

# SOLARIMPULSE

AROUND THE WORLD IN A SOLAR AIRPLANE



Ready for «Take-Off-2016» in Hawaii

11. Energie-Lunch EbW  
14.04.2016

# EbW ..... Energie bewegt SI

Die treibenden Kräfte bei Solarimpulse neben Bertrand Piccard sind nachhaltige Energieformen:

- Sonnenenergie
- Windenergie

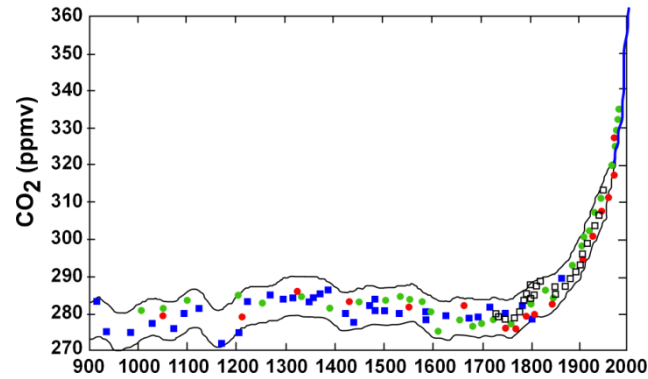
Beide Energieformen machen uns vom Wetter abhängig !



# SolarImpulse - Vision / Ausrufezeichen ....

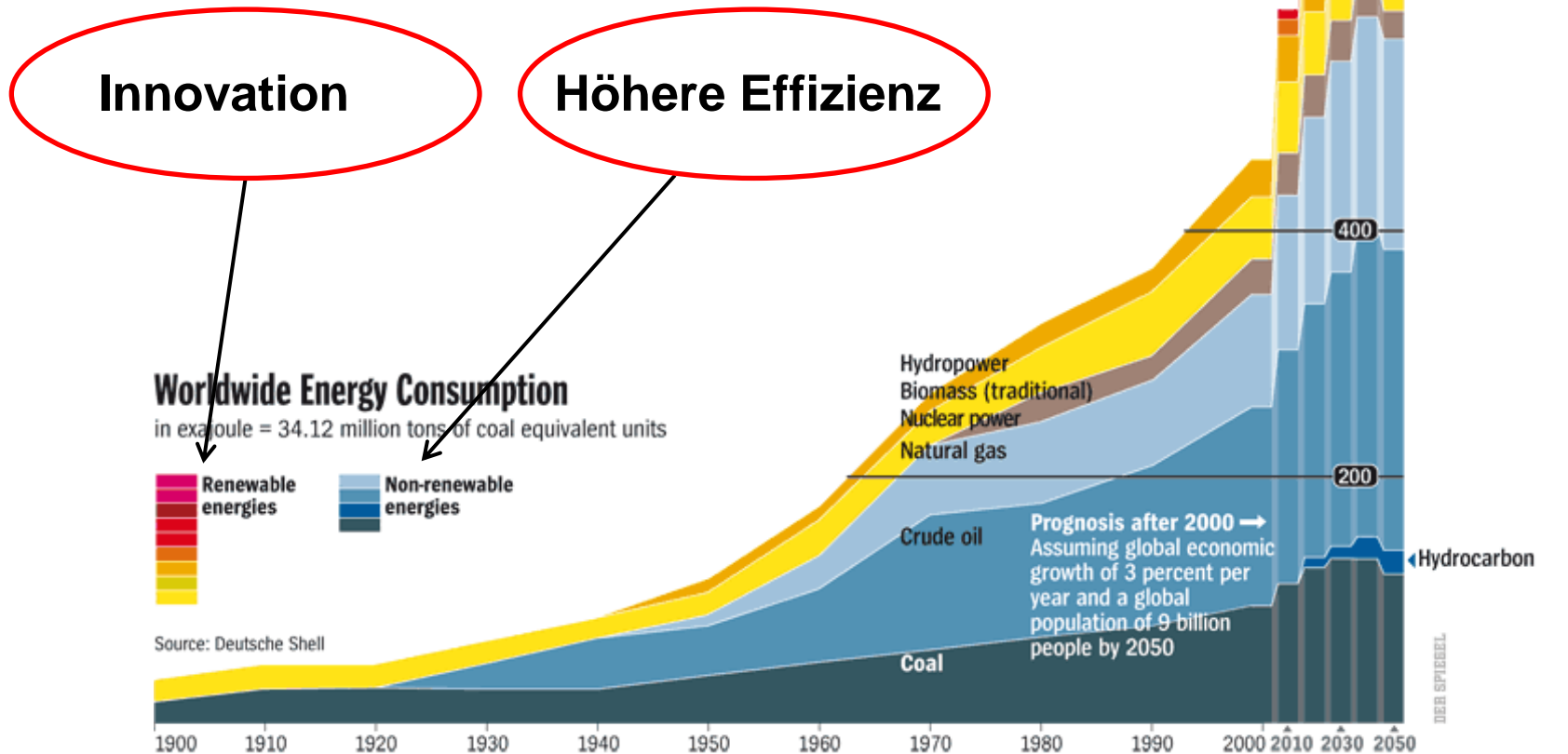
.... auf dem Hintergrund des menschlichen Raubbaus an der Biosphäre

Klimawandel, CO<sub>2</sub>, Energievorräte ..... wird so auch Thema der Sponsoren



