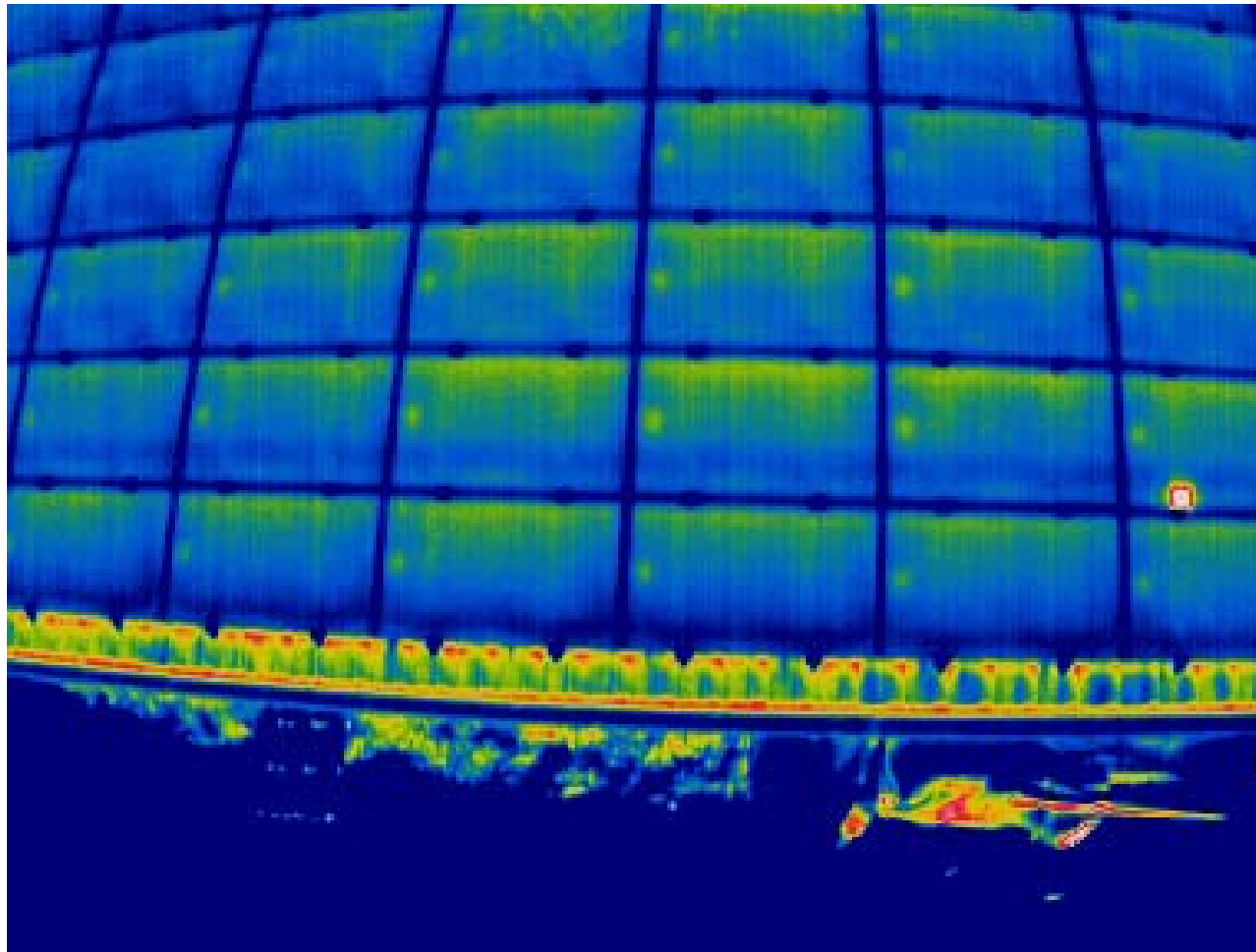




Thermografie mit Flugdrohnen

Grundlagen, Voraussetzungen, Probleme und Lösungsmöglichkeiten



Motivation

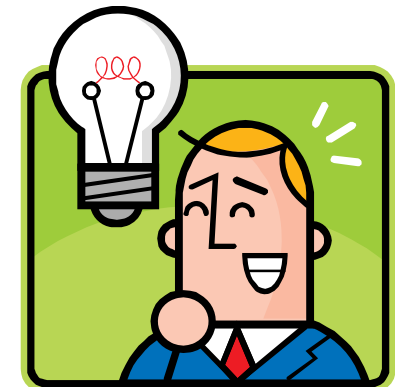
Als Händler für Messgeräte und Wärmebildkameras der Firmen Flir, Fluke, Testo und Optris wird MESSBAR von seinen Kunden für die herstellerneutrale Beratung geschätzt.

Insofern wurde ich von mehreren Kunden gebeten, eine herstellerunabhängige Empfehlung zu einem möglichst optimalen fliegenden Thermografie-System abzugeben.



