

# Abschlussbericht zum 31.07.2015

Zahlungsempfänger:  
LASERPLUS AG  
Hauptstraße 279 A  
55743 Idar-Oberstein

Förderkennzeichen: 2814700511

Vorhabenbezeichnung:  
Entwicklung eines unbemannten Hubschraubers als umweltschonendes und abdriftminderndes Rebschutz-Applikationsgerät für den Steillagenweinbau

Laufzeit des Vorhabens:  
01.08.2013 bis 31.07.2015

Berichtszeitraum: 01.01.2015 - 31.07.2015

## 1 Kurzdarstellung

### 1.1: Aufgabenstellung

Gesamtziel des Projektes war es, einen autonom agierenden Kleinhubschrauber als Applikationsgerät im Weinbau am Steilhang zu entwickeln. Dabei werden sowohl die betriebs- und arbeitswirtschaftlichen Aspekte seines Einsatzes als auch die Applikationsqualität und die damit verbundene biologische Wirksamkeit der Pflanzenschutzmaßnahmen evaluiert. Die technologische Herausforderung liegt in der Erstellung einer Systemeinheit, bestehend aus dem Fluggerät und dessen Steuerung, und einer Bodenstation, die dem Anwender die Steuerung und den Einsatz des Fluggerätes erlaubt.

Ziel des Projektpartners LASERPLUS AG (LP) ist es, die Steuerung und Sensorik derart weit zu entwickeln, dass damit ein Funktionsmuster (UAV) erstellt und getestet werden kann. Die besonderen Anforderungen im Anwendungsumfeld Steillage erfordern eine besondere Betrachtung der Funktionen. Kernpunkte der Arbeiten bestehen aus dem Aufbau der Flugsteuerung, die dem System eine genaue Positionierung über den Pflanzen (Position, Höhe, Geschwindigkeit) erlaubt. Dabei ist es wichtig, dass die Plattform konstante Applikationsparameter einhalten kann. Wesentliche Bestandteile der Flugsteuerungen (Navigation, Lageregelung) sollten aus dem Erfahrungsschatz des RMC übernommen werden, so dass die Konzentration auf der Anpassung auf die besonderen Umgebungsbedingungen (Steillage) und die Verbindung zu einem Gesamtsystem im Vordergrund stehen. Eine hohe Anwendungssicherheit, eine gute Haltbarkeit des Gerätes und eine wirtschaftliche und umweltfreundliche Arbeitsweise stehen im Vordergrund der Entwicklungen.

# Abschlussbericht zum 31.07.2015

## 1.2: Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Um den Anforderungen im Steillagenweinbau gerecht zu werden, bestand die Notwendigkeit, die folgenden Baukomponenten des unbemannten Hubschraubers erheblich zu überarbeiten und weiter zu entwickeln: Mechanische Konstruktion - Antriebstechnik - Steuerungstechnik – Sprühtechnik.

Luftfahrtrechtliche Bestimmungen schränken den praxisorientierten Betrieb solcher Systeme stark ein, da eine Aufstiegserlaubnis notwendig ist, die nur im Bereich eines Flugplatzes oder in einem Flugbeschränkungsgebietes erteilt wird (LuftVO § 15a). Daher war es notwendig, die gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Einsatzfähigkeit solcher Systeme zu schaffen.

## 1.3.1: Planung des Vorhabens

Die Arbeitspakete der LASERPLUS AG (LP) wurden wie folgt aufgeteilt.

- LP1.1: Grundlagenuntersuchungen zu Sensorik und Navigation. Erfahrungsaustausch mit dem Projektpartner RMC
- LP 1.2: Aufbau Teststand-Elektronik. Inbetriebnahme
- LP 1.3: Schrittweise Aufbau der Flugsteuerung und Ortssteuerung auf Basis der Erfahrungen des RMC und Auswertung der Ergebnisse
- LP 1.4: Entwurf und Aufbau einer Bodenstation zur Bedienung des Systems und zur Eingabe der Bearbeitungsaufgaben
- LP 1.5: Risikountersuchung des Gesamtsystems in Bezug auf Anwendungssicherheit, Flugkontrolle und Luftraumsicherheit. Umsetzung der Erkenntnisse und Test.
- LP 1.6: Aufbau von Prototypen für Feldtest und Langzeitversuche. Weiterentwicklung zum Komplettsystem.
- LP 1.7: Auswertung der Erkenntnisse und Optimierung.
- LP 1.8: Darstellung der Ergebnisse und Veröffentlichung. Markteinführung.
- LP 1.9: Prüfstandläufe und Testflüge

# Abschlussbericht zum 31.07.2015

|     |   | Jahr 2012 |    |    |    |    | Jahr 2013 |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     | Jahr 2014 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Jahr 2015 |     |     |     |     |     |     |  |
|-----|---|-----------|----|----|----|----|-----------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|     |   | 8         | 9  | 10 | 11 | 12 | 1         | 2  | 3  | 4  | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 1         | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 1         | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |  |
| Ap  | <b>Arbeitspakete LASERPLUS AG</b>   | M1        | M2 | M3 | M4 | M5 | M6        | M7 | M8 | M9 | M10 | M11 | M12 | M13 | M14 | M15 | M16 | M17 | M18       | M19 | M20 | M21 | M22 | M23 | M24 | M25 | M26 | M27 | M28 | M29 | M30       | M31 | M32 | M33 | M34 | M35 | M36 |  |
| Ap1 | Grundlagenuntersuchungen zu Sensorik und Navigation. Erfahrungsaustausch mit dem Projektpartner DLR-Oberpf. .                                       |           |    |    |    |    |           |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |  |
| Ap2 | Aufbau Teststand-Elektronik. Inbetriebnahme   |           |    |    |    |    |           |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |  |
| Ap3 | Schrittweise Aufbau der Flugsteuerung und Ortssteuerung und Auswertung der Ergebnisse   |           |    |    |    |    |           |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |  |
| Ap4 | Entwurf und Aufbau einer Bodenstation zur Bedienung des Systems und zu Eingabe der Bearbeitungsaufgaben.  |           |    |    |    |    |           |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |  |
| Ap5 | Risikountersuchung des Gesamtsystems in Bezug auf Anwendungssicherheit, Flugkontrolle und Lufttraumsicherheit. Umsetzung der Erkenntnisse und Test. |           |    |    |    |    |           |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |  |
| Ap6 | Aufbau von Prototypen für Feldtest und Langzeitversuche. Weiterentwicklung zum Komplettsystem.  |           |    |    |    |    |           |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |  |
| Ap7 | Auswertung der Erkenntnisse und Optimierung.  |           |    |    |    |    |           |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |  |
| Ap8 | Darstellung der Ergebnisse und Veröffentlichung. Markteinführung.   |           |    |    |    |    |           |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |  |
| Ap9 | Prüfstandläufe und Testflüge  |           |    |    |    |    |           |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |           |     |     |     |     |     |     |  |

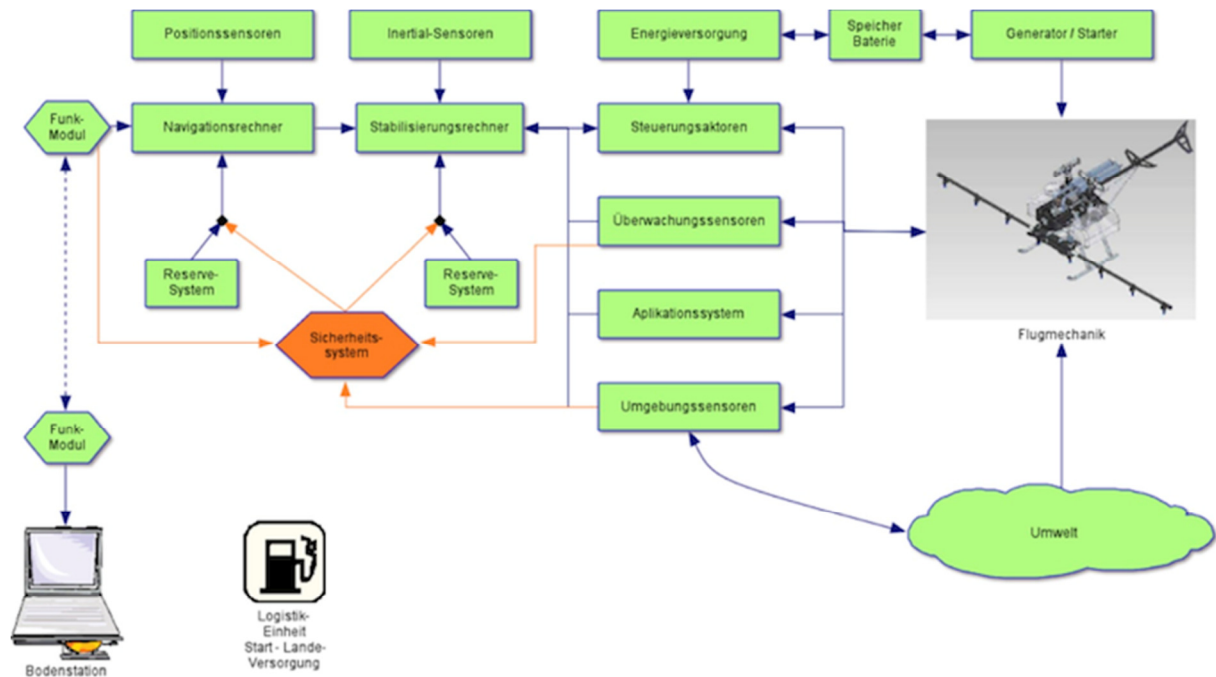
## 1.3.2: Ablauf des Vorhabens

Zwischen den Projektpartnern wurde ein Kooperationsverbundvertrag geschlossen, der detailliert die Aufgaben und Ziele jedes Projektpartners innerhalb des Projektes definiert. Das DLR Mosel übernimmt die Aufgabe des Projektkoordinators.

