

Interminatus – endlos in der Luft mit Sonnenenergie

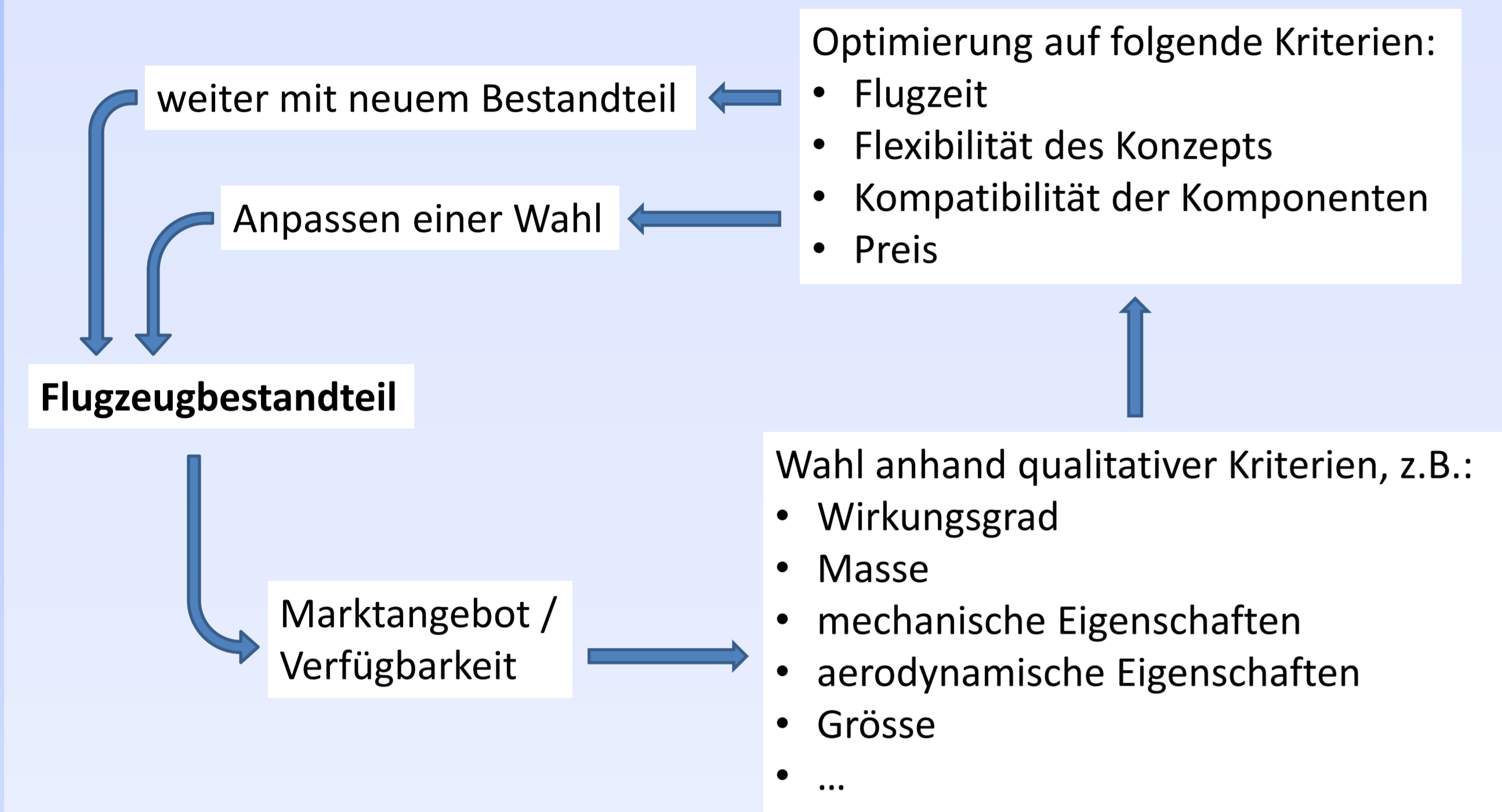
Planung, Bau und Fliegen eines Solarflugzeuges

