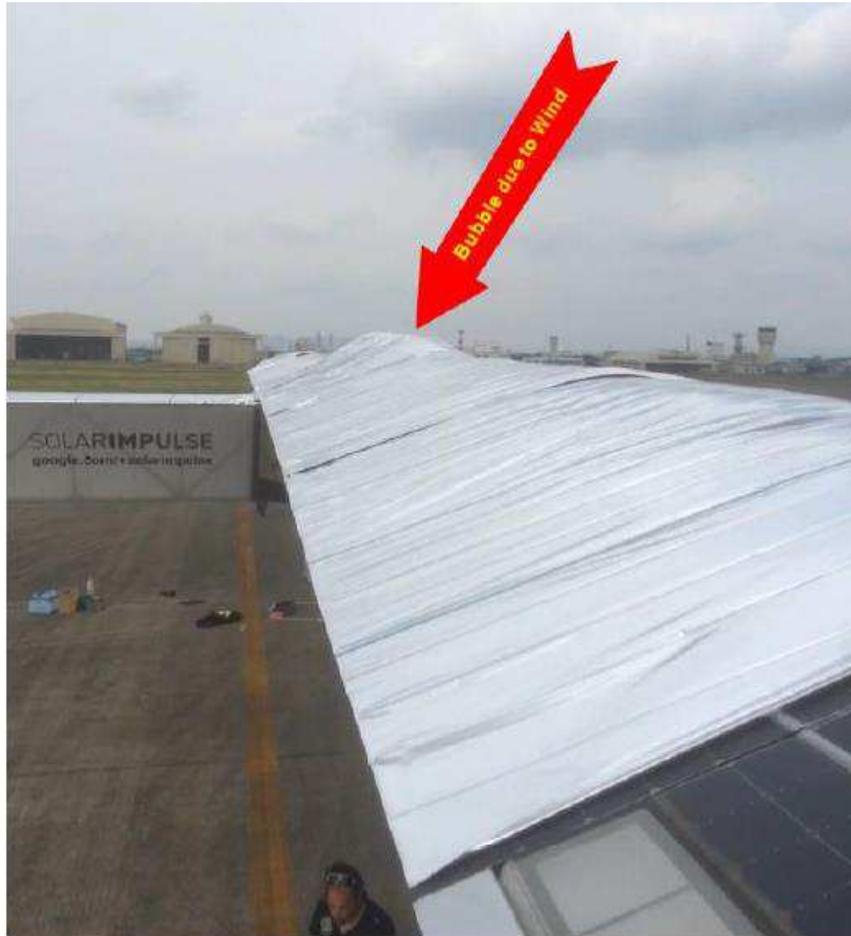