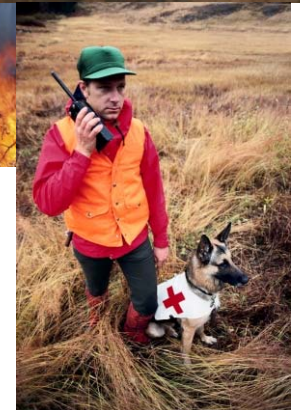
Daraus ist eine für mich sehr interessante Marktanalyse entstanden die letztlich auch zu diesem Vortrag geführt hat.

Ich freue mich daher, wenn dieser Vortrag auch Ihnen hilft, ein wenig Klarheit in den Hype rund um die Flugdrohnen zu bringen.



1. Was kann thermografiert werden

- Photovoltaik-Anlagen
- Industrieanlagen
- Dächer (soweit nicht hinterlüftet)
- Auffinden von (verletzten) Personen
- Brandnachsorge zur Auffindung von Glutnestern
- Populationszählungen im Veterinärbereich
- Erkennen von geologischen Strukturen
- Auffinden verborgener architektonischer Strukturen
- ...



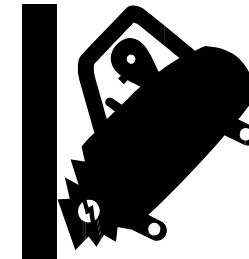
2. Alternative Techniken

	Flugdrohne	Helikopter	Hubwagen	Hochstativ
Anschaffungskosten	15.000 €	5.000 €(Tele) nur Miete	50.000 € (eher Miete)	3.000 €
Kosten pro Stunde	5 €	600 € zzgl. Anreise	50 €	0 €
Aufbauzeit	5 min	Anflugzeit	15 min	10 min
Verfügbarkeit	++	--	- (bei Miete)	++
Witterungsabhängigkeit	+	--	++	+
Positionierung	++	+	-	+
Höhe	5 – 500m	200 – 2.000 m	2 – 25m	2 – 17m
Mess-Geschwindigkeit	++	++	0	0
Personalaufwand	1-2 (nach System)	2-3	2	1



3. Anforderungen an Drohnen

- Hohe Traglast (echte Nutzlast)
- Geringes maximales Gewicht
- Robust gegenüber Beschädigung
- Leicht und sicher zu transportieren
- Gute Fluglage auch bei Wind
- Automatische Steuerung über Höhe und GPS
- Ausfall- und Störsicherheit
- Einfache Handhabung möglichst durch eine Person
- Große Reichweite
- Große maximale Höhe
- Variabilität bezüglich Beladung (Thermografie / Video / DigiCam)
- Niedrige Gesamtkosten





4. Grundaufbau einer Kamera-Drohne

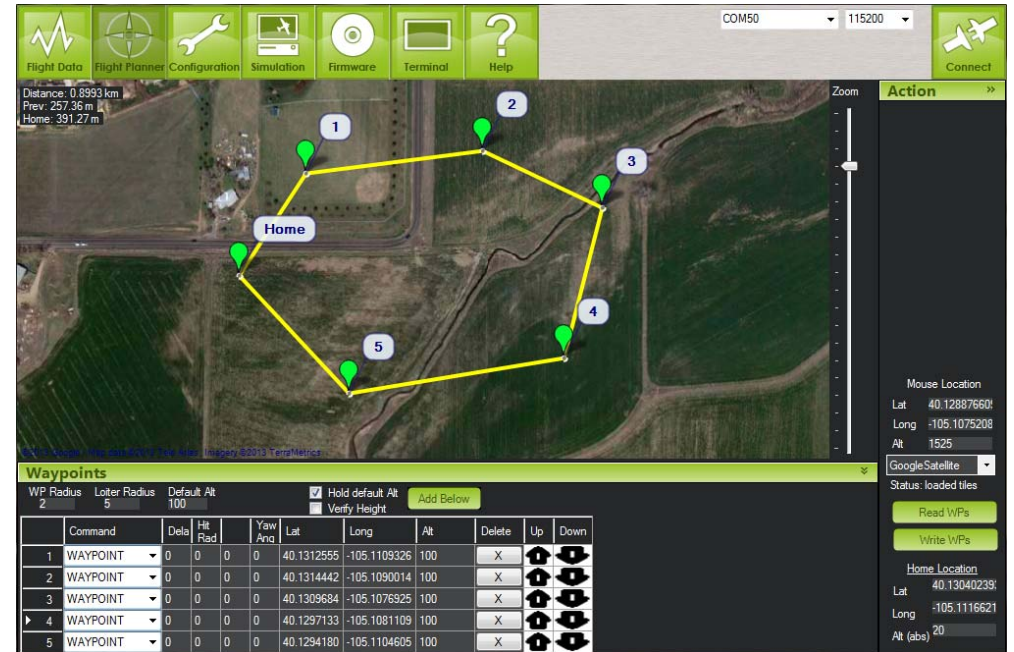
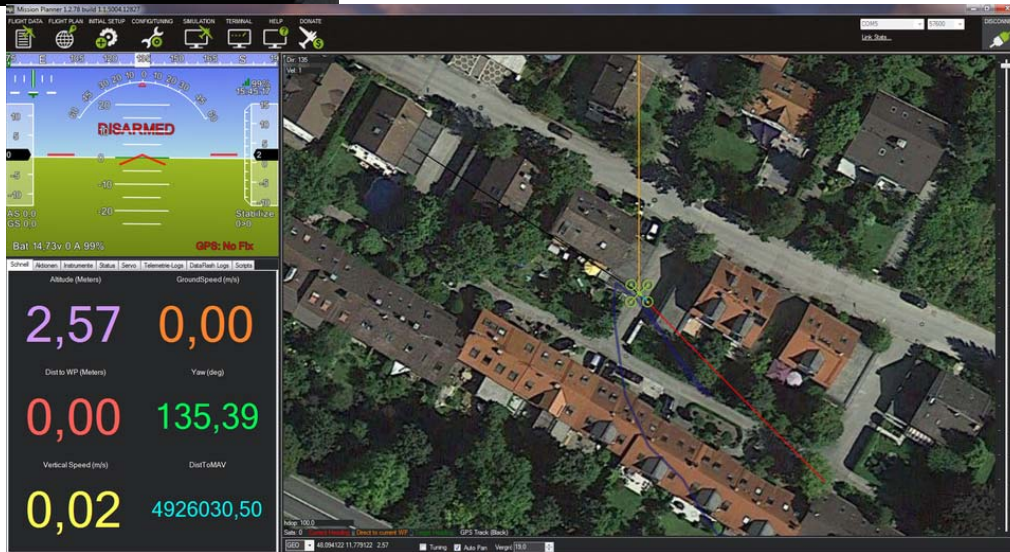
1. Rotoren inkl. Motoren (3 – 8 typisch)
 2. Motor-Regler (ESC): Steuern die Geschwindigkeit der Motoren
 3. Kamera mit Kamera-Gimbal zum bewegen der Kamera im Flug
 4. Steuerelektronik, heute meist ein kleiner Computer mit:
 - GPS zur Positionsbestimmung
 - Barometer zur Höhenbestimmung
 - Kompass für Flugrichtung
 - Datenspeicher zum Anzeichnen von Sensordaten (z.B. Crashlog)
 - Programmspeicher für vorprogrammierte Flugfolgen
 - Eingänge für Anschluss von Sensoren und Fernsteuerungsempfänger
 - Ausgänge zum Ansteuern der Motor-Regler und Kamera nebst Gimbal
 5. Akku zur Stromversorgung (1fach oder redundant)
 6. Fernsteuer-Empfänger eventuell mit Sender für Telemetrie
 7. Fernsteuerung mit mind. 8 Kanälen
 8. Videosender zur Bildübertragung mit Bodenstation (Empfänger & Monitor)
- ... meist noch einiges mehr