Die LASERPLUS AG hatte zur Aufgabe, das Gesamtsystem zu entwerfen und als Prototyp umzusetzen. Kernpunkte waren die Systemelektronik und Steuerung der Flugbewegungen sowie die Bodenstation zur Bedienung und Überwachung des Systems. Ebenso standen Auswahl und Einbindung von Sensorik zur Durchführung autonomer Flüge in schwierigem Gelände im Vordergrund. Zum Test des realen Gerätes wurde mit dem Aufbau einer Prüfstandelektronik bei Testläufen unterstützt.

Bei dem Aufbau der Flugsteuerung sollte auf die Erfahrungen des RMC zurückgegriffen werden. Während des Projektes wurde jedoch festgestellt, dass keine brauchbare Unterstützung vom RMC erfolgte. Deshalb mussten wesentliche Arbeitsschwerpunkte geändert werden. Dies führte zu erheblichen Umschichtungen der vorhandenen Arbeitskapazitäten, die den Projektverlauf wesentlich beeinflussten.

# Abschlussbericht zum 31.07.2015



Systemstruktur des unbemannten Fluggerätes

## Detailbeschreibung:

LP1.1: Grundlagenuntersuchungen zu Sensorik und Navigation. Erfahrungsaustausch mit dem Projektpartner RMC.

In der ersten Projektphase findet ein intensiver Erfahrungsaustausch mit dem DLR-Oberpfaffenhofen statt. In gemeinsamen Gesprächen wird herausgefunden, welche bereits erprobten Steuerungsstrategien auf die in diesem Projekt entstehende Anwendung übertragen werden können. Es wird dabei auch um Software-Algorithmen gehen, die in die neu entstehende Steuerung des Fluggerätes einfließen können. Je mehr aus bestehenden Erfahrungen übernommen werden kann, desto weniger Aufwand entsteht in der Basis-Entwicklung.

Die ersten Gespräche mit RMC machten schnell deutlich, dass die dort eingesetzten Komponenten in einem wesentlich zu hohen Preisgefüge liegen würden. Für die vom RMC angestrebten Ziel mag das sicher der richtige Ansatz gewesen sein. Für das Projekt wären alleine durch den Einsatz von 2 differentiellen GPS-Empfängern Kosten von mindestens 30.000 € entstanden. Da von den meisten Geländen nur schwer genaues Kartenmaterial in 3D-Auflösung besser 0,1 Meter zu erhalten ist, wurde ein anderer Ansatz als der des RMC gewählt.

Das Ziel des Projektes war nicht die Zentimeter-genaue Positionierung im 3D-Raum, sondern die genaue relative Positionierung über dem Weinberg. Somit sollte die



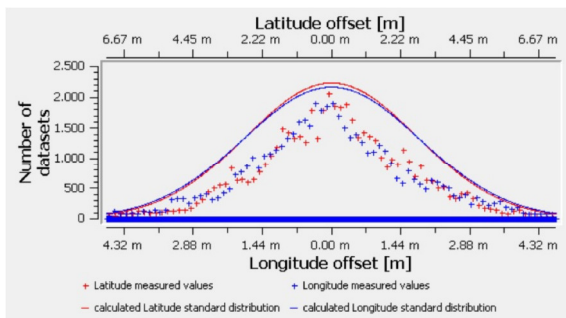
# Abschlussbericht zum 31.07.2015

Flugsteuerung aus einer hinreichend genauen absoluten Positionsregelung und einer genauen zuverlässigen Sensorik zur Boden- und Objekt-Erfassung aufgebaut werden.

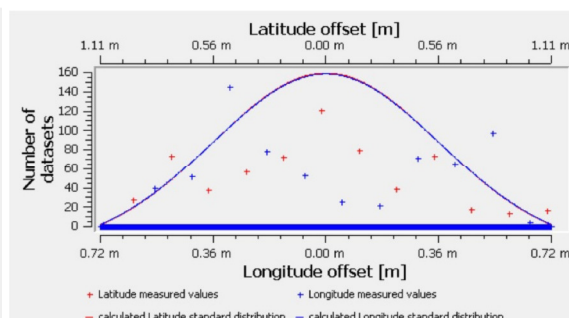
Das Ergebnis der Untersuchung bestätigte die Eignung kostengünstiger GPS-Sensoren für Genauigkeiten besser als 1 Meter über Zeiträume kürzer als 10 Minuten.

Nach einer ausführlichen Untersuchung der GPS-Empfänger-Module auf Genauigkeit wurde festgestellt, dass zur Untersuchungszeit vorhandene GPS-Sensoren eine Positionsgenauigkeit zwischen 2 und 10m besitzen und ohne weitere Verbesserung für das Projekt nicht einsetzbar sind. Untersucht wurden die folgenden GPS-Module: EM406, uBlox LEA6, GTPA010, LS1590R, Venus638.

Alle oben genannten GPS-Module wurden in Betrieb genommen und unter realen Bedingungen in Weinbergen getestet (Spaziergang auf den Weinbergswegen, welche die Weinbergsfläche eingrenzen). Im folgenden Bild ist das Ergebnis der aufgezeichneten GPS Positions-Daten einer dieser Testmessungen dargestellt. Auf der Abbildung ist die Ungenauigkeit der GPS-Module zu erkennen.



GPS-Genauigkeit +/-5Meter über 14 Stunden



+/- 1Meter über 10 Minuten



Abbildung 1: Nichtverbesserte GPS-Daten aus verschiedenen GPS-Modulen

## Abschlussbericht zum 31.07.2015

### Verbesserung der GPS-Genauigkeit

Durch Verwendung einer Kombination aus 3 GPS-Modulen wurde die Genauigkeit der GPS-Module deutlich verbessert. Dazu wurde ein komplexer Algorithmus geschrieben, der unter Berücksichtigung von mehreren Aspekten wie z.B. die Satellitenanzahl und Horizontal Dilution of Precision (HDOP) aus 3 GPS-Signalen eine genauere GPS-Position berechnet. Diese GPS-Position liegt nicht mehr in String-Form vor und kann sehr einfach in der Software weiter verarbeitet werden. Die folgende Abbildung zeigt das erzeugte GPS-Kombinationssignal aus diesem Algorithmus.



Abbildung 2: Verbesserte GPS-Daten durch Kombination aus drei GPS-Modulen

### Verwendung von OpenStreetMap in der Bodenstation

Da GoogleMaps keine freie Lizenz für kommerzielle Anwendungen anbietet und keine Offline-Karte zur Verfügung stellt, wurde im Projekt auf die freie Weltkarte OpenStreetMap zugegriffen. Diese Karte bietet unter anderem auch einen Offline-Modus an.

In der Bodenstation kann auf der Karte ein Bereich ausgewählt werden. Die Koordinaten der einzelnen ausgewählten Punkte werden automatisch zur Weiterverarbeitung an den Hubschrauber gesendet und dort gespeichert. Folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus der Bodenstation für diese Funktion.