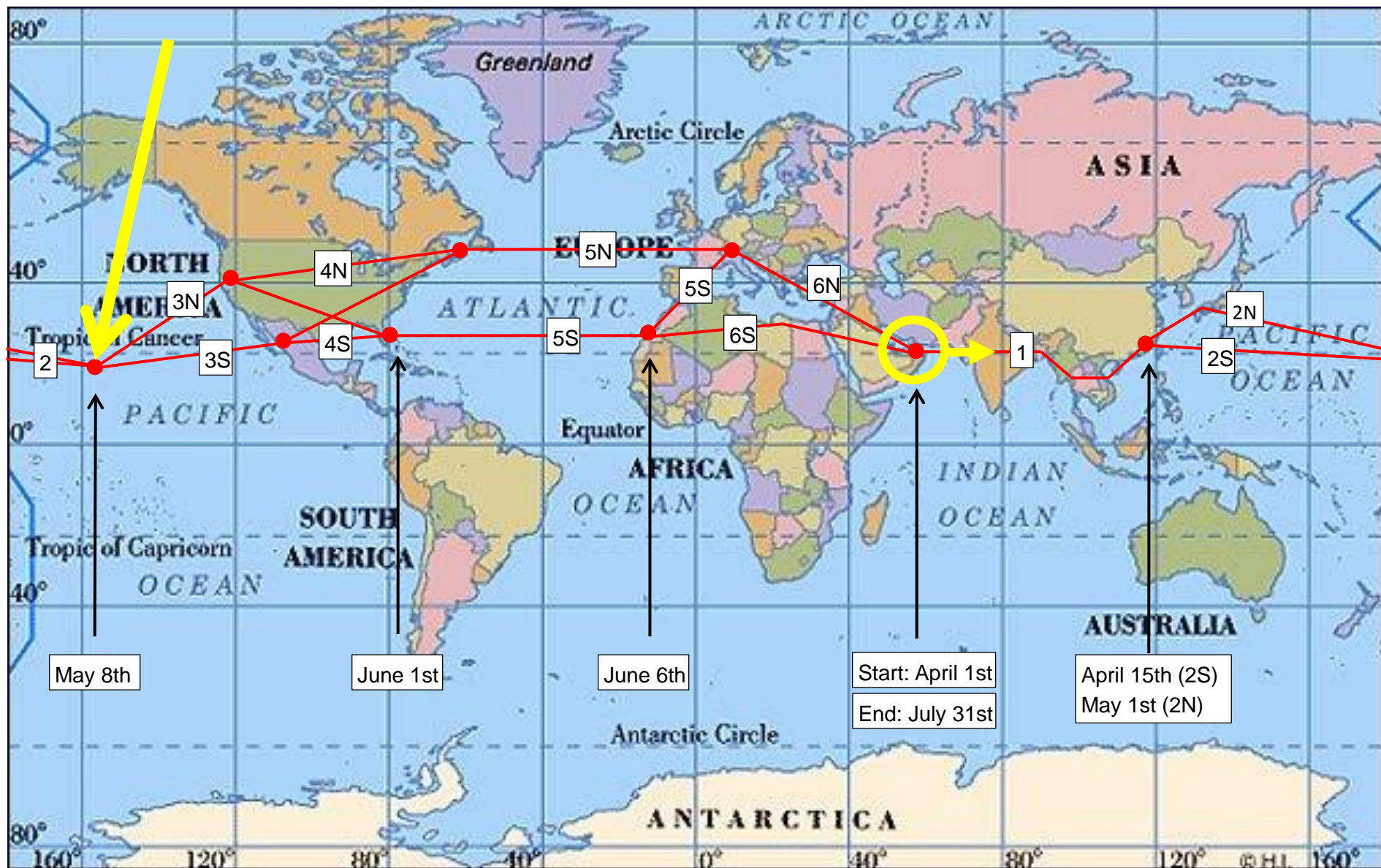
# Prognose des Welt-Energieverbrauchs

- Wir sind momentan zu 85% von fossiler Energie abhängig
- die Vorräte sind endlich.



