



Regenerative Technologien für zukünftige Lebenserhaltungssysteme

1. Motivation

- Entwicklung neuer Technologien und Strategien für Lebenserhaltungssysteme (LSS) zukünftiger bemannter Raumfahrtmissionen außerhalb von LEO:

Mond (2024*), Librationspunkte, NEOs und Mars (2033*)

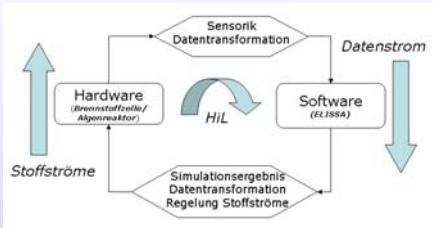
* ESA-Programm „Aurora“

2. Zielsetzung

- Minimierung der Nachschubmasse
- Vereinfachung der Logistik
- Reduktion der Komponentenanzahl
- weitgehend autarke Versorgung (Schließung von Stoffkreisläufen)
- Kostenreduzierung
- Aufbau eines Flugexperiments

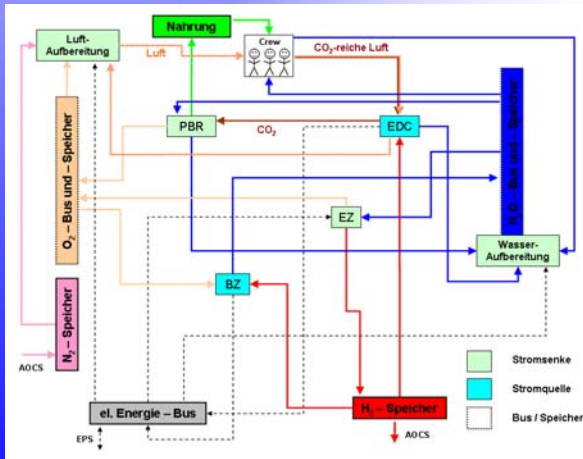
5. Aktueller Stand der Forschung am IRS

- Entwicklung von effizienten Konzepten für LSS
- Aufbau eines HiL-Teststandes
 - ⇒ Simulationsmodelle werden durch reale Hardware ersetzt: *Brennstoffzelle / Algenreaktor*



- ⇒ Verbesserung der Simulationsmodelle zur Erhöhung der Ergebnisgenauigkeit
- ⇒ Systemintegration von Brennstoffzelle und Algenreaktor in ein LSS
- ⇒ Bewertung von LSS-Strategien durch Schließung von Stoffkreisläufen (Datengrundlage für t_1 , t_2 und t_3)

- Beispiel für eine Vernetzung von Brennstoffzellen und Algenreaktoren in einem hybriden LSS



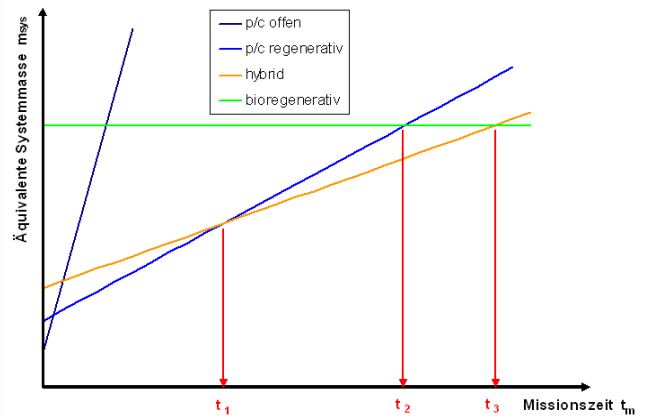
- ⇒ HiL-Simulation, Ergebnis $t_1 < t_2$?

3. Systemischer Lösungsansatz

- Entwicklung regenerativer Technologien durch
 - ⇒ Weiterentwicklung / Anpassung bestehender physiko-chemischer (p/c) Systemkomponenten (*reversible Brennstoffzelle*)
 - ⇒ Einsatz von einfachen biologischen Systemkomponenten (*Algenkultivierung in Photobioreaktoren*)
 - ⇒ Synergetische Vernetzung der Komponenten (p/c Komp. + biol. Komp. = hybrides LSS)
 - ⇒ Synergetische Vernetzung der Subsysteme des gesamten Raumfahrtsystems (LSS, EPS, AOCS)
- Erhöhung der Sicherheit durch Redundanz

4. Aufgaben

- Analytische Charakterisierung von LSS-Strategien



$$m_{sys,s}(t_M) = m_{fix,s} + \dot{m}_{re,s} \cdot t_M + m_{syn,s}$$

- $m_{sys,s}$: Äquivalente Systemmasse
- $m_{fix,s}$: Fixmasse (Hardware, Peripherie)
- $\dot{m}_{re,s}$: Nachschubbedarf
- $m_{syn,s}$: Synergiemassee

$$t_{(i,j)} = \frac{(m_{fix,j} - m_{fix,i}) + (m_{syn,j} - m_{syn,i})}{\dot{m}_{re,i} - \dot{m}_{re,j}}$$

- Break-Even-Points (t_1, t_2, t_3) als Kriterium, zu welcher Missionszeit t_m ein Wechsel zwischen zwei LSS-Strategien (i, j) sinnvoll ist

- ⇒ Experimentelle Verifikation durch Simulationen „Hardware-in-the-Loop“ (HiL)