... Grundaufbau - Funktionen



- Pflicht:**
- Coming home (RTL)
 - Emergency Landing
 - Höhe Halten
 - Position halten
 - GPS Log
 - Kamera Richtung halten
- Kür:**
- Kreisen
 - Wegpunkte
 - Virtueller Zaun





5. Verfügbare Lösungsansätze – Drohne -

a) Selbstbau-Lösungen z.B. Mikrokopter, Arducopter oder DJI





4. Verfügbare Lösungsansätze – Selbstbau-Drohne

Vorteile:

- Scheinbar günstiger Preis
- Selber etwas bauen können; Durch eigene Arbeitszeit Geld sparen
- Mit bastlerischem Geschick stark individualisierbar

Nachteile:

- Sehr viel Zeit, nerven und Geschick notwendig
- Über jedes Detail muss nachgedacht werden
- Bausätze verwenden meist einfache Materialien mit geringer Haltbarkeit
- Der Postbote wird zum besten Freund (ständiges Nachbestellen)
- Kein Gewährleistung auf Sicherheit und Funktionalität
- Zuverlässige Systemdaten zu Tragkraft und Aufstiegshöhe fehlen
- Teure Lizenzierung für kommerzielle Anwendungen





4. Verfügbare Lösungsansätze ...

b) Fertig-Lösungen auf der Basis von Bausätzen

Vorteile:

- Ein Ansprechpartner für Kamera und Drohne
- Gewährleistung auf Funktion
- Eingeflogenes Gerät



Nachteile:

- Nach wie vor einfache Materialien aus dem Bausatz mit geringer Robustheit und meist eingeschränkter Funktionalität (Landegegestell, Kamera-Halter, Elektronik)
- Bei Abweichung vom Standard wird's durch viele Arbeitsstunden teuer
- Kommerzielle Lizenzen der Steuerung meist teuer
- Zuverlässige Systemdaten zu Tragkraft und Aufstiegshöhe fehlen
- Es bleibt eine „Bastellösung“

4. Verfügbare Lösungsansätze ...

c) Systeme von professionellen Drohnen-Herstellern

Vorteile:

- Hohe Professionalität in Fertigung und Beratung
- Variabler Modulbaukasten mit verschiedenen Zuladungen
- Ausgereifte Komponenten
- Große Individualisierbarkeit
- Oftmals geringere Preise als fertige Lösung auf Bausätzen
- Hochwertige Anmutung
- Hohe Sicherheit
- Zugesicherte Spezifikationen

Nachteile:

- Kein eigenes Basteln
- Bei einigen Herstellern versteckte Kosten und unklare Preislisten



Asctec Falcon mit FlightImager



General-View Y-Copter



Hight-Tech HAT-8-2000



5. Wichtige Kenngrößen für die Drohnenauswahl

- **Nutzlast der Drohne:**

Achtung, je nach Hersteller wird diese mit oder ohne Landegestell, Akkus, Gimball (Kamerahalter) angegeben. Letztlich ist aber nur die Netto-Zuladung (mögliches Kameragewicht) entscheidend.