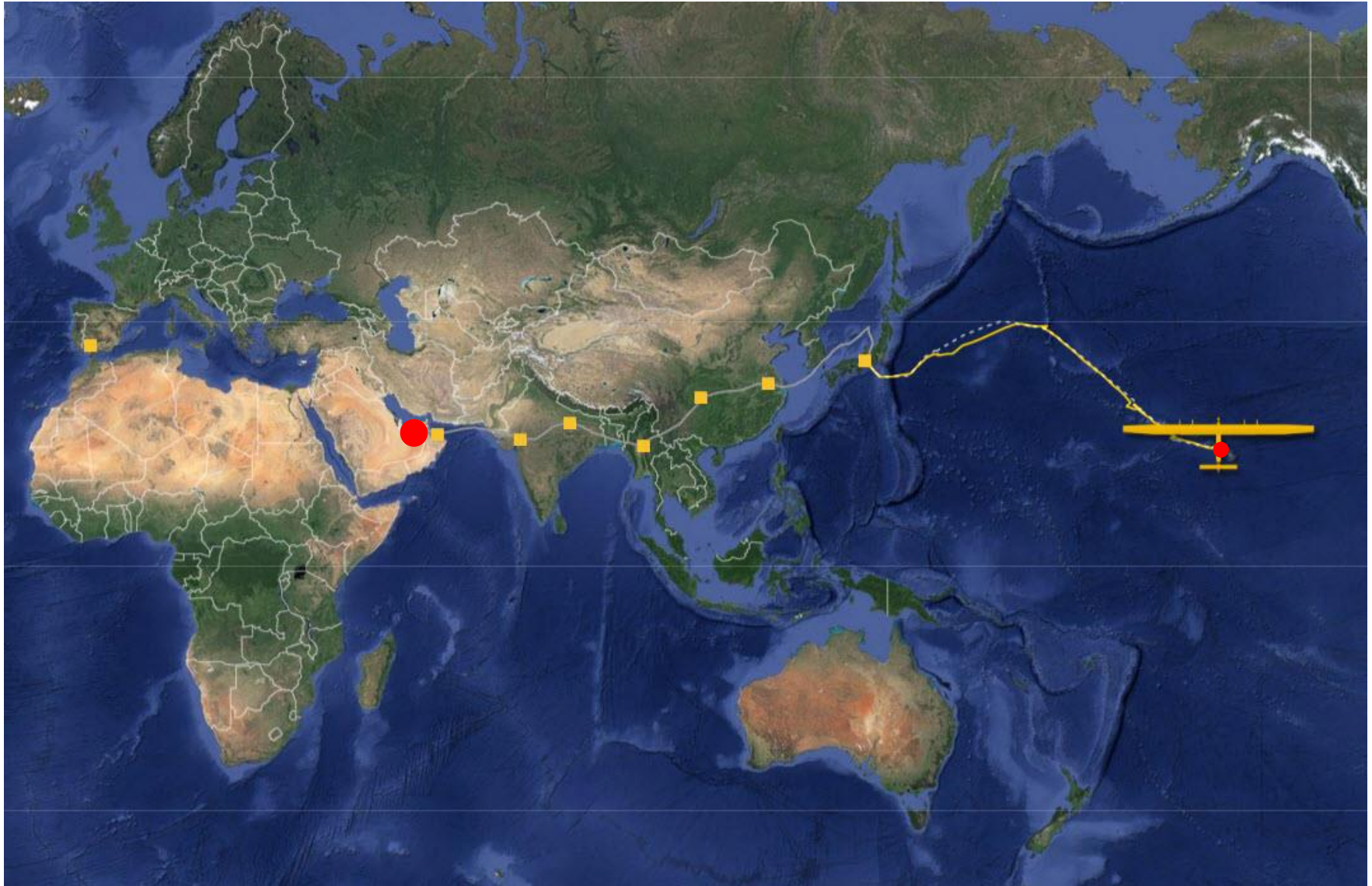


# Die Route rund um die Erde





# Abu Dhabi – Hawaii 2015



# S10 (HB-SIA) Payerne, April 2010



63.4 m Spannweite ; 1700 kg

# Si2 (HB-SIB) Neuenburgersee, Juni 2014



72.35 m Spannweite ; 2550 kg



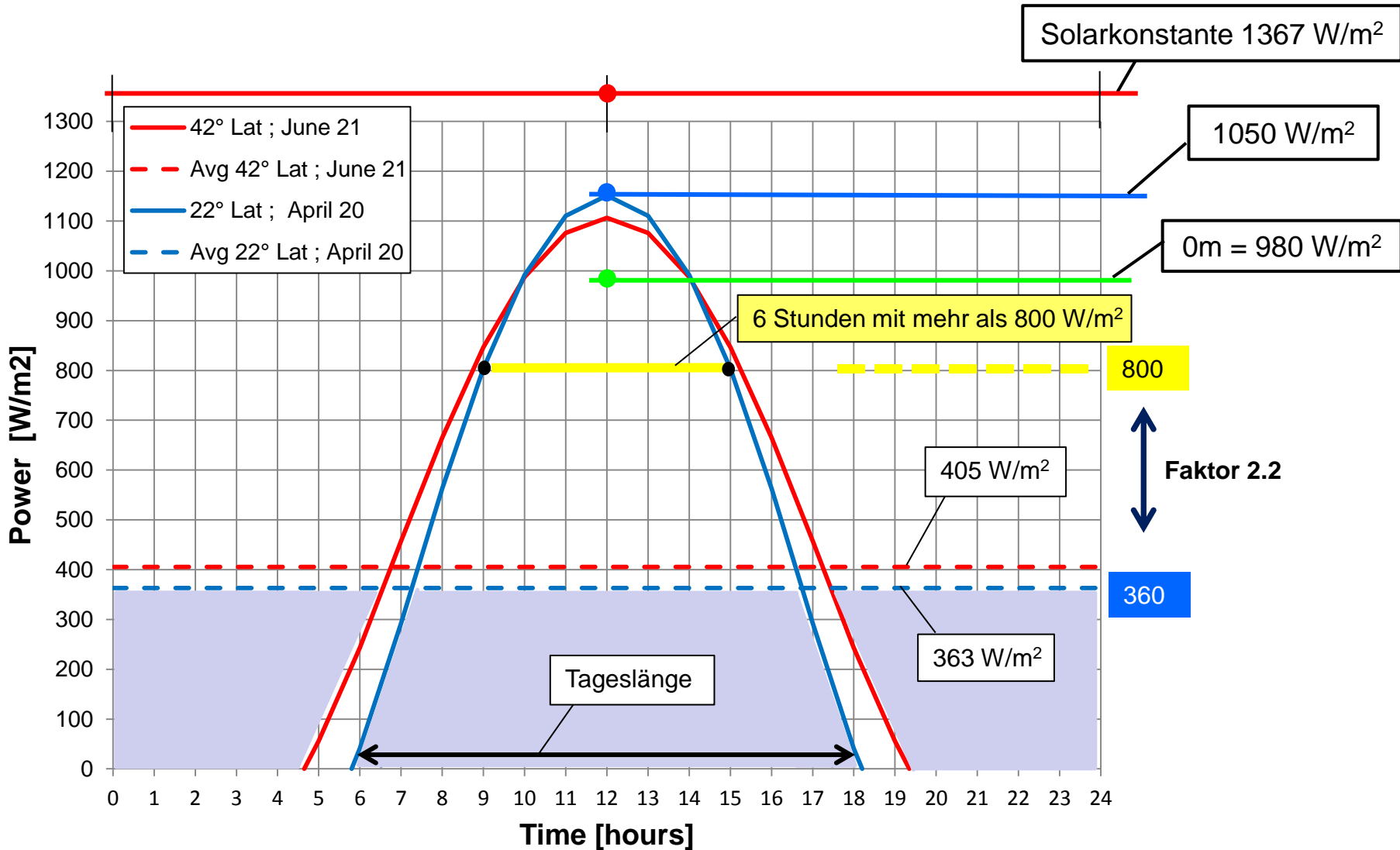
# Neue Dimension

Nur mit einem Teil der Solarstrahlung Schub erzeugen und gleichzeitig für die Nacht Energie speichern in schweren Batterien