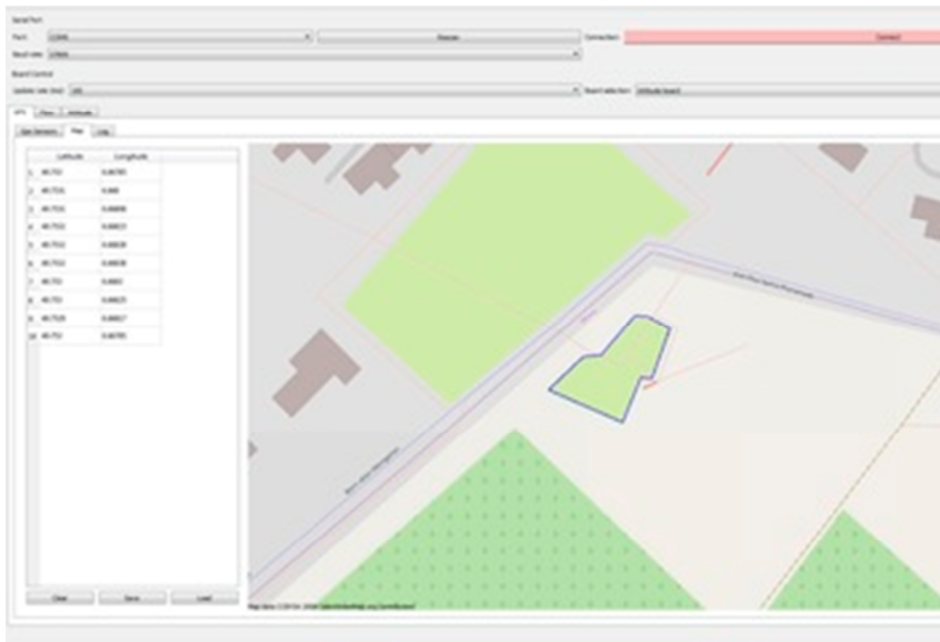
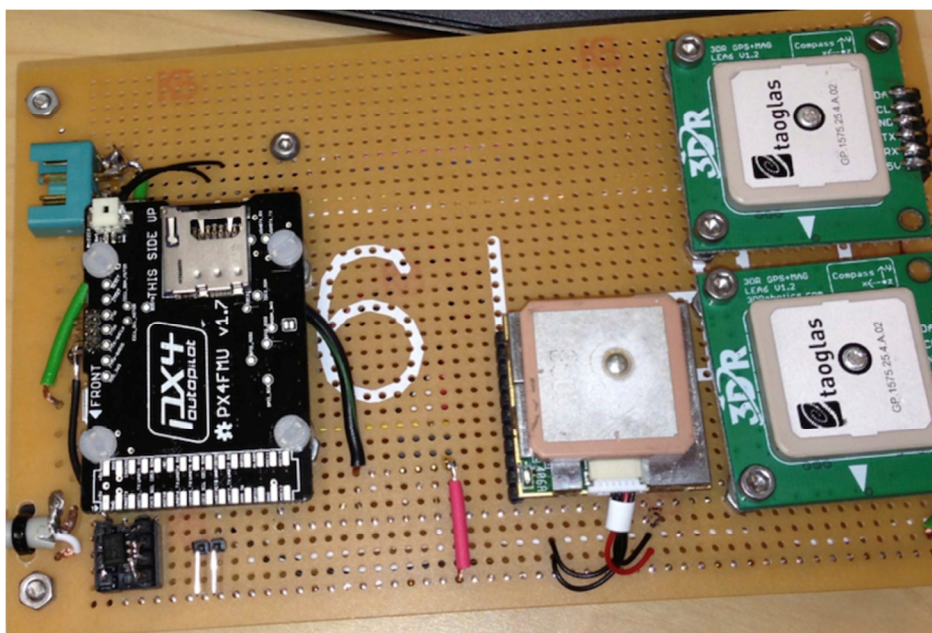


Abbildung 3: Geofencing-Funktion in der Bodenstation

## Map-Projektion

Die vom GPS-Modul und OpenStreetMap zur Verfügung gestellten geographischen Koordinaten (Latitude und Longitude) müssen zur Weiterverarbeitung in die lokalen x- und y-Werte transformiert werden. Dieser Vorgang wird als Kartenprojektion (engl. Map projection) bezeichnet. Dafür wurde die Software um einige Funktionen erweitert. In der Initialisierungsphase wird die erste Koordinate als Startpunkt übernommen. Jeder weitere Punkt wird in einem x- und y-Wert in Bezug auf den Startpunkt berechnet.

Point inclusion im polygon test: Nach einigen Tests hat sich das Verfahren als geeignet erwiesen und es konnte eine Genauigkeit von weniger als 1m erreicht werden.



Leiterplatte mit drei GPS Sensoren und Micro-Controller zur Datenfusion



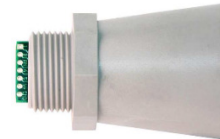
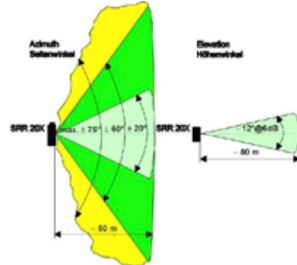
# Abschlussbericht zum 31.07.2015

Untersuchte Sensoren für Höhenregelung und Hinderniserkennung

Folgende Sensoren wurden bei diesem Höhentest verwendet:

- Radarsensor von Typ SSR2-A.  
Reichweite 1..50m

Ultraschallsensor  
MB7001 0,2..5m



- 1 x Drucksensor von Typ MPL3115A2
- 1 x Drucksensor von Typ MS5611

Die genaue Qualifizierung der Sensoren ist auf einem Flugobjekt nicht immer so einfach, da die Störeinflüsse des Fluggerätes (Wind, Neigung, Höhenschwankungen) die eigentlichen Messergebnisse überlagern. Um eine ruhige Messumgebung zu erreichen, wurde eine Hebebühne eingesetzt und die Sensor-Plattform unter dem Tragekorb der Hebebühne befestigt. Damit kann relativ gleichmäßig der Abstand zu Objekten in horizontaler und auch vertikaler Richtung variiert werden.



Höhentest mit einer seitlichen Bewegung über ein Hindernis (Hecke, Baum, Auto und Haus)

## Abschlussbericht zum 31.07.2015

Folgende Höhen wurde getestet: 1m ; 2m; 5m; 10m

Die Ergebnisse zeigen, dass der Radarsensor zwar immer etwas misst, aber eine sinnvolle und sichere Auswertung, die zur einer Höhenregelung verwendet werden kann, kaum möglich ist. Allerdings lassen die Ergebnisse die Hoffnung zu, dass ein Sicherheitssensor damit realisiert werden kann.

Die bisher besten Ergebnisse werden durch eine Fusion mehrerer Sensordaten erreicht, der Kombination des Drucksensors mit dem Ultraschall- und dem Lidar-Sensor. Die richtige Interpretation bedarf allerdings noch eines erheblichen Software-Aufwandes.

### Auswertung der Sensordaten

Nach einer Auswertung der Ergebnisse wurde festgestellt, dass der Radarsensor nicht nur die Reflektion von Boden oder Hindernissen empfängt, sondern auch die Reflektion vieler anderer Objekte, die tatsächlich nicht da sind. Als Beispiel wird hier eine visuelle Darstellung der beiden Radarsensoren im Höhentest über ein Hindernis (Hecke) dargestellt:

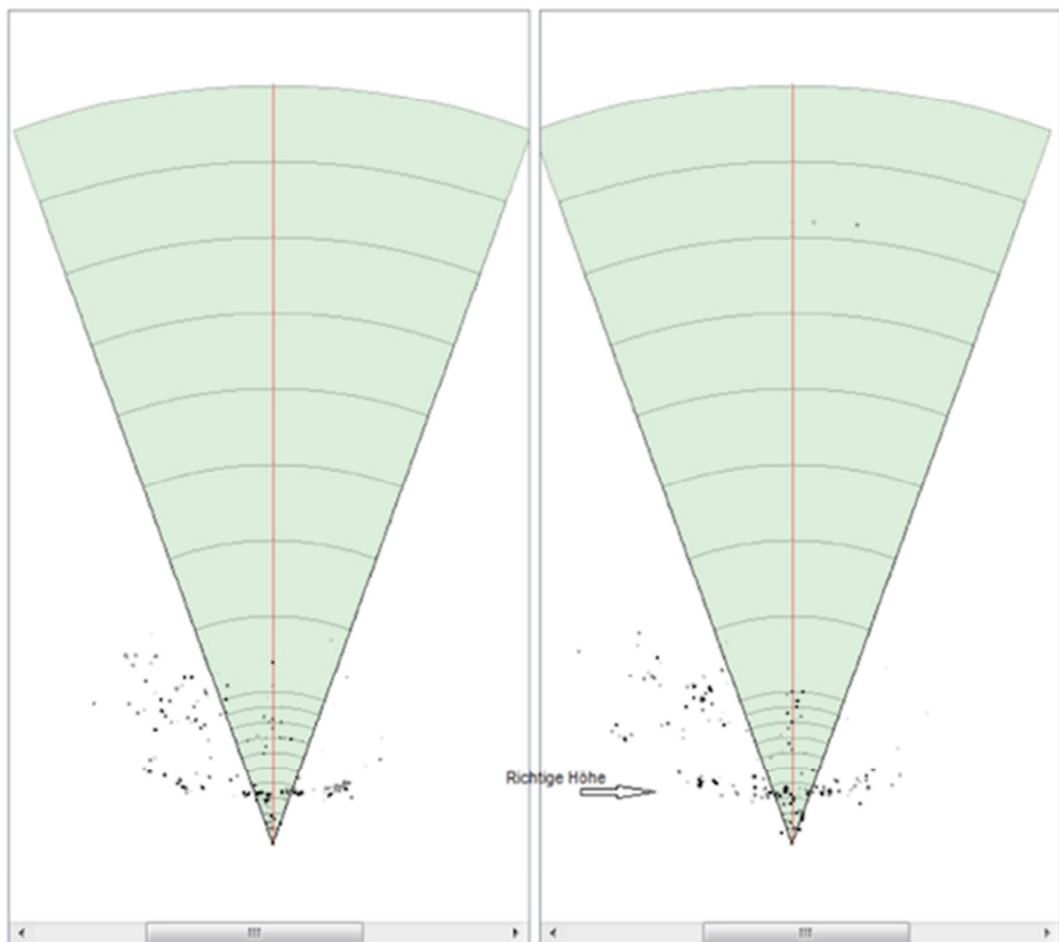


Abbildung 4: Grafische Darstellung der Radar-Sensoren beim Höhentest

## Abschlussbericht zum 31.07.2015

Es ist sehr schwierig, solche Störungen zu filtern und daraus eine einzige Höhe zu berechnen. Daher wird die Verwendung des Radarsensors zur Erkennung der Hindernisse, besonders von trockenem Holz - z.B. Weinreben - fast unmöglich. Die Verwendung des Radarsensors für den Höhenregler ist ebenfalls nicht zu empfehlen, da die Auflösung des Sensors 1 Meter beträgt. Diese Auflösung ist für den Regler sehr ungenau. Bei größeren Höhen dagegen liefert der Radarsensor zuverlässigere Daten aus. In der folgenden Abbildung werden die Sensordaten für eine Höhe von 10 Metern dargestellt.