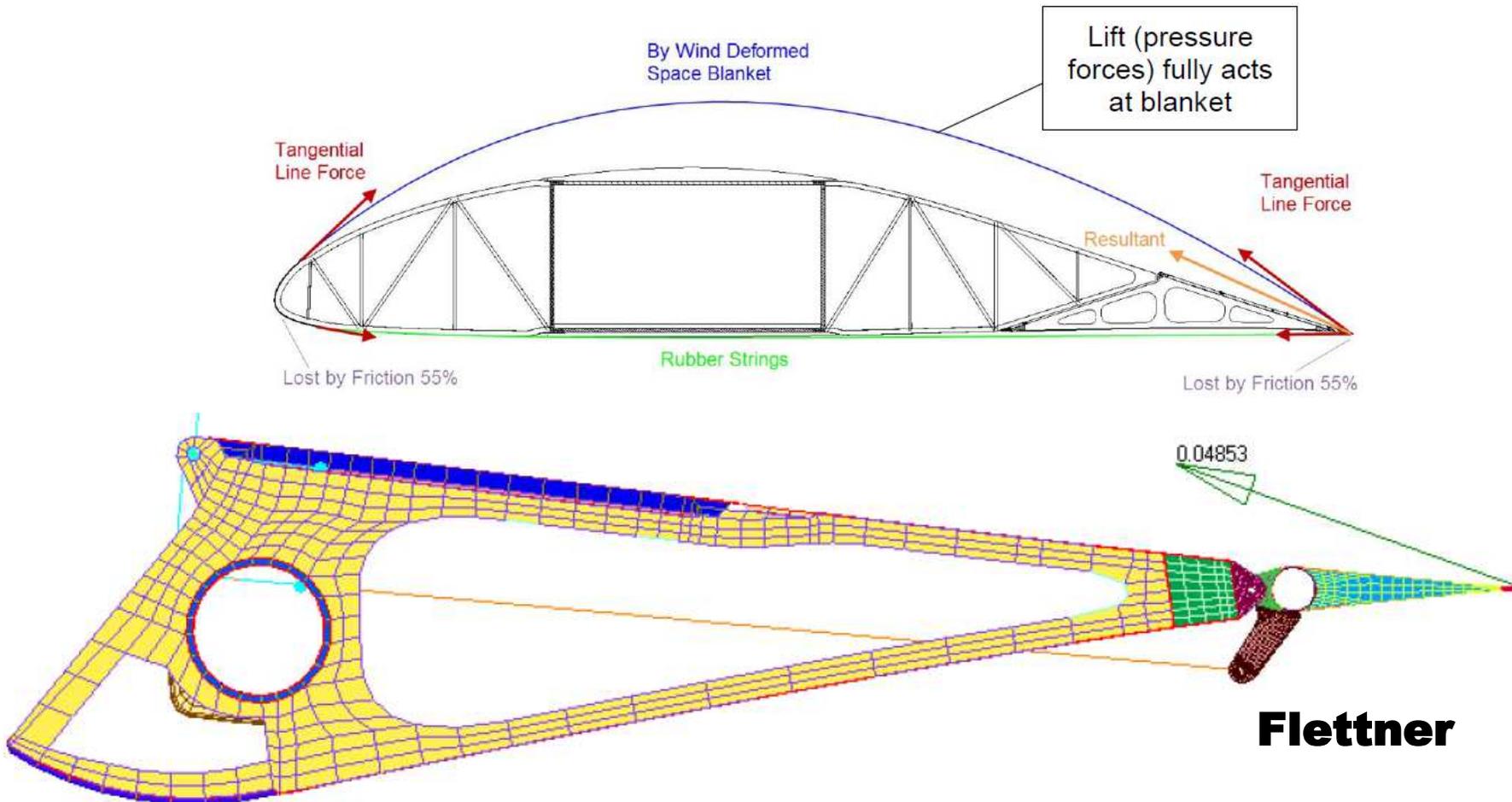