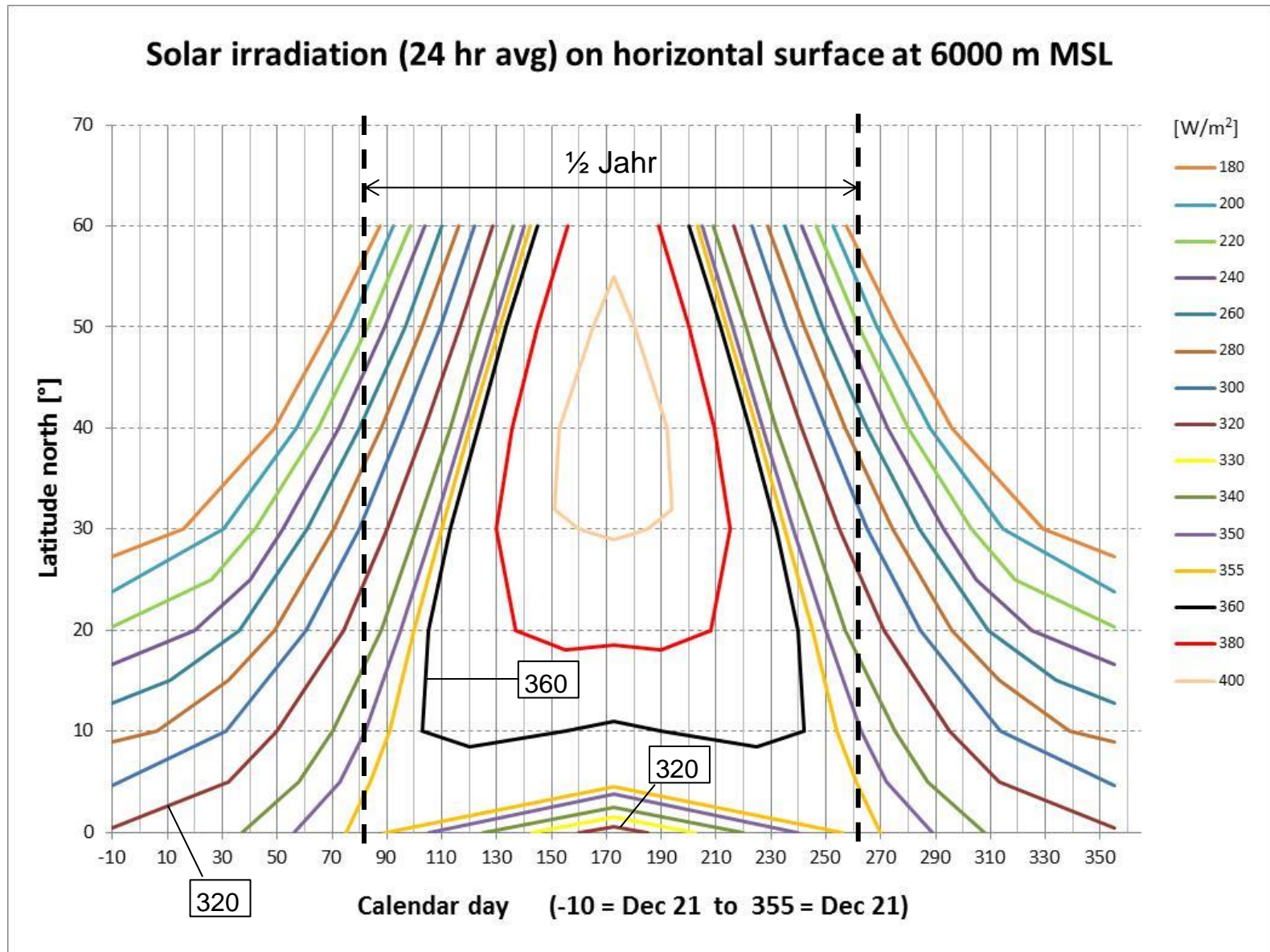


# Solar-Energie pro Tag, 6000m Höhe, hor. Fläche

$$E = 8.64 \text{ kWh/m}^2/\text{Tag} ; (24\text{h} * 360 \text{ W/m}^2)$$



# Mittl. Strahlung pro Breitengrad in 6000 m Höhe





# Aktuell nutzbare Technologie

- a) Licht mit Photo-Voltaik in elektrische Energie wandeln
- b) Speicherung elektro-chemisch in Batterien erprobt

- 1 kg Benzin (1.3L = 11.5 kWh Heizwert) = **3.45 kWh E mech** (Benzin-motor  $\eta=30\%$ )
- 1 Tag PV Zellen mit 2.11 m<sup>2</sup> ( $\eta=21\%$ ) = **3.45 kWh E mech** (Elektro-motor  $\eta=90\%$ )  
( bezogen auf 8.64 kWh/m<sup>2</sup> Solar-energie pro Tag ; 24h x 360 W/m<sup>2</sup> )
- Benzin und Batteriegewichte für 3.45 kWh E mech
  - **1 kg Benzin** (1.3 L) (11.5 kWh/kg , Motor mit  $\eta=30\%$ )
  - **15 kg Li-Battery** (0.26 kWh/kg , Motor mit  $\eta=90\%$ )
  - **128 kg Blei-Battery** (0.03 kWh/kg , Motor mit  $\eta=90\%$ )

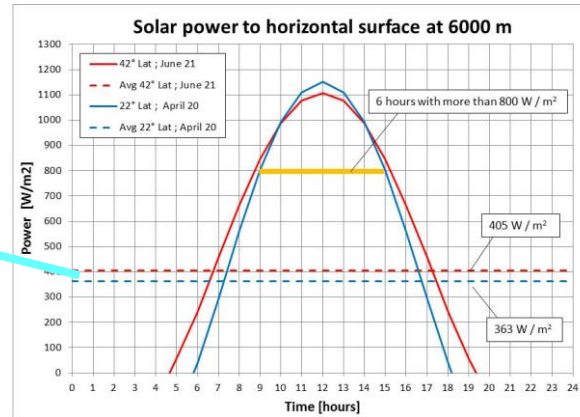
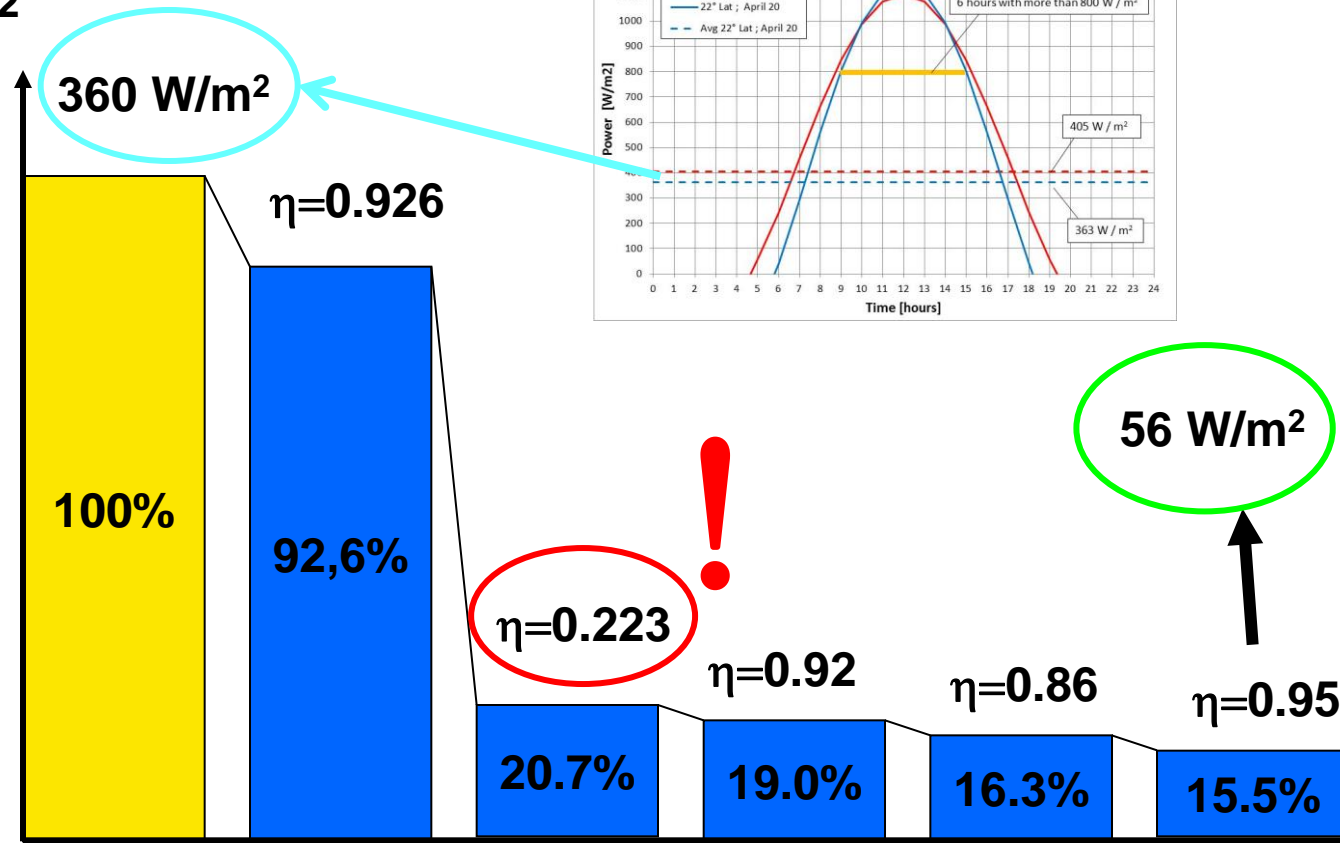