Abbildung 5: Ultraschallsensor-Test mit Hubschrauber

Als Testgelände wurde ein Weinberg ausgesucht, der sowohl flache als auch steile Ebenen besitzt. Der Test wurde in mehreren Abschnitten durchgeführt, die in folgenden beschrieben werden.

### Messung 1: Höhentest ohne Weinreben

Bei diesem Test ist der Hubschrauber über eine Ebene ohne Weinreben mit einer leichten Steigung von ca. 10% nach oben und zurück geflogen. In diesem Fall hat der Sensor ziemlich stabile Höhen gemessen. An einigen Stellen sind falsche Höhen zu erkennen, die durch Mittelung von mehreren Sensoren sowie Filterung der Daten über die Zeit beseitigt werden könnten.

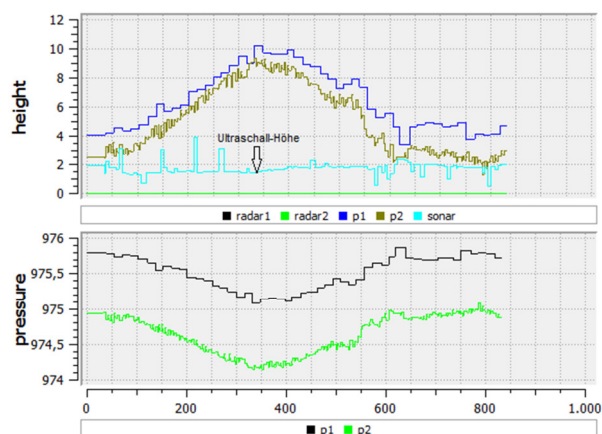


Abbildung 6: Messergebnis der Ultraschallsensoren ohne Weinreben

## Abschlussbericht zum 31.07.2015

Es ist außerdem zu beobachten, dass diese Fehlmessungen am Anfang und am Ende des Fluges öfter auftreten als in der Mitte. Ein Grund dafür könnte sein, dass sich der Hubschrauber am Anfang und Ende nach vorne und hinten neigt. Daher muss in der Berechnung die aktuelle Lage des Hubschraubers (relativ zum Boden) berücksichtigt werden.

### Messung 2: Höhentest über den Weinreben

Bei diesem Test ist der Hubschrauber über eine Ebene mit Weinreben mit einer leichten Steigung von ca. 10% nach oben und zurück geflogen.



Abbildung 7: Höhentest mit Ultraschallsensor über den Rebzeilen

### Das Ergebnis:

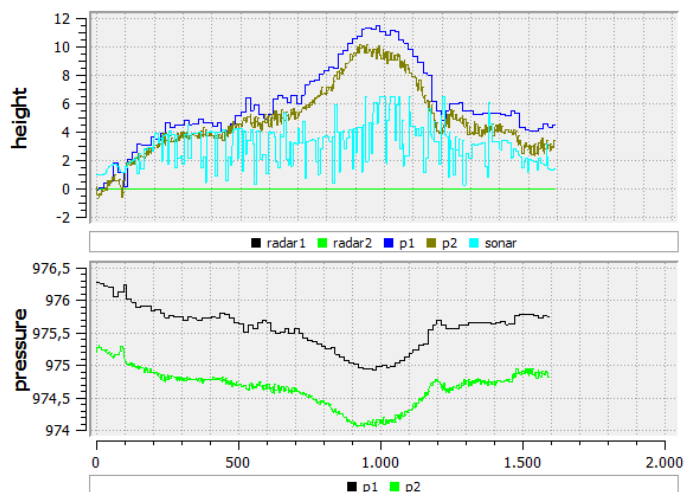


Abbildung 8: Messergebnis der Ultraschallsensoren über den Weinreben

Der Sensor misst in diesem Fall andauernd eine Höhe zum Boden, zu Pfosten und zu Weinreben. Hier könnte z.B. durch die Ermittlung des Maximums der Höhe des Hubschraubers zum Boden und des Minimums der Höhe über den Weinreben berechnet werden.

# Abschlussbericht zum 31.07.2015

## Messung 3: Höhentest auf der Stelle

Bei diesem Test ist der Hubschrauber auf der Stelle ca. 10 Meter hoch und runter gestiegen. Hier sind nur die Messungen unter 5 Meter relevant, da sie sonst außerhalb der Reichweite des Sensors liegen.

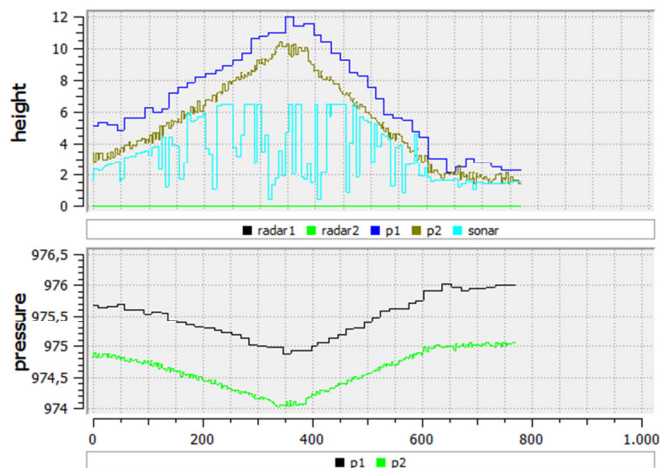


Abbildung 9: Messergebnis der Ultraschallsensoren auf der Stelle

## Messung 4: Höhentest auf der Steillage

Der Hubschrauber ist bei diesem Test über die Weinreben in eine schiefe Ebene mit der Steigung von ca. 80% runter und hoch geflogen.

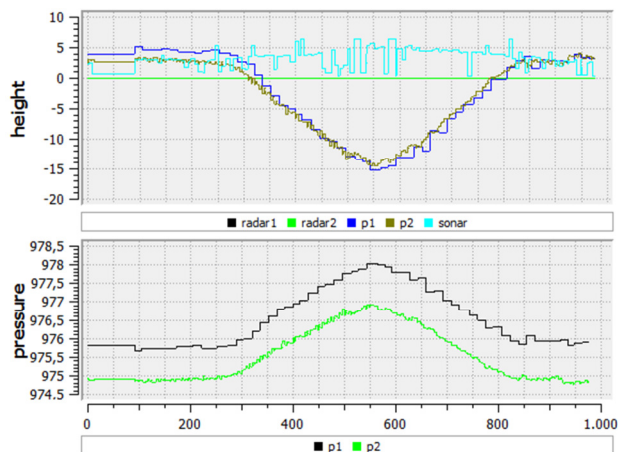


Abbildung 10: Messergebnis der Ultraschallsensoren in der Steillage

## Messung 5: Höhentest mit Spritzvorgang

Bei diesem Test sind die Sensordaten während des Spritzvorgangs aufgenommen. Die linke Kurve ist mit Weinreben, die rechte ohne.



## Abschlussbericht zum 31.07.2015

### Untersuchung des Lidar-Lite Sensors

Zur Entwicklung der Höhenregler musste auf einem Sensor, der die Höhe zum Boden auf Zentimeter genau misst und weniger störanfällig ist, zugegriffen werden. Nach einigen Tests wurde der Lidar-Lite Sensor als geeignet ausgewählt.

Dieser Sensor bietet unter anderem folgenden Vorteile: günstig, leicht, genau, weniger Stromverbrauch und weniger Störanfällig gegen Spritzwasser.



Abbildung 11: Vorbereitung des Lidar-Sensortests mit dem Hubschrauber

Die entworfene Autopilot-Software wurde in über 200 Flügen auf dem Multikopter (Y6) und Hubschrauber (T-Rex 450) getestet.