- **Redundanz:**

Wie viele Rotoren können ausfallen, um die angegebene Nutzlast noch zu tragen. Und ist die Elektronik in der Lage, das im Flug abzufangen ?

- **Reichweite:**

Das Videobild, das zur Orientierung übertragen wird, erfordert sehr hochwertige Sender & Empfänger (max. Sendeleistung in Deutschland 25mW !)

- **Größe und Qualität des Videodisplays:**

Das Videodisplay muss groß und gut positioniert, sowie vor Sonneneinstrahlung geschützt sein. Auch eine Videobrille kann eine gute Lösung sein.

- **Maximal Höhe:**

Zur Angabe der maximal erreichbaren Höhe gehört auch das zugehörige Maximalgewicht und die Lufttemperatur am Boden. Achtung, es geht um die Höhe über NN, also bei Flügen in den Bergen kann es schneller eng werden.



5. Wichtige Kenngrößen für die Drohnenauswahl ...

- **Maximale Windgeschwindigkeit:**
Bis zu welcher Windgeschwindigkeit kann die Drohne noch sicher geflogen werden
- **Tatsächliches Aufstiegsgewicht:**
Über 5Kg Aufstiegsgewicht ist in Deutschland eine Einzelgenehmigung erforderlich
- **Flugzeit:**
Vorsicht, hier werden gerne rein rechnerische Angaben zum komplett unbeladenen System (ohne Akku) gemacht. Interessant ist allein die Flugzeit mit dem geplanten Aufstiegsgewicht.
- **Steuerfunktionen:**
Coming-Home, Emergency-Landing, Flugschreiber, Position-Hold (auch bei Wind), Waypoint Navigation und Höhenregler sind wichtige Komfort- und Sicherheits-Funktionen, die zwar für die meisten Drohnen verfügbar sind, aber im Grundpreis oft fehlen.
- **Akku-Packs:**
Wieviele Akkus werden benötigt, und wieviele sind im Preis tatsächlich enthalten . Bei Ladezeiten von 1 Std. (extreme Schnellladungen schaden Akkus) braucht man 6 komplette Sätze zum durchgängigen Fliegen.



5. Wichtige Kenngrößen für die Drohnenauswahl ...

- **Kommerzielle Lizenz:**

Für die notwendige integrierte Steuerung der Drohnen sind bei kommerzieller Nutzung oft zusätzliche Lizenzgebühren fällig, die schnell mal 1.000 € und mehr ausmachen können.

- **Ersatzteil- und Reparatur-Service:**

Gibt es eine gute Ersatzteilversorgung auch noch in einigen Jahren und einen kompetenten Ansprechpartner für Reparaturen ?

- **Variabilität:**

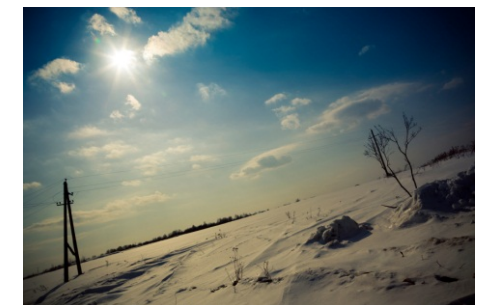
Kann die Drohne auf ein anderes Kamera-System umgerüstet werden (auch Thermografie auf Realbild oder Video) ? Kann die Zuladung später problemlos erhöht werden, wenn später eine größere und schwerere Kamera eingesetzt werden soll oder in größeren Höhen geflogen werden muss ?

- **Schulung:**

Jeder der eine Drohne fliegt muss diese nach geltenden Bestimmungen auch ohne Voll-Automatik steuern können. Dafür braucht man Übung und eine gute Einweisung. Gibt es ein funktionierendes Schulungskonzept ? Was kostet die Schulung ?

6. Anforderungen Kamera-System

- Einfache Handhabung während des Fluges, ansonsten werden mindestens zwei Personen benötigt.
- Professionelle Auswertung, Nachbearbeitung und Dokumentation.
- Sichere visuelle Verbindung zwischen Drohne und Bediener zur Überwachung.
- Möglichst weitreichende Fernbedienbarkeit über die Drohne.
- Geringes Gerätegewicht, um das Abfluggewicht niedrig zu halten.
- Einfache mechanische Integration in die Drohne (Baumaß, Halterungen, ...).
- Robustheit und Temperaturfestigkeit.
- Schnelle Bildfolge für effektives und schnelles Arbeiten.
- Niedrige zusätzliche Kosten.