**Li - Batterie zu Benzin = Faktor 15 !**

1 kW = 0.735 PS)

# Si2: Schubleistung ist nur 56 W /m<sup>2</sup> (Flügelfläche)

W/m<sup>2</sup>



30% mehr als S10 (43)

Antriebs Strang

Solar Strahlung      Cirrus 0.95 & Fläche PV / Flügel      PV Zellen      Motor Driver & Kabel      Propeller & Installation      Energie-Speicherung

# Flächenbelastung aus Schub und Flugzeugpolare (horizontaler Flug)

$$\frac{G}{F} = \frac{1}{g} \left( \frac{P}{F} \right)^{(2/3)} * \left( \frac{\rho}{2} \right)^{(1/3)} * \frac{CL}{CD^{(2/3)}} \quad \left[ \frac{kg}{m^2} \right]$$

Spez. Schubleistung

(56 W/m<sup>2</sup>)

Dichte = f (Höhe)

Flugzeugpolare

(CL / CD = 32.5)



# Flächenbelastung aus Schubleistung und Aerodynamischer Güte des Flugzeugs

Daten für 6000 Flughöhe; Schubleistung bezogen auf Flügelfläche

S10 mit **43 W/m<sup>2</sup>**:

G/F max = **8.80 kg/m<sup>2</sup>**

Effektiv:

G/F = 1700/206 = 8.23 kg/m<sup>2</sup>

Si2 mit **56 W/m<sup>2</sup>**: (+30%)

G/F max = **10.50 kg/m<sup>2</sup>** (+19%)

Effektiv:

G/F = 2550/271 = 9.41 kg/m<sup>2</sup>



G/F = 10 ist eigentlich ein Hängegeleiter !

Luftdichte 6000m:  $\rho = 0.66 \text{ kg/m}^3$

# Challenge es trotzdem zu tun

- Viele Fachleute meinten vor 13 Jahren (2003), dass es nicht machbar sei.
- The Wright brothers predicted that it would be impossible for an aircraft ever to cross the Atlantic.

Yet Charles Lindbergh did it 20 years later.

# Entwurfsansatz

Solarflugzeug mit hoher Flügel-Streckung, super leichte Bauweise

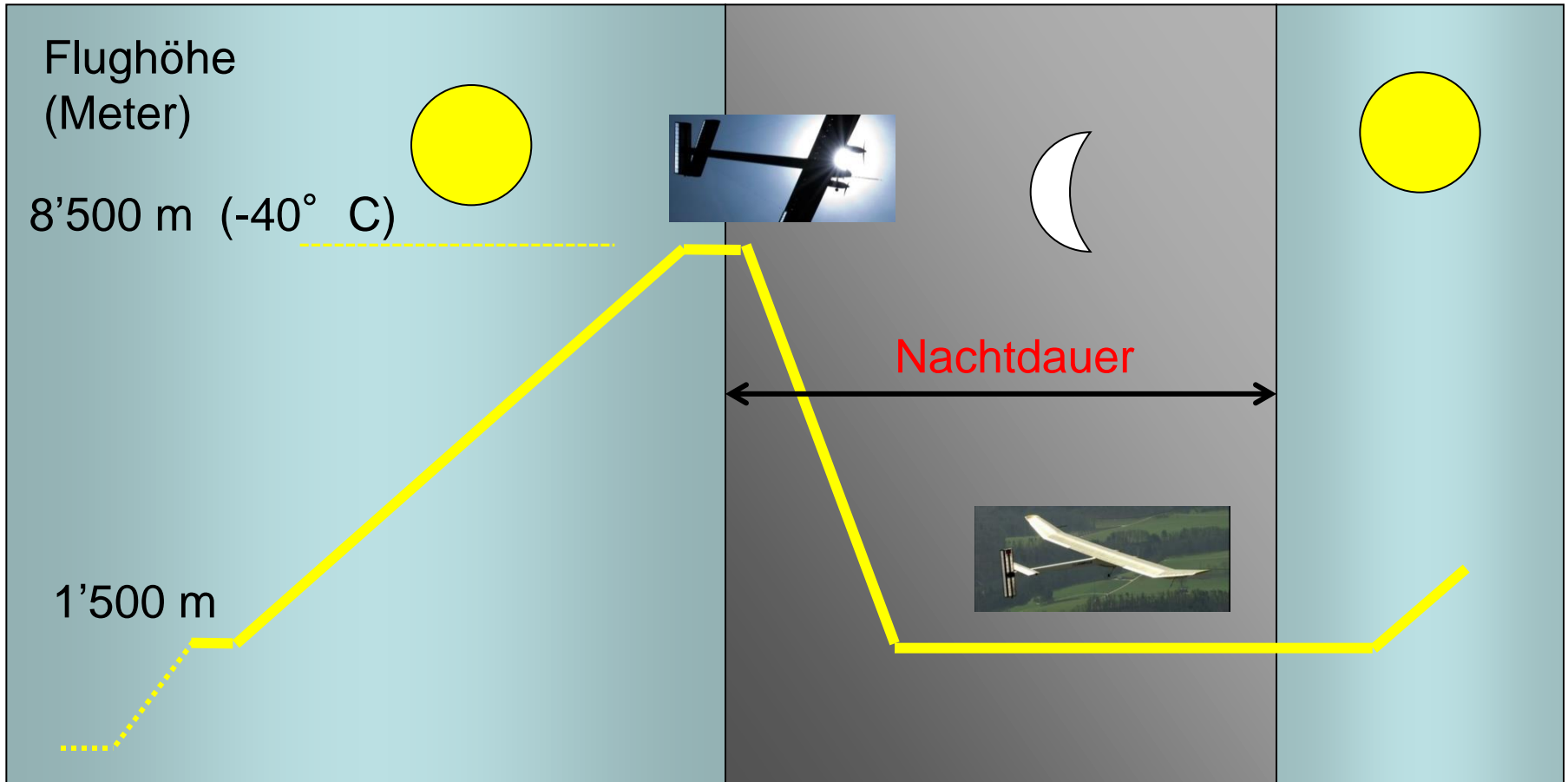




# Optimierung der Energie-Speicherung

Energiespeicherung in Höhe (potentielle Energie = kein Gewicht) und in Batterien ergibt die grösstmögliche Flughöhe für die Nacht und/oder max. Nutzlast