Fig formed space blanket on the wing

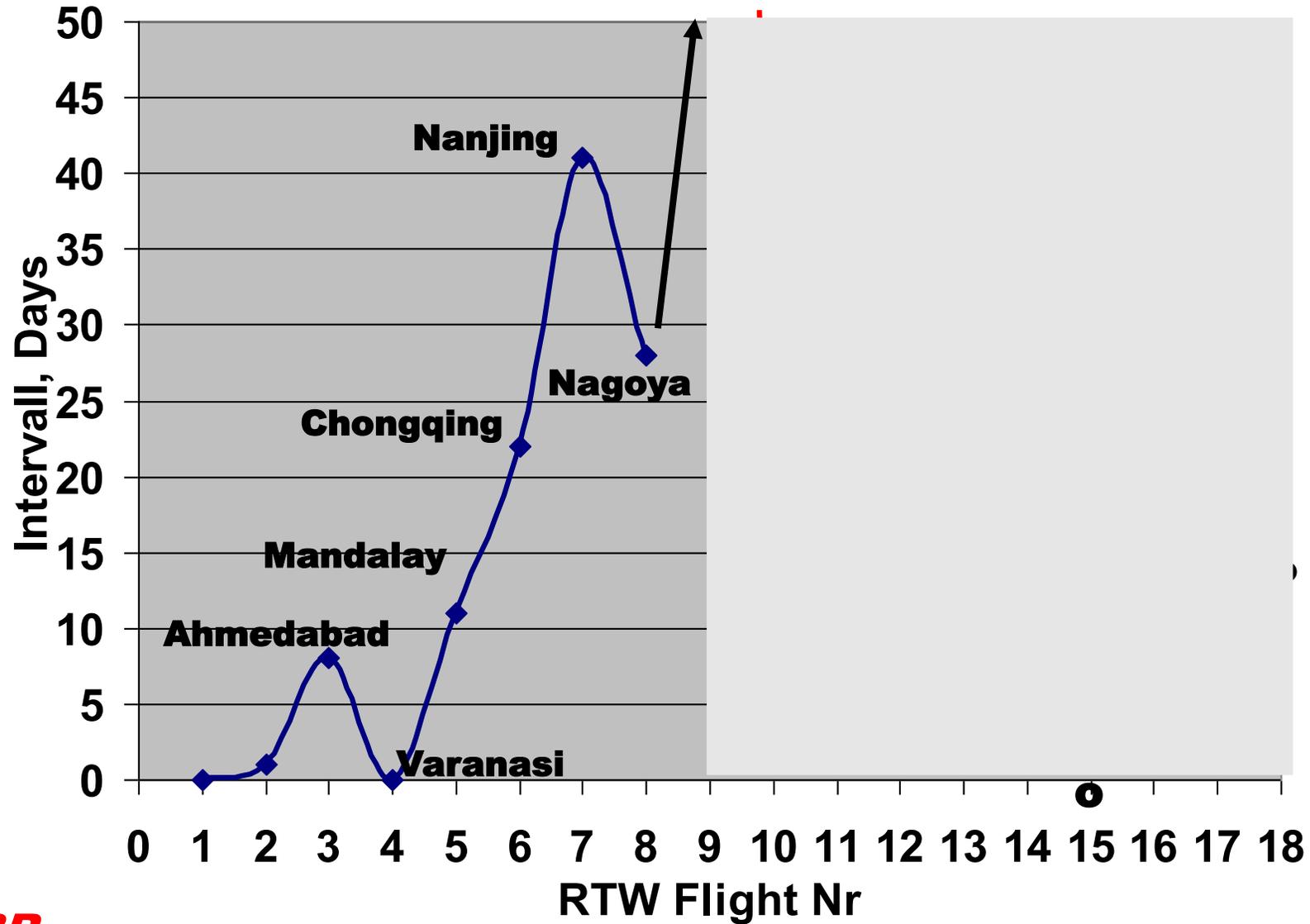


Fig deformed space blanket on the HSt

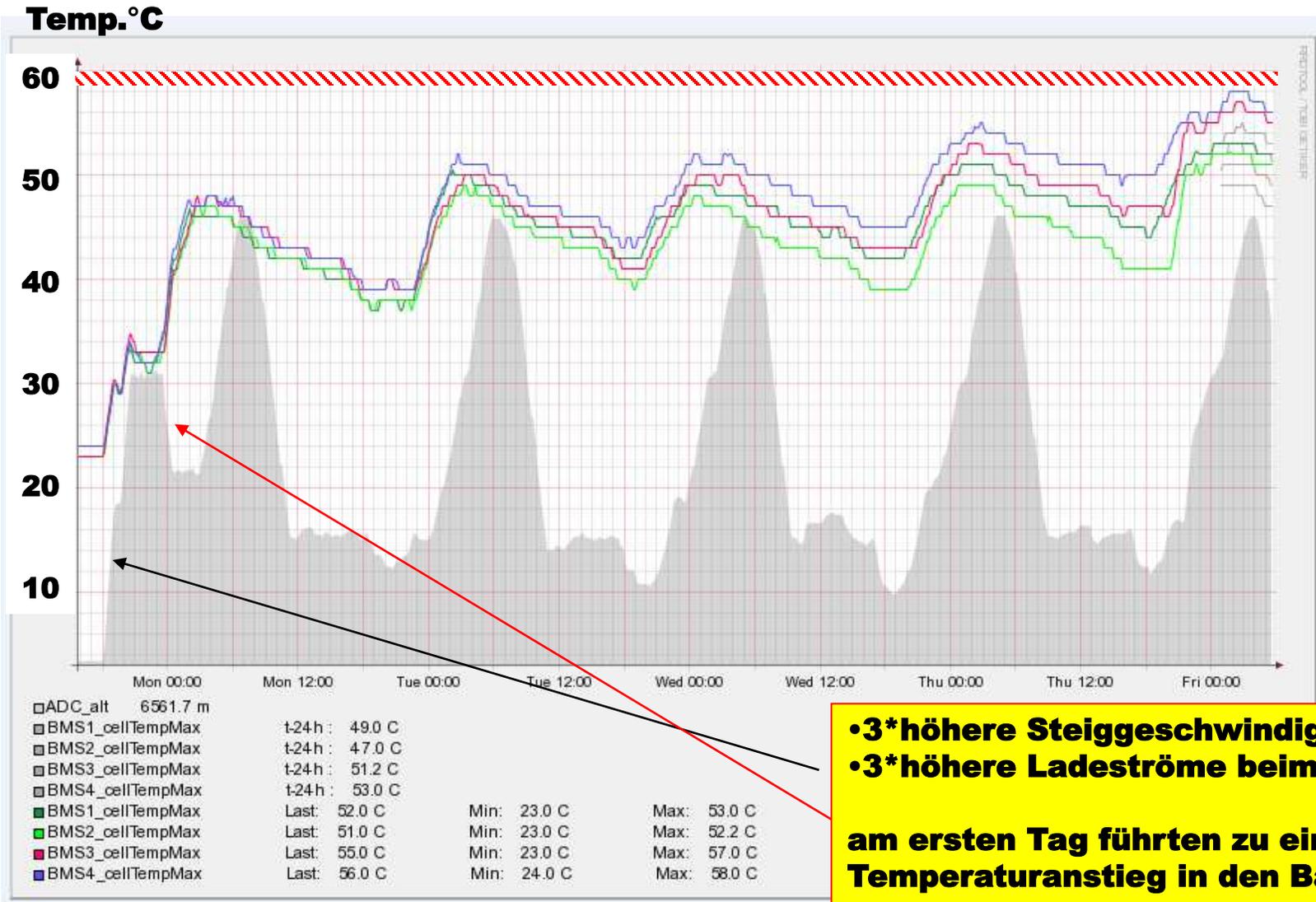
Flettner-Ruder an Querrrudern und Bremsklappen wurden durch eine Plastikfolie während des Aufenthaltes in Nagoya beschädigt