verfasst von: Marco Heim
 Betreuung: Dr. Markus Wey
 Gymnasium Kirchenfeld Bern

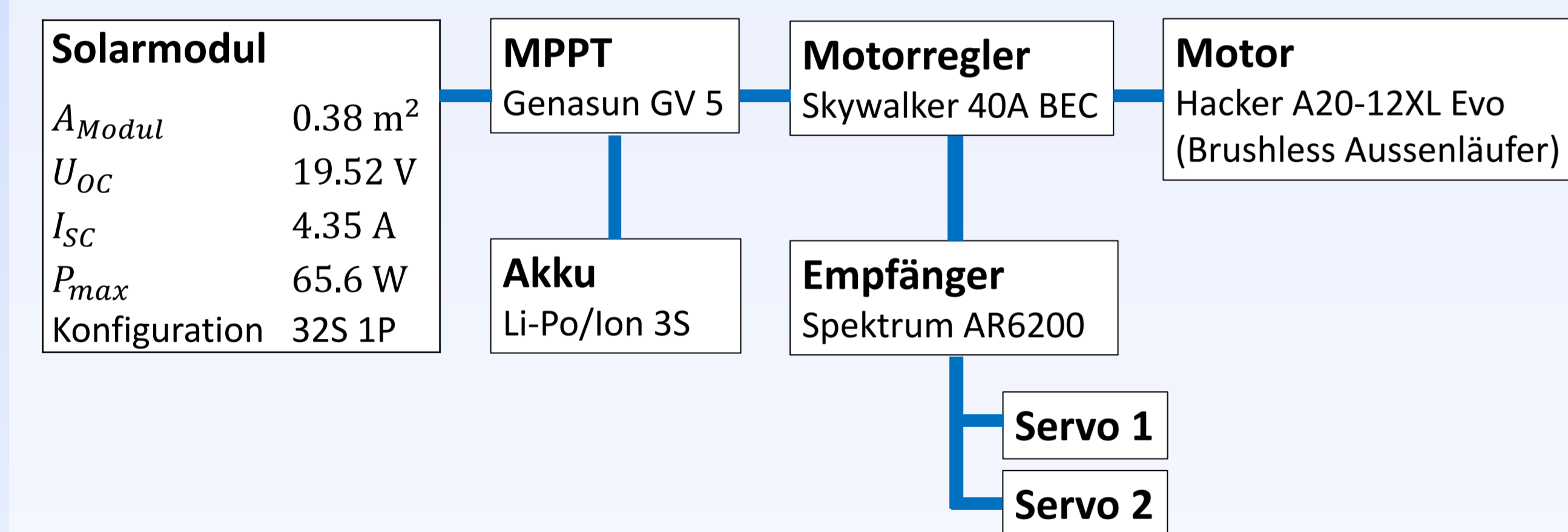


Das Flugzeug

Planung



Funktionsschema



Fliegen

"Interminatus" ist bisher zwei mal geflogen. Beide Flüge sind erfolgreich verlaufen und haben bestätigt, dass das Konzept funktioniert. Im Nachhinein konnte die Wirkung der Solarzellen rechnerisch bewiesen werden. Das Flugverhalten ist trotz des veränderten Profils gut: Das Flugzeug fliegt stabil und reagiert unkritisch auf Strömungsabrisse. Auf Antrieb betrug die Flugzeit über eine Stunde – und es wäre mehr möglich gewesen.