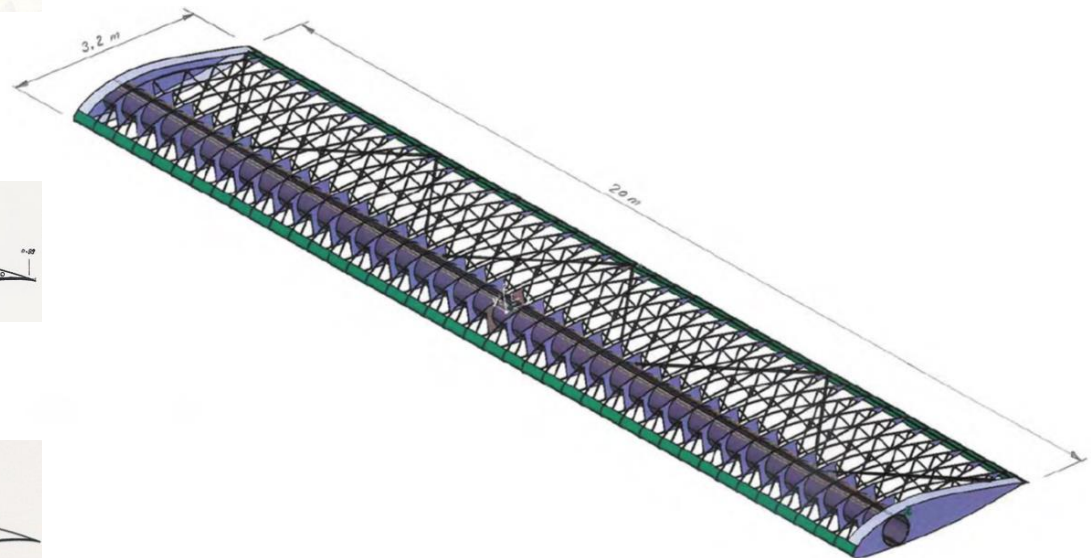
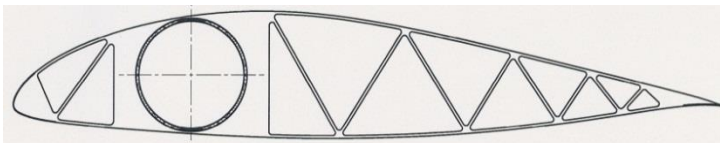
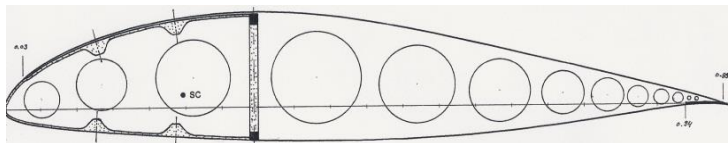
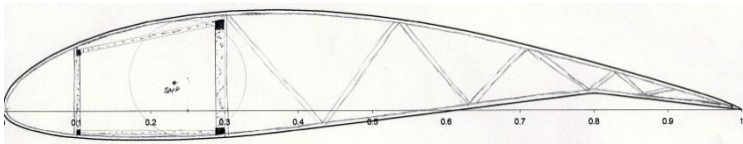
(H max festgelegt auf **8500m** wegen  $T = -40^{\circ}\text{C}$  und Air Traffic Rules)



# Gewicht ???

Strukturgewicht = Funktion (Bauweisen und Technologie)

Konzepte für extreme Leichtbauweise (Schalenbauweise nicht möglich)