## Abschlussbericht zum 31.07.2015

In der folgenden Tabelle wird eine Zusammenfassung sowie Fazit der Höhentests mit Hebebühne dargestellt:

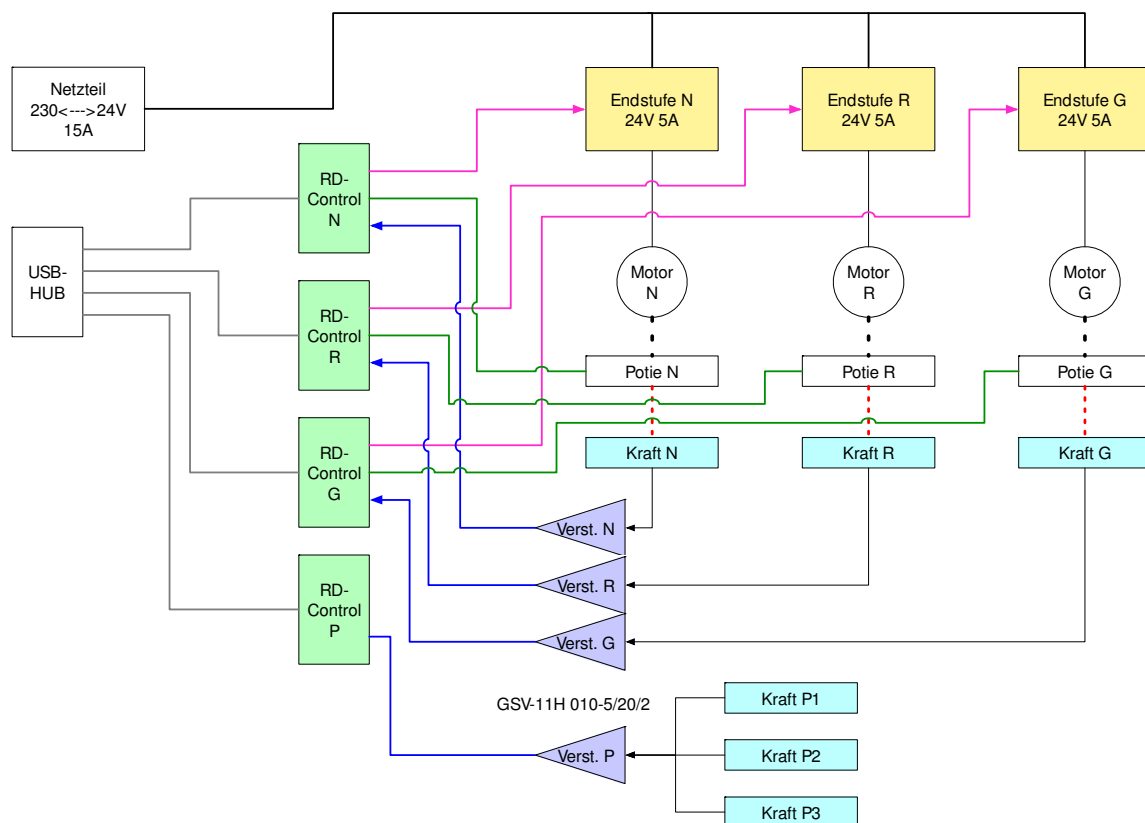
| Zusammenfassung der Sensortests  |  |  |
|----------------------------------|--|--|
| Sensor                           | Vor- und Nachteile   | Fazit  |
| Radar                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>+ hohe Reichweite (1...50m)</li> <li>+ hohe Genauigkeit (20cm)</li> <li>+ lichtunabhängig</li> <li>+ hohe Updaterate (30Hz)</li> <li>+ Messung der relativen Höhe zum Boden</li> <li>- viele Störsignale werden detektiert</li> <li>- Holz und Blätter werden nicht gut detektiert</li> <li>- geringe Auflösung von 1m</li> <li>- Wegen Störungen ist eine Filterung notwendig</li> </ul>                                   | <p>Für die Höhenmessung über dem Boden geeignet (z.B. Einhaltung der maximalen Höhe).</p> <p>Für Hindernis-Erkennung z.B. Weinreben oder Bäume nicht geeignet.</p> <p>Für automatische Landung (nur erste Phase) geeignet.</p> <p>Zur Erfassung der Schiefen Ebene (Steillage) geeignet.</p> |
| Ultraschall                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>+ hohe Genauigkeit (0,2m)</li> <li>+ lichtunabhängig</li> <li>+ Höhenmessung ab 0.1m möglich</li> <li>+ Messung der relativen Höhe zum Boden</li> <li>+ geringe Updaterate (10Hz)</li> <li>- geringe Reichweite (0,2...10m)</li> <li>- Störung durch äußere Ultraschall-Signale möglich</li> </ul>  | <p>Für Feinpositionierung bis zu 5m über dem Grund gut geeignet.</p> <p>Für automatische Landung geeignet.</p> <p>Zur Findung der Rebzeilen nicht geeignet.</p>  |
| Laser Sick LMS<br><br>Lidar-Lite | <ul style="list-style-type: none"> <li>+ hohe Genauigkeit (5cm)</li> <li>+ große Reichweite (30m)</li> <li>+ Messung der relativen Höhe zum Boden</li> <li>- lichtabhängig</li> <li>- hohe Energieverbrauch</li> <li>- hohes Gewicht</li> <li>+ hohe Genauigkeit (5cm)</li> <li>+ mittlere Reichweite (20m)</li> <li>+ Messung der relativen Höhe zum Boden</li> <li>+ niedriger Energieverbrauch</li> <li>+ niedriges Gewicht</li> <li>- lichtabhängig</li> </ul> | <p>Für Hinderniserkennung in bestimmten Winkel z.B. vorn geeignet.</p> <p>Zur Findung der Rebzeilen geeignet.</p> <p>Für Hinderniserkennung in bestimmten Winkel z.B. nach unten geeignet.</p> <p>Zur Findung der Rebzeilen geeignet.</p>  |
| Druck                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>+ hohe Genauigkeit (10cm)</li> <li>+ unbegrenzte Reichweite</li> <li>+ hohe Updaterate (20Hz)</li> <li>+ lichtunabhängig</li> <li>- wetter- und windabhängig (muss geschützt werden)</li> <li>- keine Messung der absoluten Höhe</li> </ul>   | <p>Für Geschwindigkeitsregler (schnelle Bewegung in der z-Achse) geeignet.</p>   |
| Beschleunigung                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>+ hohe Genauigkeit</li> <li>+ sehr hohe Updaterate (1000Hz)</li> <li>- Wegen Vibrationen ist eine Filterung notwendig</li> </ul>  | <p>Für Geschwindigkeitsregler (in x-, y-, und z-Achse) geeignet .</p>  |
| GPS                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>+ unbegrenzte Reichweite</li> <li>+ lichtunabhängig</li> <li>- geringe Genauigkeit (ab 2,5m)</li> <li>- keine Messung der absoluten Höhe</li> <li>- geringe Updaterate (5Hz)</li> <li>- Störungen durch Abschaltungen und Sonnenstürme möglich</li> </ul>   | <p>Für Grobpositionierung geeignet (z.B. Geofencing, Wegpunkte abfliegen).</p>   |

# Abschlussbericht zum 31.07.2015

## LP 1.2:Aufbau Teststand-Elektronik. Inbetriebnahme

Um eine Erprobung der Flug-Plattform in Richtung Stabilität, Standzeit und Wartungsarmut durchzuführen, soll ein Teststand aufgebaut werden. Dazu wird von LASERPLUS die erforderliche Steuerung (CNC) bereitgestellt und programmiert. Der Teststand soll in Form eines HexaPot erstellt werden, der alle 6 Freiheitsgrade als Bewegungsachsen erlaubt. Kraftsensoren dienen zur Überwachung der Kräfte, die bei aktivem Betrieb des Hubschraubers (Motor unter Last) eingeleitet werden. So können alle Funktionen des Fluggerätes sowie äußere Einflüsse simuliert werden. Dies wird wesentliche Impulse zur Optimierung von Aerodynamik und Stabilität beitragen.

Der Aufbau eines dynamischen Hexa-Pod-Systems wurde aus Kosten- und Zeitgründen verworfen. Die Idee, externe Lasten auf die Flugplattform zu leiten und Reaktionen daraus zu erkennen, war prinzipiell zu früh für den Stand des Projektes.