Wartezeiten bis zum nächsten Flug



Batterie Temperatur, Flug nach Hawaii



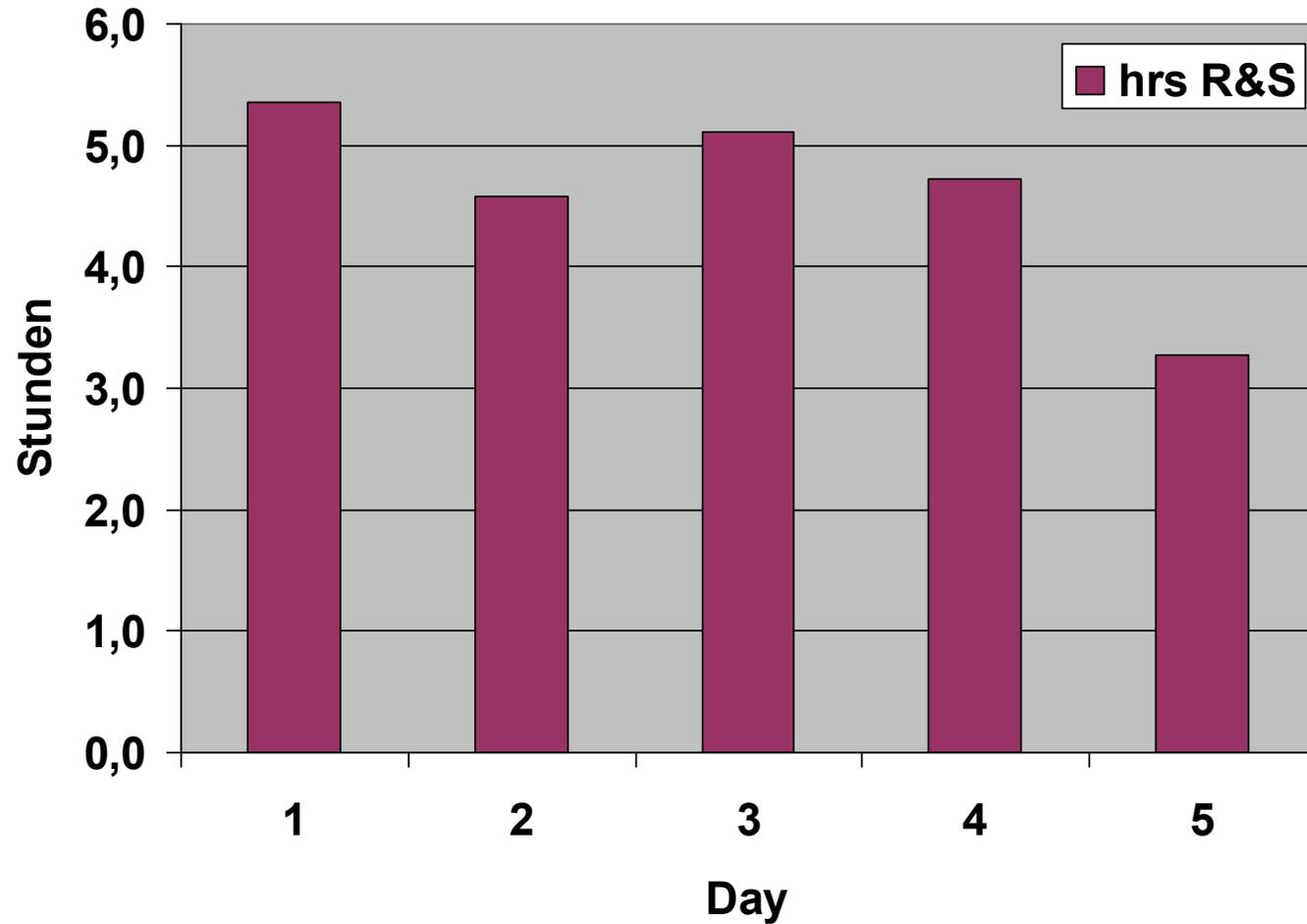
- 3* höhere Steiggeschwindigkeit
- 3* höhere Ladeströme beim Sinkflug

am ersten Tag führten zu einem starken Temperaturanstieg in den Batterien

Solarimpulse Rekord Flug nach Hawaii

- **28.6. – 3.7.2015**
- **117 h 52min**
- **Flugstrecke ~ 7200 km**

Tägliche Ruhe und Schlafzeiten, Nagoya – Hawaii



Was mußte in Hawaii repariert/verbessert werden?

- **Neue Batterien (Chemical Material) Fertigung, Test, Zusammenbau, Installation**
- **Neuer Battery Behälter: Entwurf, Bau, Test, mit externem Kühlsystem**
- **Einige verbesserte elektrische Komponenten und Hard-Software für das Stabilisierungssystem mußten eingebaut und im Flug getestet werden.**
- **Flugerprobung aller neuen Komponenten im Februar 2016**
- **Langzeiterprobung (> 1 Tag) erforderlich für die Erneuerung der Flugzulassung**
- **Verbesserte Methoden für die Wettervorhersage**