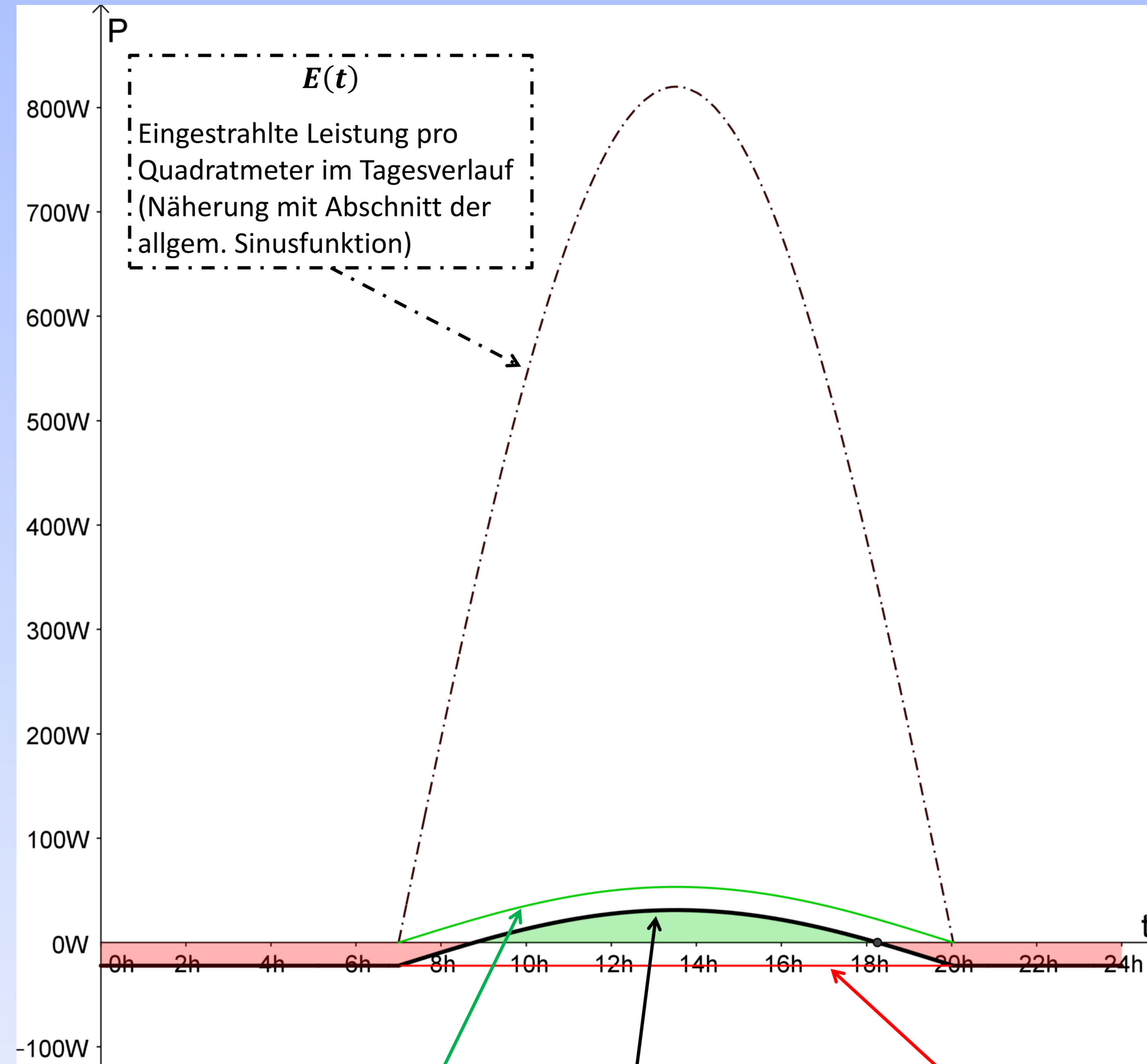
Erstflug

Datum	22.8.2015
Ort	Signau BE
Start	17:00 Uhr
Landung	18:05 Uhr
Flugzeit	1h 5min
Bedingungen	Windstill, leicht bewölkt

Mögliche Optimierung

- Solarmodul:** Einkapseln der Solarzellen, z.B. mit Glasgewebe, für bessere Festigkeit und leichte Biegsamkeit, effizientere Solarzellen verwenden
- Reduktion der **V-Stellung des Flügels:** neuer Flügel mit Querruder
- Luftschaube:** Analyse und Optimierung
- Reduktion der **Abflugmasse:** neuer, noch leichter Flügel
- Akkukapazität:** vor Flügen den optimalen Akku mit Flugzeitberechnung ermitteln