7. Lösungsmöglichkeiten Kameras

a) Handgeführte Kameras lernen das Fliegen

Vorteile:

- Wenn Kamera schon vorhanden ist, kaum zusätzliche Kosten.
- Wenn von der Kamera unterstützt: Zumindest sequentielle Aufnahmen im 15 Sekunden-Abstand vollradiometrisch möglich.



Nachteile:

- Vollradiometrisch nur Einzelaufnahme. Genaue Motivauswahl notwendig -> 2. Mann.
- Kameras sind nicht zum fliegen gebaut, entsprechend unförmig und ungünstig zu montieren. Viele Kameras eignen sich gar nicht.
- Eventuell Eingriff in die Kamera notwendig, Gefahr der Beschädigung in jedem Fall aber Garantieverlust.
- WLAN, das hier gerne beworben wird, ist nicht sonderlich robust und hat eine eingeschränkte Reichweite. Funkabrisse oder Hänger der Kameras erschweren die zügige Arbeit. -> Nicht praktikabel
- Mobile Kameras sind nicht sehr robust aber meist sehr teuer.

7. Lösungsmöglichkeiten Kameras ...

b) Nichtradiometrische Infrarot-Videokamera

Vorteile:

- Sehr kleine, leichte und günstige Kamera.
- Kleine Drohne ausreichend.



Nachteile:

- Es handelt sich eigentlich um gar keine Thermografie sondern um ein Infrarot-Video mit allen Nachteilen.
- „Kalibrierung“ durch nachträgliche Farbumsetzung ist ungenau (256 Farben) und ermöglicht vor allem keine nachträgliche Änderung von Level und Spam.
- Level und Spam muss über Funk während des Fluges ständig angepasst werden, um überhaupt brauchbare Bilder zu bekommen. Langsam und ein 2. Mann ist notwendig.
- Defekte und Auffälligkeiten können leicht übersehen werden.
- Zusätzliche Anschaffung zur vorhandenen Kamera.
- Schlechte bis keine Nachbearbeitung und Dokumentation möglich.

7. Lösungsmöglichkeiten Kameras ...

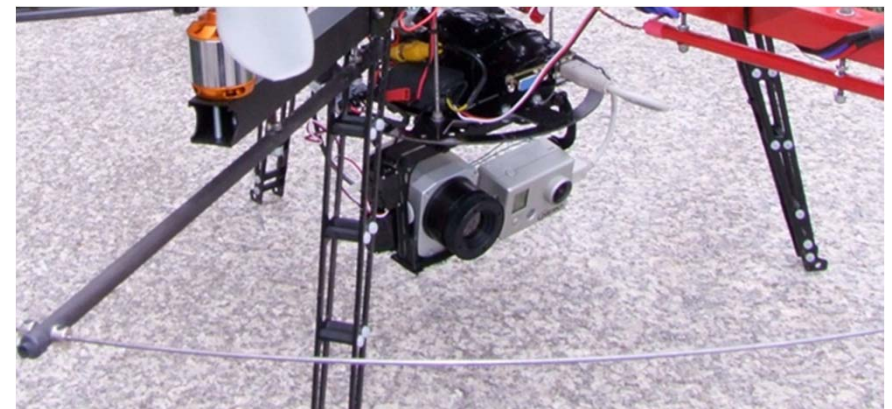
c) Industrielle Prozesskamera mit vollradiometrischen Videos
Vorteile:

- Vollradiometrische Videos mit hoher Frequenz
- Video kann inkl. Level und Span nach dem Flug ausgewertet und nachbearbeitet werden.
- Beliebig viele Einzelbilder können bei der Auswertung aus dem Film extrahiert werden.
- Keine Auswertung während des Fluges notwendig, damit auch kein 2. Mann.
- Viel kürzere Flugzeiten notwendig (Sonnenstunden, Flugzeit der Drohne,...).
- Durch sehr effektive Nachbearbeitung auch insgesamt wesentlich schneller.
- Leicht, klein und relativ preisgünstig (Kamera inkl. Software ab 2.950 €).



Nachteile:

- Zusätzliche Anschaffung zur meist schon vorhanden Kamera
- Durch Industriegehäuse schwerrere als notwendig





7. Lösungsmöglichkeiten Kameras ...

c) Spezielle Flugversion der Industriekamera: FlightImager

- Vollradiometrische Videos mit 35 Hz und 380 x 260 Pixeln (einstellbar)
- Sehr niedriges Gewicht: Inkl. Auswerteeinheit nur 380 g
- Keine Auswertung während des Fluges notwendig, damit auch kein 2. Mann.
- Mindestens 25 Minuten Flugzeit mit mitgelieferter Speicherkarte, erweiterbar
- Speicherkarte beim Akkuwechsel leicht austauschbar
- Viel kürzere Flugzeiten notwendig (Sonnenstunden, Flugzeit der Drohne,...).
- Sehr geringer Stromverbrauch, Weitbereichseingang für Spannungsversorgung über Flugakkus
- Durch sehr effektive Nachbearbeitung auch insgesamt wesentlich schneller.
- Nachbearbeitung der Aufzeichnung inkl. Level und Span nach dem Flug
- Vollradiometrische Einzelbilder werden bei der Auswertung extrahiert.
- Leicht, klein und relativ preisgünstig (ab 4.899 €)