Systemstruktur Testsstand

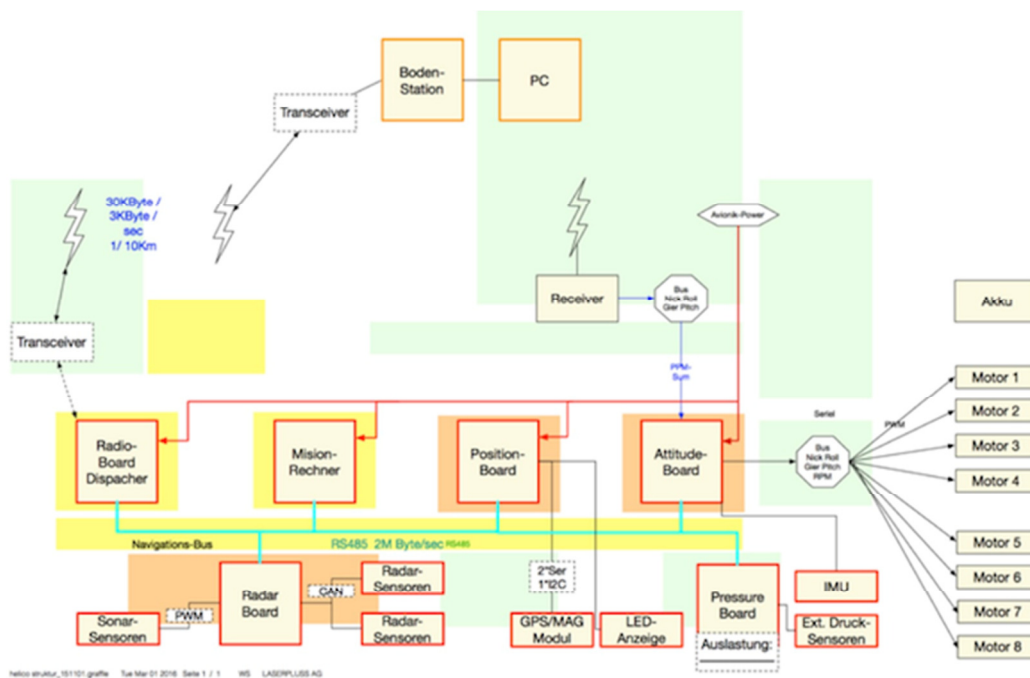
An einem vorgefertigten Teststand wurden Kraft-Sensoren abgebracht, die zur Messung der Initialkräfte des aktiv laufenden Fluggerätes eingesetzt wurden.

# Abschlussbericht zum 31.07.2015

## LP 1.3: Schrittweise Aufbau der Flugsteuerung und Ortssteuerung auf Basis der Erfahrungen des RMC und Auswertung der Ergebnisse

Da es während des gesamten Projektes keine aktive Unterstützung vom RMC gab, musste eine eigene Flugsteuerung aufgebaut werden. Wichtig war der Einsatz eines „offenen“ Systems. Um die Einbindung eigener Sensoren in die Flugsteuerung zu ermöglichen, musste in vorhandene Software eingegriffen werden können.

Trotzdem wurden wesentliche Komponenten selbst entwickelt und an einem einfachen Hexakopter getestet.



Die Hardware des Systems wurde in modularer Form, die aus mehreren Elektronik-Boards besteht, aufgebaut. Durch die Verwendung eines modularen Aufbaus sind Tests und Untersuchung der einzelnen Module einfacher. Außerdem kann im Notfall ein Board die Aufgabe eines ausgefallenen Boards übernehmen.

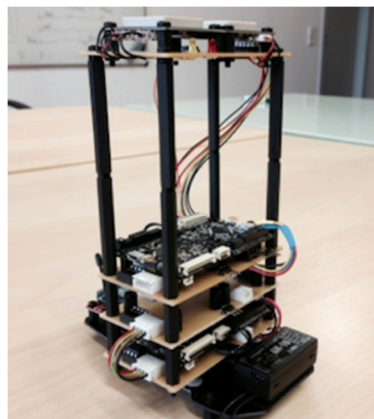


Abbildung 12: Modularer Aufbau der Hardware

# Abschlussbericht zum 31.07.2015

Die einzelnen Module sind über einem RS485-Bus-System miteinander verbunden. Die Daten werden außerdem über ein eigens entwickeltes sicheres HDLC-Protokoll kodiert und zu den anderen Boards sowie der Bodenstation übertragen.

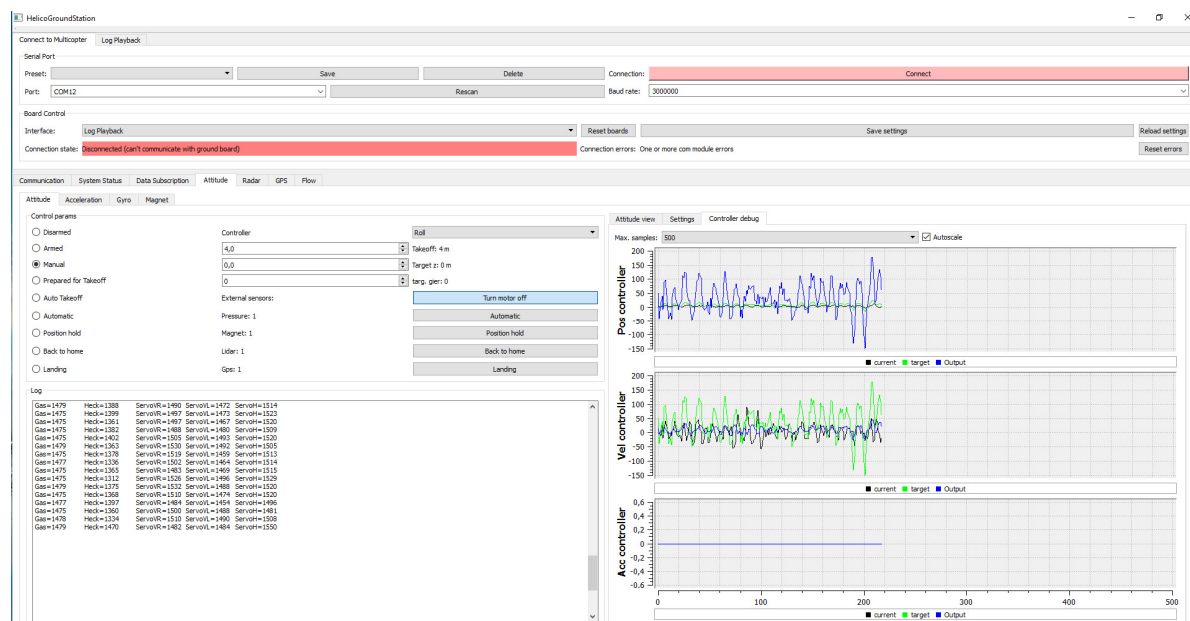
Der Ausbau aller Rechner-Boards ist gleich. Durch die Vernetzung entsteht ein modular wachsendes System. Die Komponenten sind austauschbar und können auch Aufgaben anderer Bausteine übernehmen. Es kann ein redundantes System entstehen.

In der Bodenstation werden die gleichen Komponenten verwendet. Lediglich zur Anzeige der Daten wird ein handelsüblicher tragbarer Computer eingesetzt.

Der modulare Ausbau ist die Basis für eine mögliche spätere Luftfahrt-Zulassung. Getrennte Komponenten sind besser testbar, und die Möglichkeit von Fehlfunktionen ist leichter nachweisbar. Redundante Systeme sind so realisierbar. Sicherheitssysteme können implementiert werden.

LP 1.4: Entwurf und Aufbau einer Bodenstation zur Bedienung des Systems und zu Eingabe der Bearbeitungsaufgaben.

Um die Reaktionen und Zustände des Fluggerätes überwachen zu können, wurde eine bidirektionale Funkverbindung mit hoher Datenrate aufgebaut. Ein eigens entwickeltes Datenprotokoll erlaubt den Zugriff und die grafische Darstellung der Zustände im Fluggerät. Durch Eingriff auf Parameter während des Betriebs wird eine schnelle Anpassung möglich. Diese Arbeiten bilden die wichtigste Basis zum Aufbau eines Flugsystems.



Eine Ansicht der Überwachung der Flugzustände (hier: Reaktion des Lagereglers über die Zeit) an der Bodenstation

## Abschlussbericht zum 31.07.2015

LP 1.5: Risikountersuchung des Gesamtsystems in Bezug auf Anwendungssicherheit, Flugkontrolle und Luftraumsicherheit. Umsetzung der Erkenntnisse und Test.

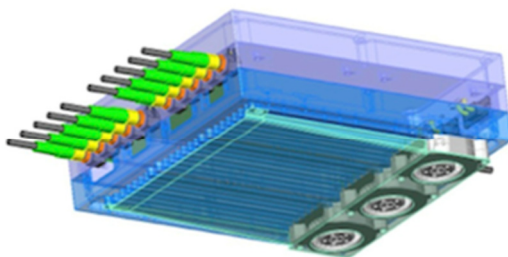
Bei dem Betrieb des realen Fluggerätes (auch auf dem Prüfstand) (wurde schnell klar, dass es sich um eine mit äußerster Sorgfalt zu betreibende Maschine handelt. Die Entscheidung, die Steuerung boden- und objektgeführt auszulegen, trägt einen wesentlichen Teil zu Absicherung des Luftraumes bei. Wenn eine Flughöhensteuerung sich an der Entfernung zum Boden orientiert und diese Funktion sicher implementiert werden kann, so ist ein wesentlicher Teil der Luftraum-Sicherheitsanforderungen erfüllt: Das Gerät kann nicht höher über Grund fliegen, als die Sensorik zulässt. Während des Betriebs, speziell bei Start und Landung, muss eine Sicherung der Start- und Landeumgebung durch einen Automatismus erfolgen. Dazu wurden Sensorentwicklungen durchgeführt, die Objekte im Rotorkreis detektieren sollen.

LP 1.6: Aufbau von Prototypen für Feldtest und Langzeitversuche. Weiterentwicklung zum Komplettsystem.