Energiemanagement



$$P_v(t) = n_{wetter} \cdot A_{SZ} \cdot n_{\beta} \cdot \eta_{Komponenten} \cdot \eta_{mechanisch} \cdot E(t)$$

Antriebsleistung, die das Flugzeug im reinen Solarflug zum Zeitpunkt t abgeben kann. In der Formel berücksichtigt sind die Fläche und der Wirkungsgrad des Solarmoduls, Wetteinflüsse, der Einstrahlungswinkel und alle elektrischen und mechanischen Wirkungsgrade der Antriebskette.

$P_{horizontal}$
 Mindestens erforderliche Antriebsleistung im Horizontalflug

$$B(t) = P_v(t) - P_{horizontal}$$

Bilanz zwischen verfügbarer ($P_v(t)$) und benötigter Leistung ($P_{horizontal}$):

- $B(t) > 0$ bedeutet, dass das SF zum Zeitpunkt t mehr Antriebsleistung abgeben könnte als zum Fliegen benötigt wird.
- $B(t) = 0$ bedeutet, dass das SF zum Zeitpunkt t gerade so viel Antriebsleistung abgeben kann, wie benötigt wird.
- $B(t) < 0$ bedeutet, dass zum Zeitpunkt t mehr Antriebsleistung benötigt wird als das SF abgeben kann. Folglich ist das horizontale Fliegen (ohne Akku) nicht möglich.

Die grüne Fläche unter dem Graph von $B(t)$ entspricht der überschüssigen Energie. Sie kann in einem Akku zwischengespeichert und zu einem späteren Zeitpunkt zur Verlängerung der Flugzeit verwendet werden.

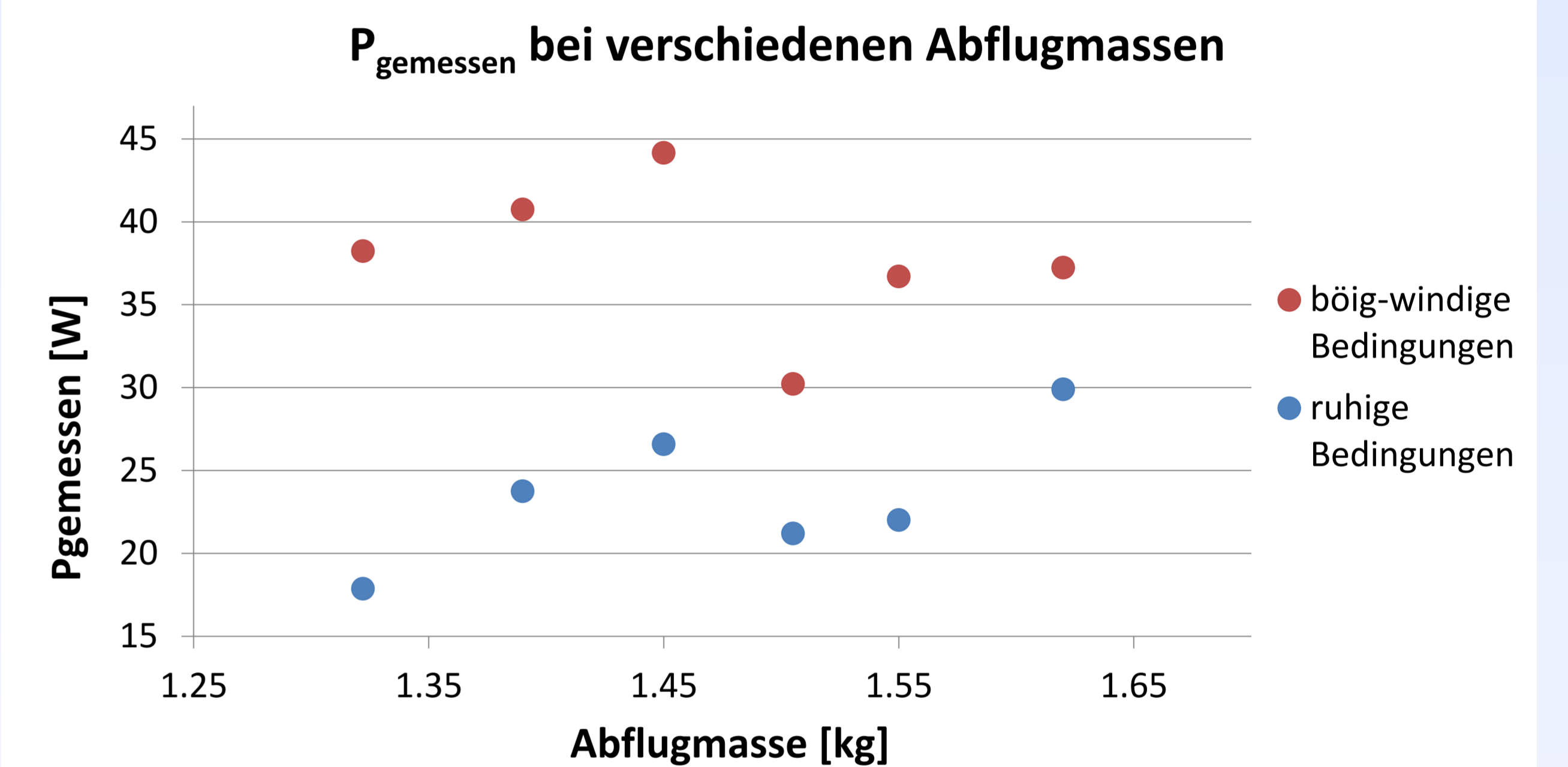
Die rote Fläche über dem Graph von $B(t)$ entspricht der Energie, die für den Horizontalflug fehlt. Um trotzdem Fliegen zu können, muss diese Energiemenge aus einem Akku bezogen werden.