Nachteile:

- **Zusätzliche Anschaffung zur meist schon vorhanden Kamera**





Klein-Drohne (Arducopter) mit MESSBAR FlightImager



Durchmesser: 60cm
Tragkraft: ca.1Kg (netto)
Gesamtgewicht: 3,5 Kg
Flugzeit: 10min (beladen)

Funktionen:

- Wegpunkte
- Höhe halten
- Auf Höhe Kreisen
- RTL = Return to Lunch
- Landen
- Virtueller Zaun
- Gimball-Ansteuerung
- Kamera start / stopp

IR-System:

- MESSBAR FlightImager MB450
- 380 x 260 Pixel
- 40mK
- 35 Bilder / Sekund vollrad.

Visuell:

- CamOne HD (nicht imBild)
- Full-HD Video auf SD-Karte
- 5MP Sensor

Funk:

- Graupner HOTT 16 Kanal
- Iftron Stinger Pro Video-Sender
- 3DR Telemetry Sender



Das „Ideale System“:



General-View Y-Copter
3 Arme, Doppelrotoren
Einfach auf bis zu 6 Arme erweiterbar
Tragkraft: 4 Kg (netto)
Gesamtgewicht: 5 Kg
Flugzeit: >20min (beladen)

IR-System:

- MESSBAR FlightImager MB450
- 380 x 260 Pixel
- 40mK
- 35 Bilder / Sekund vollrad.

Visuell:

- Beliebig nach Kundenwunsch

Funk:

- Graupner HOTT 12 Kanäle
- Video-Übertragung mit Bodenstation
- Telemetriedaten



8. Weitere Aussichten...

Die Rechenleistung auf den Drohnen ist heute schon erstaunlich, neben dem Klein-Computer (beim Arducopter z.B. der Linux-Rechner Arduino) für die Steuerung fliegt bei unserem FlightImager ein kompletter Windows PC mit Intel Atom-Prozessor mit.

Auch Handys bieten mittlerweile eine Rechenpower in ungeahnten kleinen Gehäusen. Diese Leistungen führen zu immer stärker automatisiertem Flug.

Verschiedene Projekte beschäftigen sich z.B. mit der Objekterkennung aus dem Flug, die z.B. zum gezielten, vollautonomen Abfliegen von Solaranlagen führen kann.

Die TU Wien arbeitet derzeit z.B. an einem solchen Projekt.