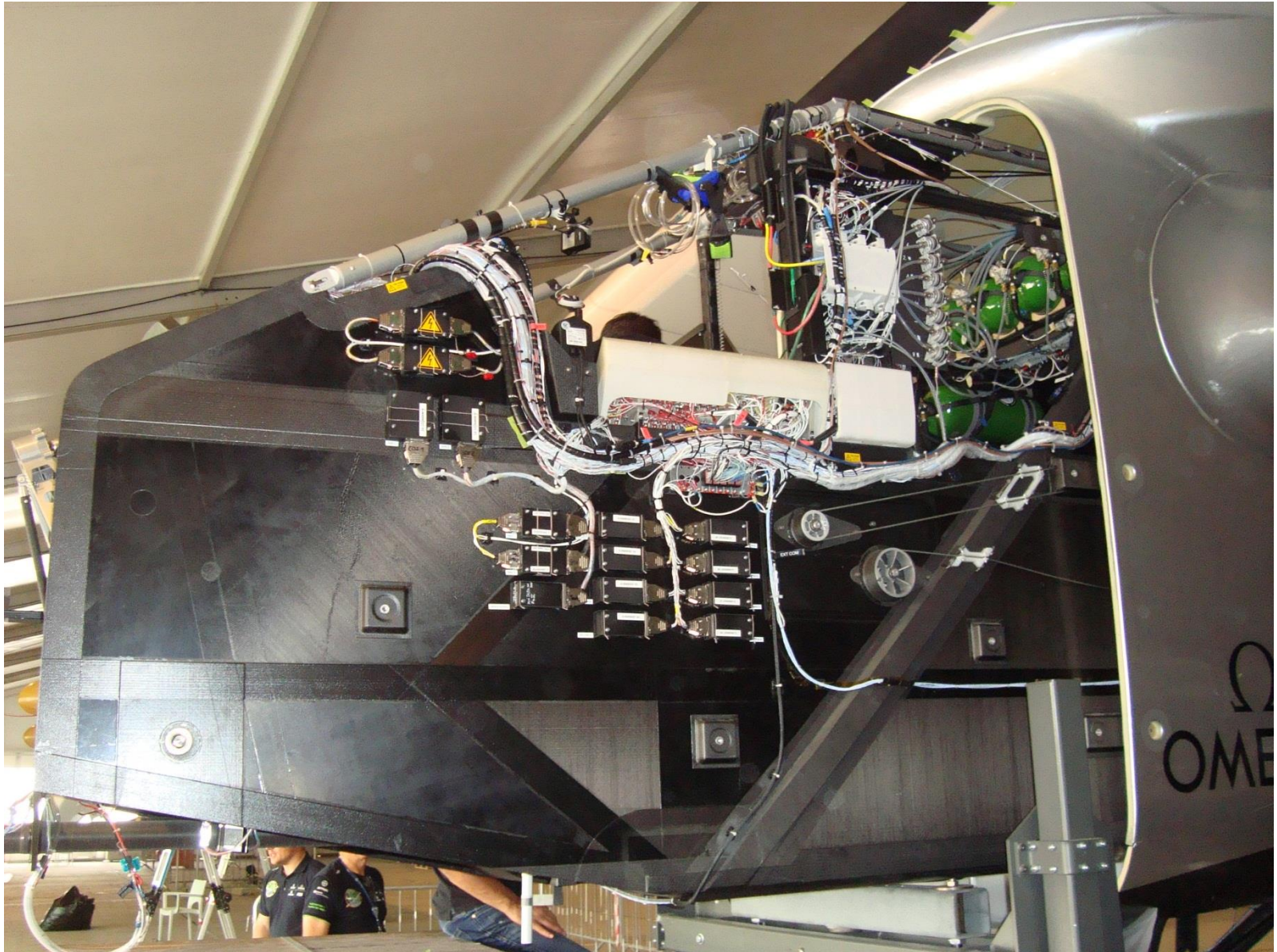


# Hauptholm aus Sandwichplatten



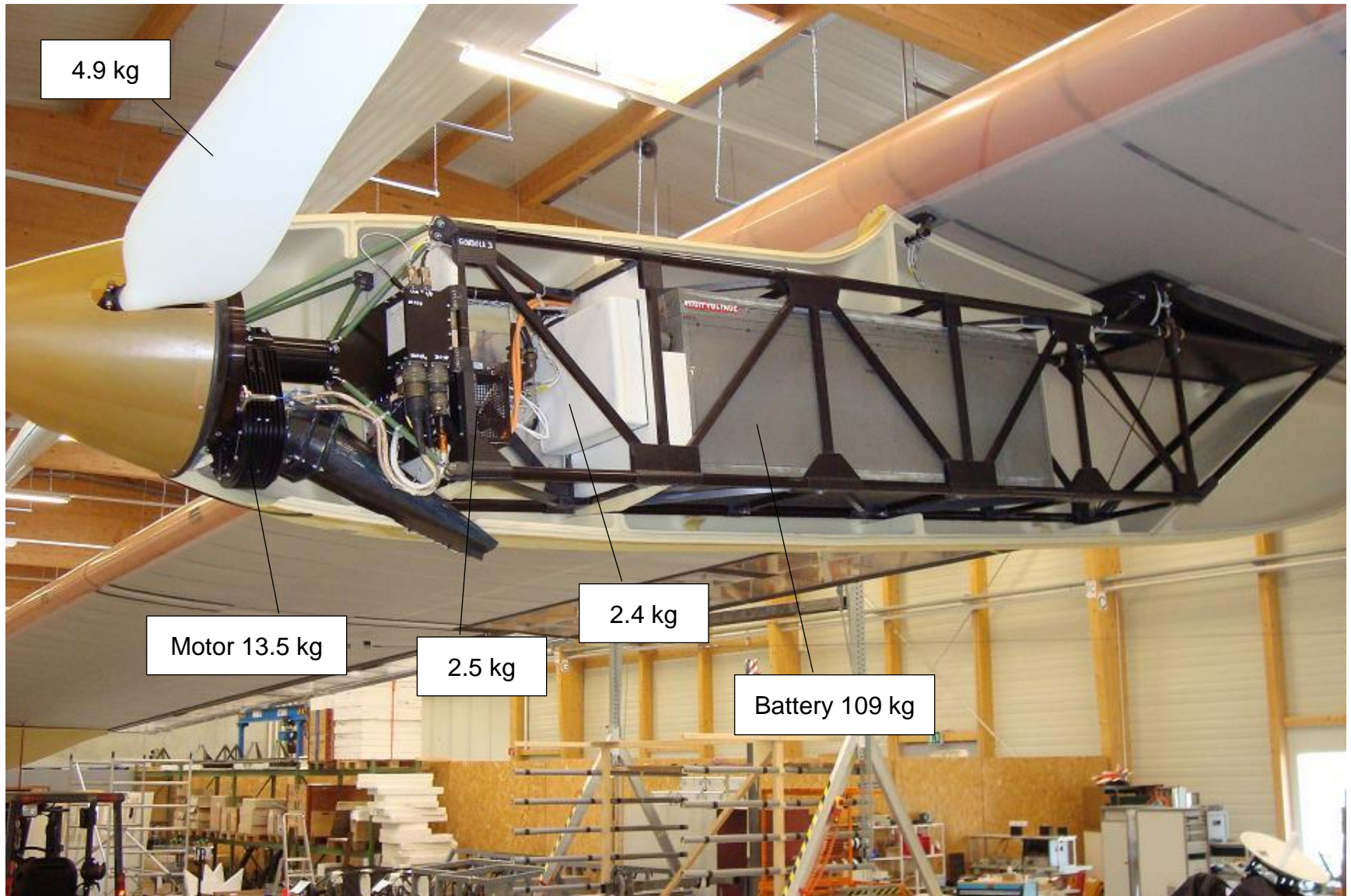


# Avionik, Elektrik und Kabelstränge

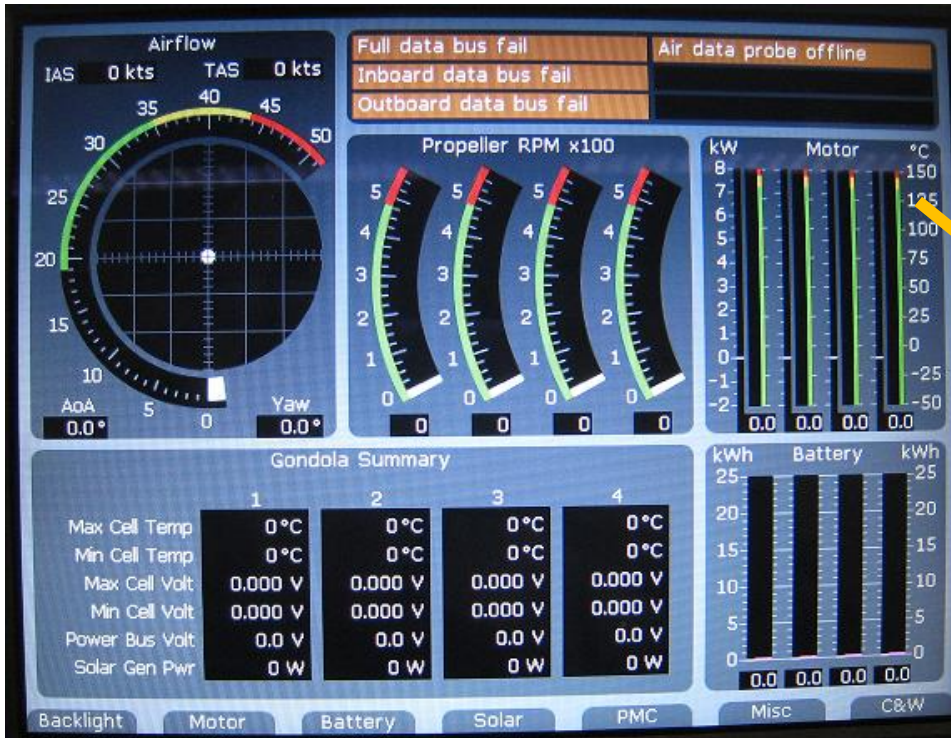




# Antriebseinheit incl. Batterie HB-SIA



# Software Entwicklung



PMC (power management computer)

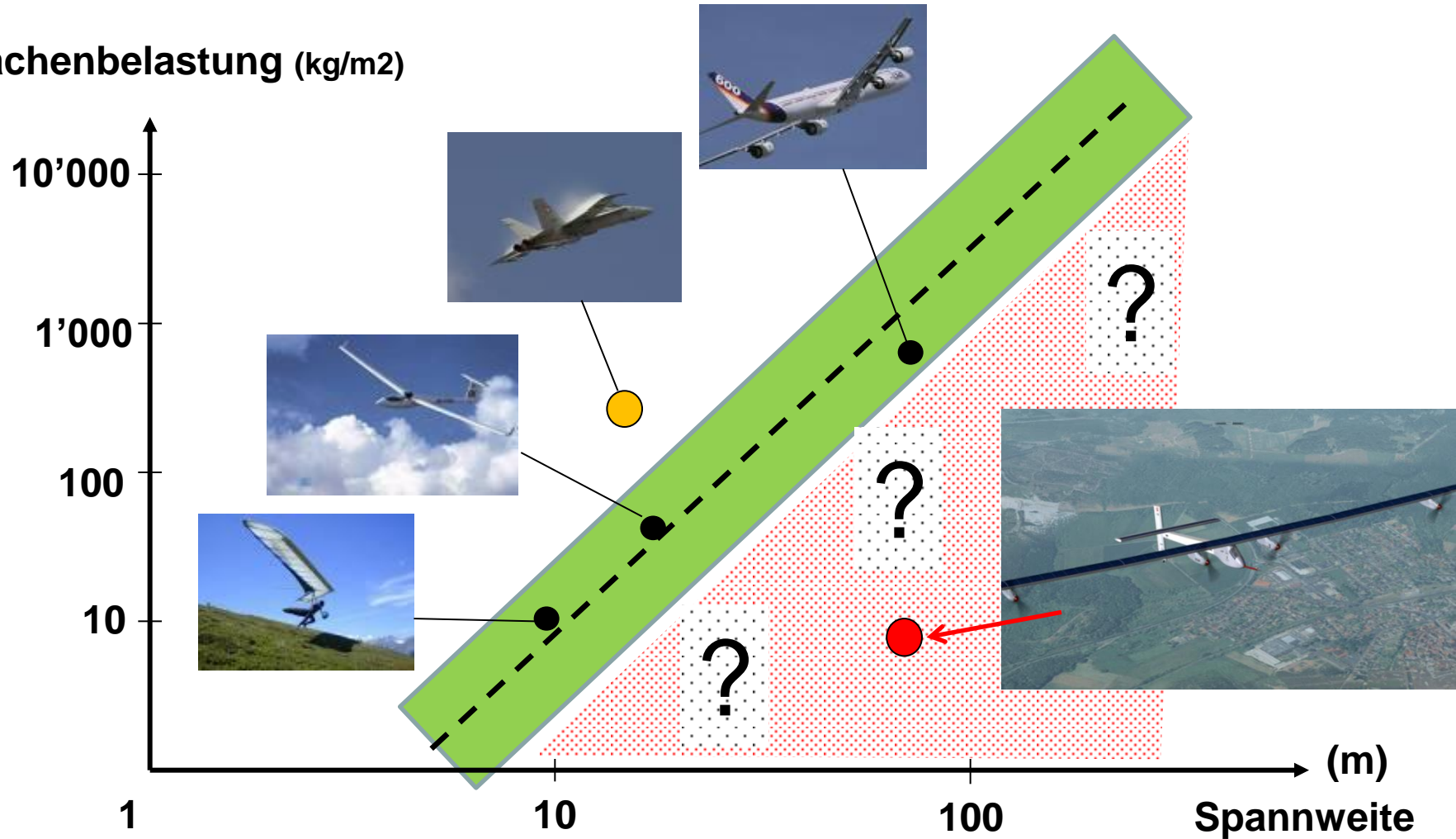




# Flugeigenschaften und Steuerbarkeit

Weit ausserhalb des Bekannten !

Flächenbelastung (kg/m<sup>2</sup>)



# 26h Weltrekordflug (7./8. Juli 2010)





# Flug in Marokko über dem Atlas Juli 2012





# Flug über San Francisco April 2013



# Abu Dhabi 2015





# MISSION CONTROL MONACO 2015







# Rekordflug Nagoya - Hawaii

- 28.6. – 3.7.2015
- 117 h 52 min
- Distanz ~ 8400 km

- Durchschnittsgeschwindigkeit 71.3 km/h
- Risiko das Flugzeug zu verlieren, wie in Raumfahrt

(Bisher 76 h 45 min, 41467 km, Steve Fossett, 2006)











# Energie und Mobilität

- 18-20% der Strahlung = mech Leistung E-motor
- Benzinmotor = 30% Eff / E-motor = 90% Eff  
(In den Medien: Batteriekapazität = Heizwert)
- 1.5 L Benzin Aeq. = 2.1 m<sup>2</sup> PV-Zellen \* 1 Tag
- Für 50 km / Tag braucht es min. 4.2 m<sup>2</sup> Zellen  
(aber in CH Sommer > Winter ; siehe unten)
- Speicherung Tag/Nacht und saisonal nötig  
(hier muss geforscht und investiert werden)
- 52 L Benzin (40 kg) = 600 kg Batterie (+560 kg)  
(E-Auto braucht effektiv total mehr Energie ; EU Strom = CO<sub>2</sub> !! )