Berechnung der Flugzeit

Messung 1: Die benötigte Flugleistung

Das Flugzeug wird bei verschiedenen Abflugmassen während jeweils acht Minuten mit Minimalleistung im Horizontalflug geflogen. Der Akku wird nach dem Flug wieder voll aufgeladen, wobei die nachgeladene Ladungsmenge gemessen wird. Mit der mittleren Spannung über dem Akku während des Fluges wird die durchschnittliche Flugleistung berechnet:

$$P_{gemessen} = \frac{1}{\eta_{Akku} \eta_{Regler} \eta_{Motor} \eta_{Luftschaube}} \cdot P_{horizontal}$$



Messung 2: Die restlichen Parameter

In einem zweiten Versuch werden die verbleibenden Größen gemessen: Der Einfluss des Einfallswinkels und die Wirkungsgrade der Solarzellen, des MPPT und des Akkus. Der leere Akku wird im Solarflugzeug an der Sonne aufgeladen. Während dem Aufladen wird das Solarflugzeug regelmässig im Kreis gedreht. Damit wird die Ausrichtung des Solarmoduls auf einer Kreisflugbahn nachgeahmt. Der aufgeladene Akku wird danach entladen und die abgegebene Energiemenge gemessen. Die Grösse h ist das Verhältnis der anfangs eingestrahelten zur schlussendlich abgegebenen Energie.

$$h = \frac{E_{ein}}{E_{aus}} = \frac{\bar{E} \cdot A_{SZ} \cdot \Delta t_{laden}}{P_{aus} \cdot \Delta t_{entladen}} = \frac{1}{n_{\beta} \eta_{SZ} \eta_{MPPT} \eta_{Akku}} = 0.081 \pm 0.013$$

Resultate

Mit einem Schema und einer Geogebra-Datei wurden folgende Resultate berechnet:

Datum	Wetter	E_{max} [$\frac{W}{m^2}$]	Startzeitpunkt	Landezeitpunkt	Flugzeit
22.8.2015	wolkenlos	800	17:00	19:32	2h 32min
22.8.2015	wolkenlos	800	07:33	19:32	11h 59min
21.6.	wolkenlos	1015	05:33	21:30	15h 57min