Weiterflug von Hawai erfolgte im April 2016

Ankunft in San Francisco, 24th April 2016



Hannes Ross, **IBR**, 6.12.17
HAW Hamburg

www.Solarimpulse.com

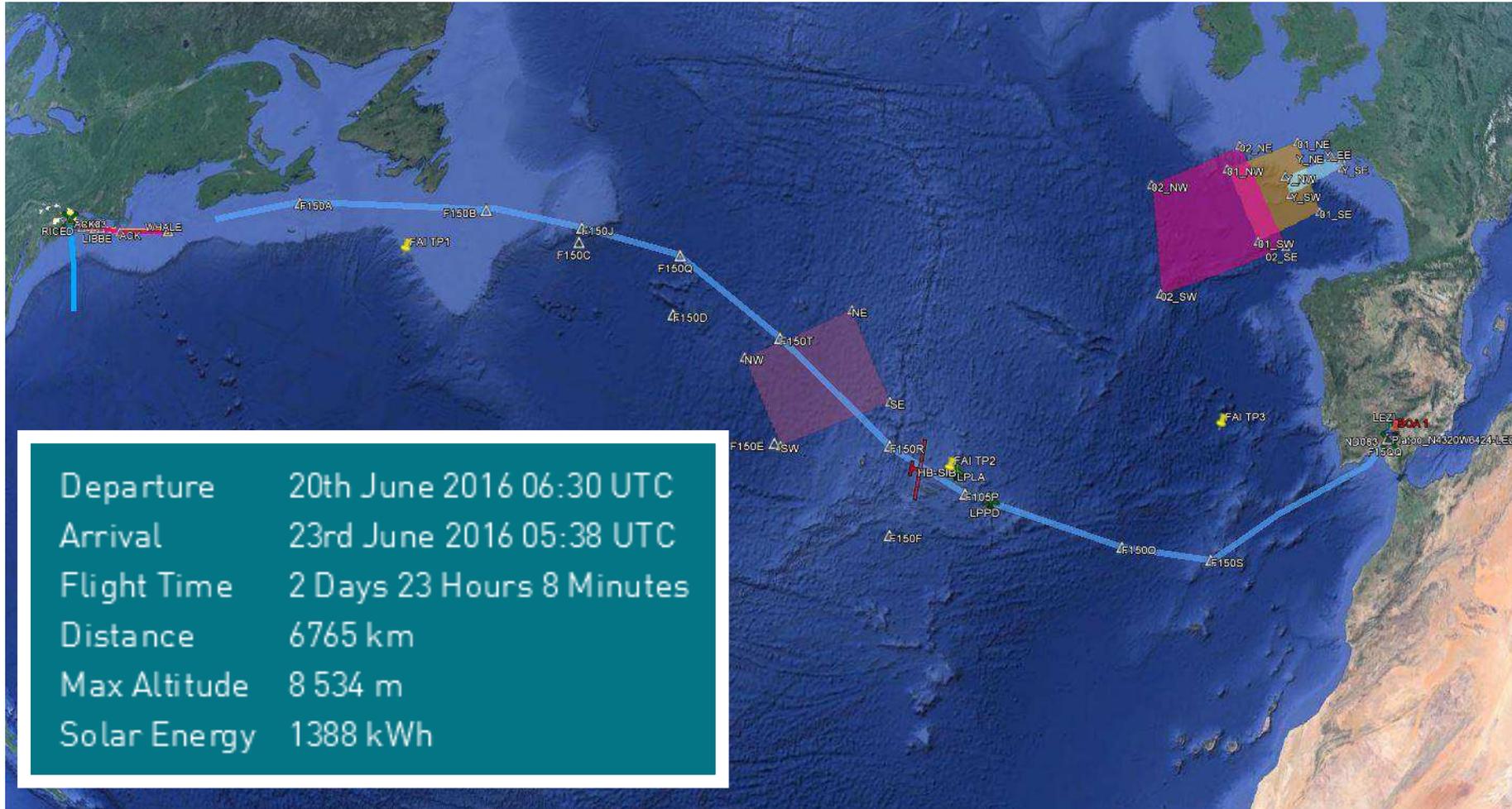
Statue of Liberty, Manhattan



Über der „Statue of Liberty“



Route von NY to Seville



Flight 16: Seville - Cairo



Spanische Solar Power Station, 20 Mega Watt, 11.7.2016



Sonnenaufgang über den Pyramiden



A Very Special Selfie !



Hannes Ross, **IBR**, 6.12.17
HAW Hamburg

Old and New Construction Material



Arrival in Abu Dhabi



Zusammenfassung

Was hat Solarimpulse erreicht:

Ein innovativer Entwurf eines bemannten Flugzeuges, das nur mit Sonnenenergie für den elektrische Antrieb viele Tage und Nächte fliegen kann, bewiesen durch die erfolgreiche Umrundung der Erde mit Überquerung von 2 Ozeanen.



HB-SIB

RTW = 560 Fh

Total = 704 Fh

Solar Impulse wurde nicht als Passagierflugzeug entwickelt, sondern es soll eine Botschaft vermitteln:

Technologien zum Energiesparen und zur Erzeugung von sauberen Energien sind schon heute vorhanden.