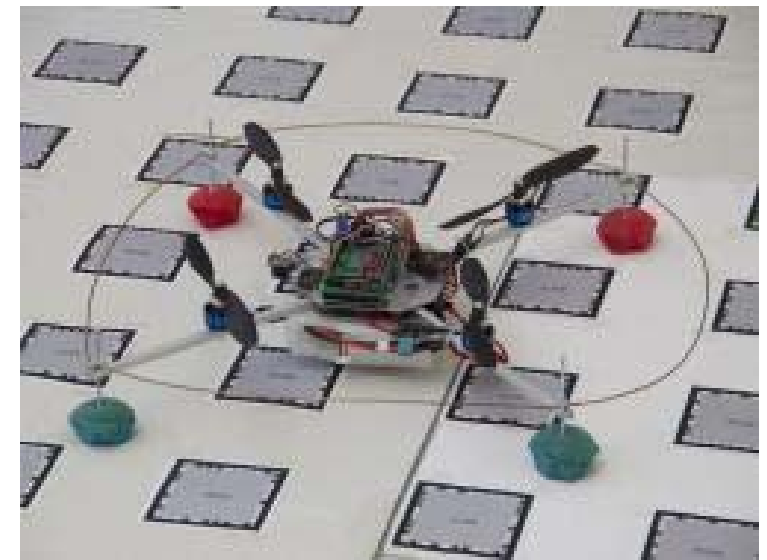


Bild: TU Wien

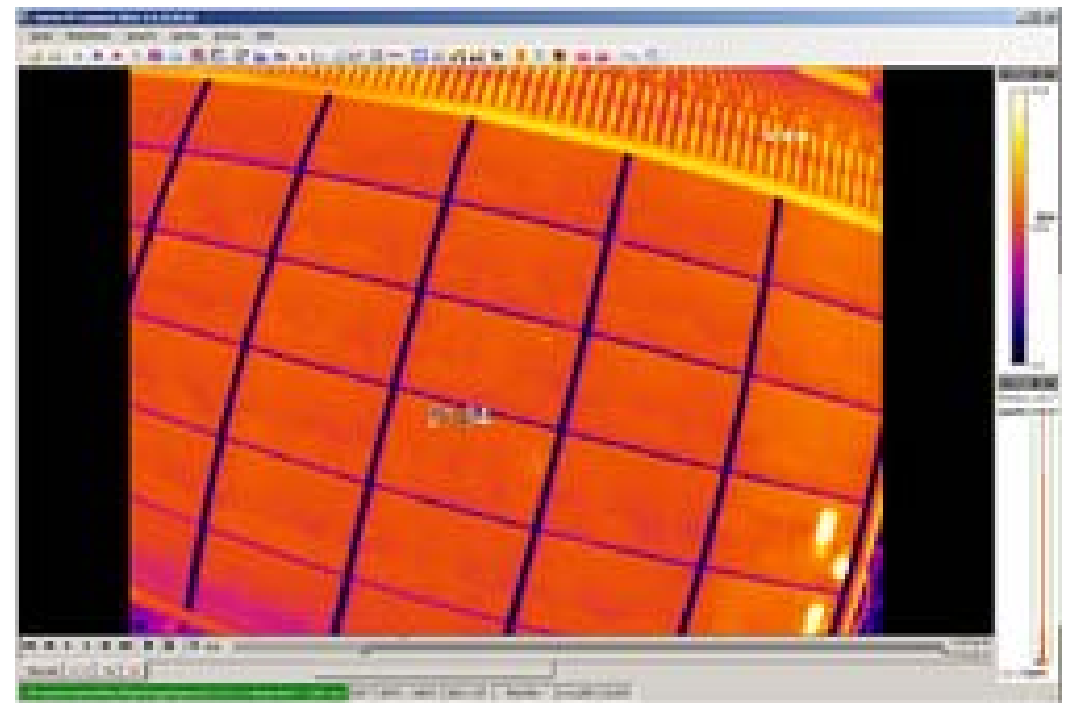
8. ... weitere Aussichten

Gleichzeitig bietet die vollradiometrische Video-Aufzeichnung die Möglichkeit, in Zukunft anhand von Software-Routinen auch die Auswertung der aufgenommenen IR-Aufnahmen vollautomatisch auszuwerten.



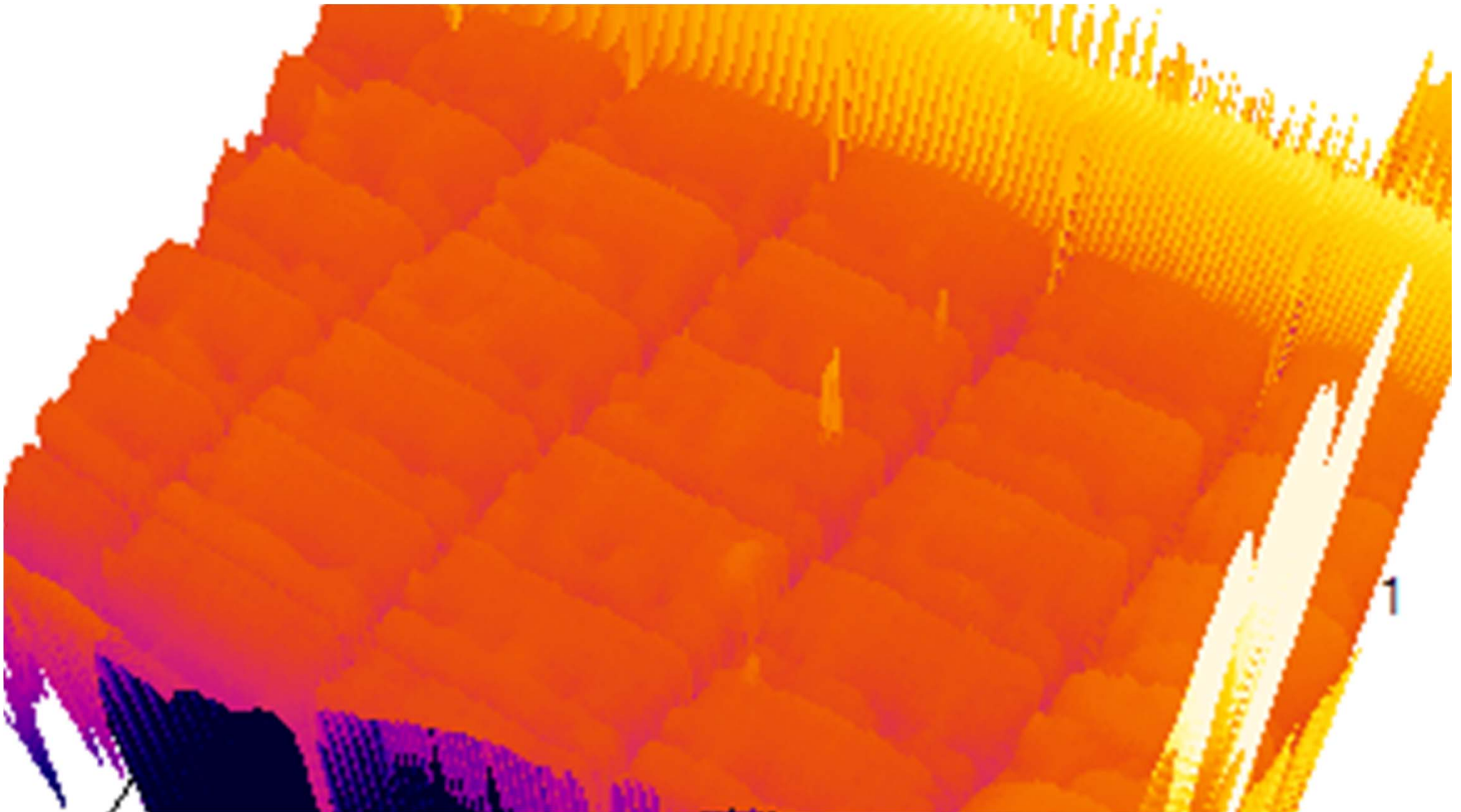
Anhand der Messwerte können nicht nur Modulgrenzen identifiziert sondern auch Fehler erkannt und markiert werden.