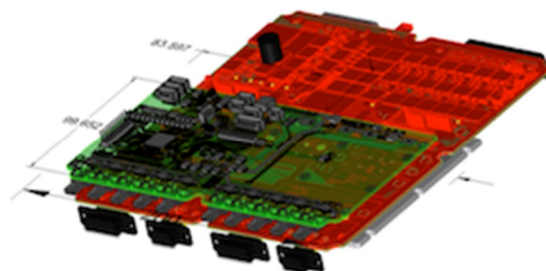
Einige Komponenten der Elektronik des Fluggerätes wurden in Langzeit-Versuchen (teilweise auf dem Prüfstand und teilweise bei Projektpartnern) eingesetzt. Der Einsatz zeigte die Notwendigkeit von Langzeitversuchen, denn einige Komponenten hielten diesen nicht stand.

LP 1.7: Auswertung der Erkenntnisse und Optimierung.

In den von LASERPLUS bearbeiteten Bereichen: Leistungselektronik, Servoaktoren, Flugsteuerung Lageregelung, Umgebungssensoren, Bodenstation, Prüfstand, wurden stetig Erfahrungen gesammelt und Optimierungen bzw. Verbesserungen herbeigeführt. Es wurde schnell klar, dass die Praxis besonders bei komplexen Systemen von der Theorie sehr schnell abweicht.

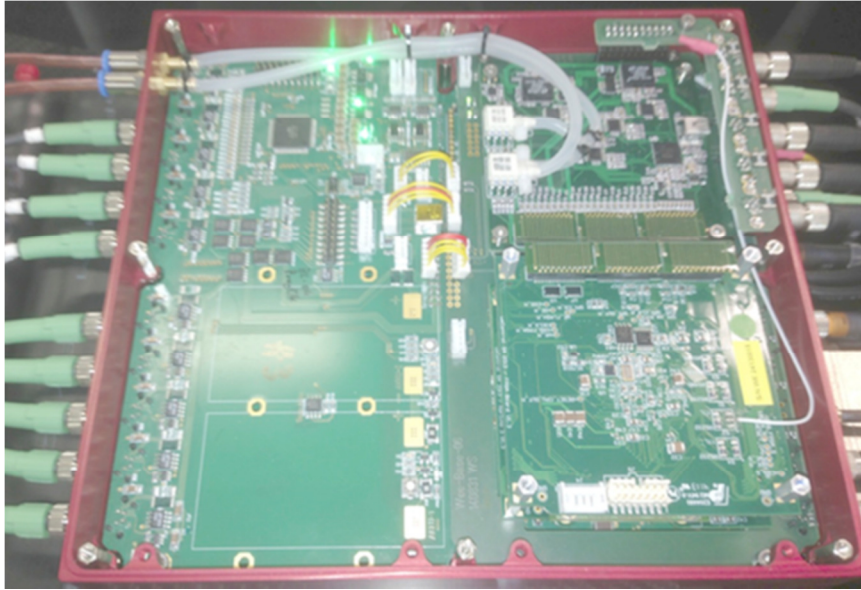


Gehäuse der Flugelektronik mit aktiver Kühlung



3D-CAD-Ansicht der Leiterplatte "Powercontrol" und "Servomischer" der Boardelektronik





Elektronik-„Box“ im hermetisch geschützten AL-Gehäuse mit Energieversorgung, Mischer und Autopilot-Integration

LP 1.8: Darstellung der Ergebnisse und Veröffentlichung. Markteinführung.

Bisher kam es noch nicht zu einer Markteinführung der Flugsteuerung. Teilkomponenten werden jedoch bereits von Projektpartnern kommerziell eingesetzt.



Flugplattform mit Avionik-Einheit (rot unter dem Fluggerät).  
Generator-Modul, Akku-Ladeinheit, geregelte Spannungsversorgung für Aktoren, Autopilot, Payload. Mischer Elektronik und Autopilot-Integration.

# Abschlussbericht zum 31.07.2015

## LP 1.9: Prüfstandläufe und Testflüge

Die Prüfstandläufe wurden bis zur Sicherung der Erkenntnisse der Flugmechanik durchgeführt. Da klar wurde, dass die vorhandene Flugmechanik erhebliche Mängel und Sicherheitsrisiken hatte, wurden die Tests nach ausreichender Zeit abgebrochen.



Flugplattform auf Prüfstand kurz vor Beginn eines Testlaufs.  
Messrechner zur Auswertung der Kräfte am Prüfstand.  
Doppelter Schutzzaun zur Sicherheit der Betreiber.

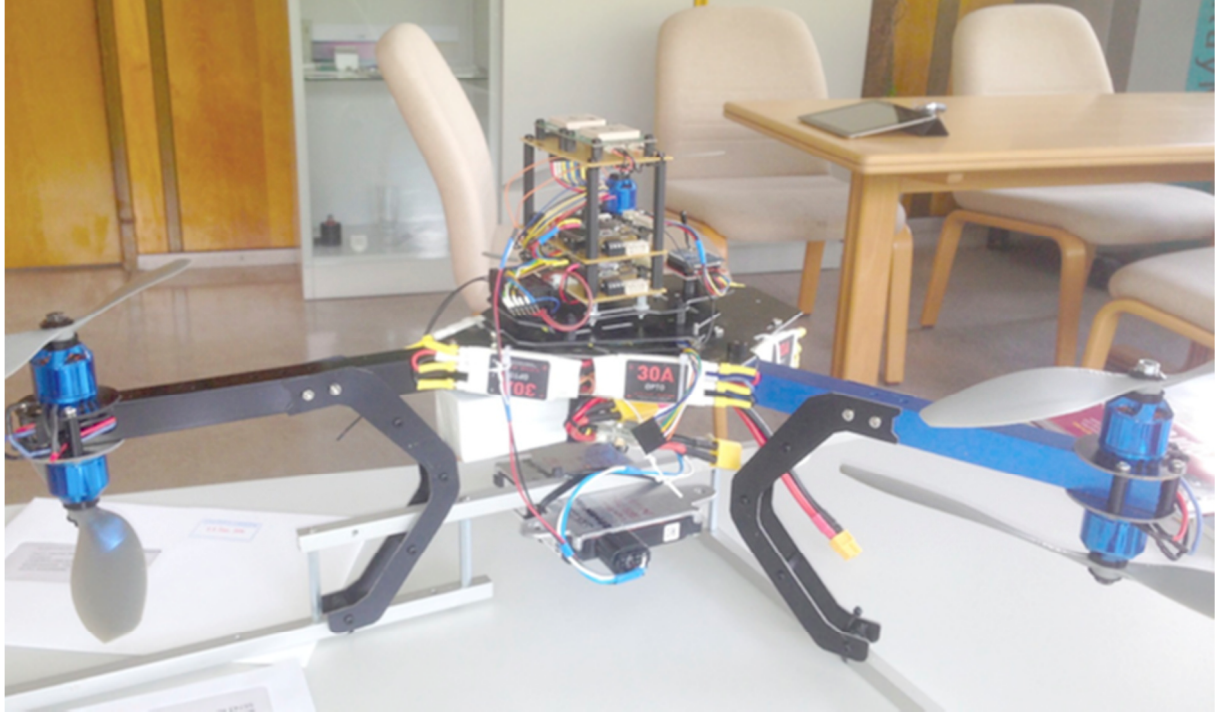


Aktiver Testlauf



## Abschlussbericht zum 31.07.2015

Testflüge mit der Stromversorgung, Flugsteuerung und unterschiedlichen Sensorik wurden mannigfaltig durchgeführt. Die Ergebnisse wurden stetig zur Optimierung und Weiterentwicklung verwendet. Mit einer vorhandenen teil-manuell gesteuerten Flugplattform wurden Ausbringungen auf einer Wiese vorgenommen und damit Belastungstests im Dauerbetrieb durchgeführt.



Hexakopter mit eigener Flugsteuerung und Boden-Radar-Sensor.



Hubschrauber mit Sprüheinrichtung im Feld-Versuch

# Abschlussbericht zum 31.07.2015

## III Erfolgskontrolle

### 3.1 Ergebnisse der Arbeitspakete und Abweichungen

LP1.1: Grundlagenuntersuchungen zu Sensorik und Navigation.

Die Erwartungen wurden übertroffen.

Die Erkenntnisse aus Sensorik und Navigationselementen haben die eigenen Erwartungen

deutlich erfüllt. Der Input (Hilfestellung) von Seiten des RMC fiel unerwartet gering aus.

LP 1.2: Aufbau Teststand-Elektronik. Inbetriebnahme

Die mechanische Komponente des Teststandes hat leider versagt, so dass Vereinfachungen erfolgen mussten. Die Ergebnisse haben jedoch sehr gut zu einer Aussage der Haltbarkeit der Flugmechanik beigetragen.

LP 1.3: Schrittweise Aufbau der Flugsteuerung und Ortssteuerung auf Basis der Erfahrungen des RMC und Auswertung der Ergebnisse

Es erfolgte keine Hilfestellung durch den RMC. Die Flugsteuerung wurde von Grund auf selbst aufgebaut. Das führte zu einer wesentlichen Verschiebung des Arbeitsaufwandes. Die erreichten Ergebnisse können aber in Anbetracht der geringen Sach- und Personalmittel als Erfolg betrachtet werden.