Wir müssen sie jetzt nutzen, um für unsere Nachkommen eine saubere Umwelt zu erhalten!

The SolarImpulse Initiative „The Future is Clean“

1 (417)	Instead of always focusing on producing more energy, let's save energy by implementing the most energy efficient devices existing today
2 (100)	Promote renewable energy resources

Just like onboard of SolarImpulse, solutions already exist to reduce energy consumption. We have already gathered 349 Organisations around this initiative.

Ende



Hannes Ross, **IBR**, 6.12.17
HAW Hamburg

Hamburg Aerospace Lecture Series
Hamburger Luft- und Raumfahrtvorträge

HAW Hamburg lädt ein zum Vortrag in Kooperation mit DGLR, RAeS, ZAL und VDI



Mit der Sonne um die Welt – Das Flugzeugprojekt SolarImpuls

Dipl.-Ing. **Hannes Ross**, IBR

**Vortrag
mit anssl. Diskussion**
**Keine Voranmeldung !
Eintritt frei !**

Datum: **Mittwoch, 06.12.2017, 18:00 Uhr**
Ort: **HAW Hamburg**
Berliner Tor 5 (Neubau)
Hörsaal 01.10

	Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences
Praxis-Seminar Luftfahrt	

Als Bertrand Piccard 1999 seine Weltumrundung mit einem Heißluft-Ballon erfolgreich beendet hatte, waren von ursprünglich 4,3 t Gas nur noch 35 kg übrig. Da kam ihm die Idee, mit einem Flugzeug die Erde zu umrunden, dass nur mit Solarenergie angetrieben werden sollte – das heißt ohne jede fossile Energie. Nach einer positiven Machbarkeitsstudie im Jahre 2003 war noch sehr viel Überzeugungsarbeit zu leisten um „Mittäter“ zu finden, um die technologischen und finanziellen Voraussetzungen für dieses ehrgeizige Programm bereit zu stellen.

Eine extrem leistungsfähige Konfiguration musste entwickelt werden, die

- mit der geringen Sonnenenergie
- einer sehr guten Aerodynamik
- einer extrem leichten Struktur
- und einem sehr effizienten elektrischen Antriebssystem

tagelang in der Luft bleiben konnte und – von nur einem Piloten geflogen – in fünf bis sechs Tagen auch die Ozeane überfliegen konnte. Das ist nun erfolgreich demonstriert worden. Über Besonderheiten und Probleme dieses Vorhabens als Vorreiter für die Nutzung von nachhaltigen Energien wird hier berichtet.



Foto: Ross

HAW
DGLR
RAeS

Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz
Dr.-Ing. Martin Spieck
Richard Sanderson

Tel.: (040) 42875-8825
Tel.: (040) 9479-2855
Tel.: (04167) 92012

info@ProfScholz.de
Martin.Spieck@thelsys.de
events@raes-hamburg.de

LinkedIn

<https://www.linkedin.com/groups/8574185>



DGLR Bezirksgruppe Hamburg
RAeS Hamburg Branch
ZAL TechCenter
VDI Hamburg, Arbeitskreis L&R

<http://hamburg.dglr.de>
<http://www.raes-hamburg.de>
<http://www.zal.aero/veranstaltungen>
<http://www.vdi.de>

Die **Hamburg Aerospace Lecture Series** (<http://hav-connect.aero/Group/Lectures>) wird gemeinsam veranstaltet von DGLR, RAeS, ZAL, VDI und HAW Hamburg (Praxis-Seminar Luftfahrt, PSL). Der Besuch der **Veranstaltung ist steuerlich absetzbar**. Bringen Sie dazu bitte eine ausgefüllte Teilnahmebestätigung zur Unterschrift zum Vortrag mit. Mittels **E-Mail-Verteilerliste** wird über aktuelle Veranstaltungen informiert. **Vortragsunterlagen** vergangener Veranstaltungen, aktuelles **Vortragsprogramm**, Eintrag in E-Mail-Verteilerliste, Vordrucke der Teilnahmebestätigung: Alle Services über das Internet: <http://hamburg.dglr.de>.