Auf diese Art wird Thermografie mittels Flugdrohnen immer effektiver und kann weitere Bereiche erobern, die zuvor aufgrund zu hoher Kosten nicht rentabel waren.





8 ... Aussichten: Automatische Auswertung



Weitere Informationen zu Kameras,
Hochstativen und Drohnen gibt es bei

www.MESSBAR.de

oder direkt beim Referenten Ralph Rulle an
unserem Stand oder abends beim Bier ;-)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Am 17.10. im Kartpalast Bergkirchen /
München:
Thermografie-Workshop mit Live-Vorführung
Flugdrohne, Hochstativ und Industrie-
Thermografie am Kart (natürlich mit Testfahrt)



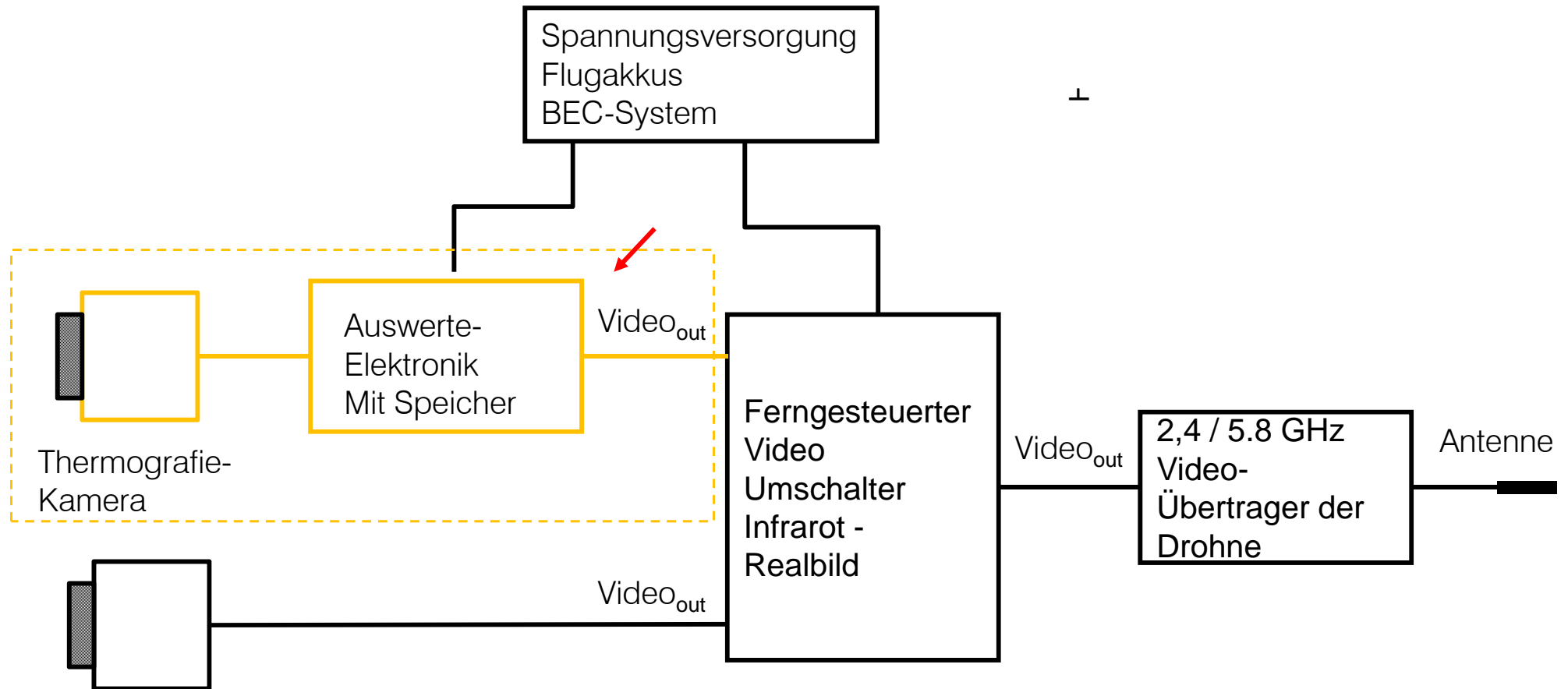
MESSBAR
Dipl.-Ing. Ralph Rulle
Steinröschenstr. 14
85591 Vatersteten

Mail: zentrale@messbar.de
Tel.: 08106 / 39780-0
Fax.: 08106 / 39780-0





Funktionsprinzip MESSBAR FlightImager



Zusätzliche
Realbild-Video-
Kamera

Schwarz umrandete Bauteile gehören
nicht zum Lieferumfang und sind typisch
Bestandteile der Flugdrohne