LP 1.4: Entwurf und Aufbau einer Bodenstation zur Bedienung des Systems und zur Eingabe der Bearbeitungsaufgaben.

Die geleisteten Arbeiten sind mehr als zufriedenstellend. Mit dem Entwurf und der Umsetzung

einer sichereren Daten-Kommunikation (HDLC) und einer leistungsfähigen Funkstrecke ist die komplette Kontrolle und Überwachung der Flugeinheiten möglich.

LP 1.5: Risikountersuchung des Gesamtsystems in Bezug auf Anwendungssicherheit, Flugkontrolle und Luftraumsicherheit. Umsetzung der Erkenntnisse und Test.

Die Ergebnisse dieses Punktes finden in der Umsetzung der Steuerungskomponenten Berücksichtigung

## Abschlussbericht zum 31.07.2015

LP 1.6: Aufbau von Prototypen für Feldtest und Langzeitversuche. Weiterentwicklung zum Komplettsystem.

Es wurden einige Komponenten zur Serienreife entwickelt und getestet.

LP 1.7: Auswertung der Erkenntnisse und Optimierung.

Die Erkenntnisse laufen im Wesentlichen darauf hinaus, daß das Ziel dieses Projektes etwas überdimensioniert war. Ein leichteres Fluggerät mit geringerem Abfluggewicht und elektrischem Antrieb wird die Umsetzung aus technischer und wirtschaftlicher Sicht deutlich vereinfachen.

LP 1.8: Darstellung der Ergebnisse und Veröffentlichung. Markteinführung.

LP 1.9: Prüfstandläufe und Testflüge

Testflüge wurden in umfangreichen Masse mit Versuchsträgern durchgeführt.

### 3.2 Wissenschaftlich technische Ergebnisse

Die Umsetzung eines Applikationsgerätes auf Basis einer autonomen Fluggerätes kann als möglich bezeichnet werden. Die ökonomischen Gesichtspunkte und die Akzeptanz beim Anwender können geschaffen werden.

Dazu werden die in den Teilbereichen positiven Erfahrungen beitragen. Diese sind:

Kostengünstige GPS-Messtechnik auf Basis intelligenter Auswertung kommerzieller Sensoren

Modularer Steuerungsstruktur aus kleinen Einheiten

Umwelt Sensorik für Höhenhaltung und Hindernis-Erkennung.

### 3.3 Fortschreibung des Verwendungsplans

## Abschlussbericht zum 31.07.2015

Anmeldungen zu Schutzrechten wurden nicht vorgenommen

### 3.3.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Nach den zum Projektende geschaffenen Ergebnissen ist die Markteinführung noch nicht in Sicht. Weder die luftrechtlichen Bedingungen sind geschaffen, noch konnte ein Fluggerät mit ausreichender Performance zum Einsatz im Steillagen-Weinbau geschaffen werden.

Für den Aufbau einer umweltsensitiven autarken Steuerung wurden wesentliche Grundlagen geschaffen. Die daraus gewonnenen Nebenerkenntnisse werden in Teilbereichen bereits kommerziell eingesetzt. Es ist ein grosser Wissenstand zu dem Projekt entstanden. Dadurch scheint es geboten ein Folgeprojekt zu schaffen, das diesen Wissensstand sichert und ausbaut.

Mit einem Fluggerät einer geringeren Gewichtsklasse (<25kg) können die Zulassungshürden genommen werden. Der technische Aufwand ist deutlich geringer als bei Verbrennungsmaschinen getriebenen Fluggeräten der 100kg-Klasse. Ebenso lassen sich Sicherheits-Anforderungen leichter einhalten.

Das Projekt kann nicht als gescheitert gesehen werden, den die Erfahrungen sind wertvoll und eine sehr gute Voraussetzung für ein Fortschreiben der Arbeiten.

# Abschlussbericht zum 31.07.2015

## 3.3.2 Wissenschaftlich-technische Erfolgsaussichten

Die LASERPLUS AG sieht in der bevorstehenden Anwendung einen Beispielmarkt für autonome und selbständig agierende Systeme. Das Projekt wird dazu einen Beitrag leisten. Mit den bisher gemachten Erfahrungen kann eine Erfolg deutlich höher eingeschätzt werden.

Für die LASERPLUS AG ergibt sich aus dem abgelaufenen Projekt kein direkter wirtschaftlicher Erfolg. Zwar wurde Know-how aufgebaut das in anderen Bereichen indirekt zum Einsatz kommt, aber ein direkter Rückfluss der Eigenleistung kann noch nicht verzeichnet werden.

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten nach einer Fortführung der Arbeiten in einem Folgeprojekt steigen deutlich, wenn neben der Steuerungselektronik ganze Flugeinheiten produziert werden. Die Anzahl der Projektpartner sollte so gering als möglich gehalten werden, um Kommunikations-Probleme zu vermeiden.

## 3.4 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Der Erfahrungsaustausch mit dem RMC hat zu keiner Lösung in unserem Falle beigetragen.

3.5 Es sind keine Präsentation seitens der LASERPLUS AG vorgesehen. Die Erkenntnisse der Projektarbeit sind Grundlagenerkenntnisse die nicht öffentlich zur Verfügung gestellt werden sollten.

## 3.6 Einhaltung von Kosten und Zeitplan.

Der Kostenplan wurde eingehalten. Es wurden jedoch weit aus mehr eihgemittel von Seiten der LASERPUSS AG in das Projekt gesteckt, die nicht explizit aufgerechnet worden sind.

# Abschlussbericht zum 31.07.2015

## III. Kurzzusammenfassung

Betrachtung aus Sicht des Projektpartners LASERPLUS AG:

Im Projekt „unbemannter Kleinhubschrauber für Applikationszwecke im Steillagenweinbau“ wurden vom Projektpartner LASERPLUS AG wesentliche Bestandteile der Steuerelektronik des Systems entwickelt. Die Anforderung der Anwendung ist das Überfliegen der Wirtschaftsflächen und das Ausbringen von Applikationsgut in konstanter Höhe mit konstanter Geschwindigkeit. Wegen des limitierten Abfluggewichtes sind die Applikationszyklen kurz und es muss ein regelmäßiges Nachfüllen und Fortsetzen der Applikation erfolgen.

Dazu musste eine eigene Flugsteuerung entworfen werden, die in der Lage ist Geländeeigenschaften in Echtzeit zu erfassen und in der Höhenregelung zu verarbeiten. Entsprechende Sensorik, die unter den rauen Umwelteinflüssen sicher arbeitet war auszuwählen und zu validieren.

Neben der Steuerung ist auch Bedienung und Wartung des Systems zu beachten. Eine Bodenstation erlaubt die ununterbrochene Kontrolle über Status und Flugzustand des Systems erlaubt. Der Betreiber muss zu jedem Zeitpunkt in die Funktion eingreifen können. Hohe Sicherheitsanforderungen und ein einfache Bedienung stehen im Vordergrund,

Das Projekt hat erfolgreich die wesentlichen Anforderungen der Anwendung erkannt und Lösungen erarbeitet. Es wurde die Basis für eine Applikationssystem geschaffen, das dem Winzer nach überschaubarer Schulung übergeben werden könnte. Zu einer Serienreifen Umsetzung sind jedoch noch weitere Anstrengungen erforderlich.

(1506 Zeichen)

#### **IV. Kurzzusammenfassung**

Betrachtung aus Sicht des Projektpartners LASERPLUS AG:

Im Projekt „unbemannter Kleinhubschrauber für Applikationszwecke im Steillagenweinbau“ wurden vom Projektpartner LASERPLUS AG wesentliche Bestandteile der Steuerelektronik des Systems entwickelt.

Die Anforderung der Anwendung ist das Überfliegen der Wirtschaftsflächen und das Ausbringen von Applikationsgut in konstanter Höhe mit konstanter Geschwindigkeit. Wegen des limitierten Abfluggewichtes sind die Applikationszyklen kurz, und es muss ein regelmäßiges Nachfüllen und Fortsetzen der Applikation erfolgen.

Dazu musste eine eigene Flugsteuerung entworfen werden, die in der Lage ist, Geländeeigenschaften in Echtzeit zu erfassen und in der Höhenregelung zu verarbeiten. Entsprechende Sensorik, die unter den rauen Umwelteinflüssen sicher arbeitet, war auszuwählen und zu validieren.

Neben der Steuerung sind auch Bedienung und Wartung des Systems zu beachten. Eine Bodenstation erlaubt die ununterbrochene Kontrolle über Status und Flugzustand des Systems. Der Betreiber muss zu jedem Zeitpunkt in die Funktion eingreifen können. Hohe Sicherheitsanforderungen und eine einfache Bedienung stehen im Vordergrund.

Das Projekt hat erfolgreich die wesentlichen Anforderungen der Anwendung erkannt und Lösungen erarbeitet. Es wurde die Basis für ein Applikationssystem geschaffen, das dem Winzer nach überschaubarer Schulung übergeben werden könnte. Zu einer serienreifen Umsetzung sind jedoch noch weitere Anstrengungen erforderlich.