



# eVTOLs

Prof. Dr. Florian Holzapfel

# ★ eVTOL-Typen



Drohnen



Elektrisches  
Fliegen



eVTOLs

# eVTOL-Typen



eVTOLs



Powered  
Lift



Transition



Tilt



Multicopter  
und  
Flugzeug

# eVTOL-Typen



Powered Lift



**Volocopter**



**City Airbus**



**Bee  
Appliance**



**Audi Pop  
Up**

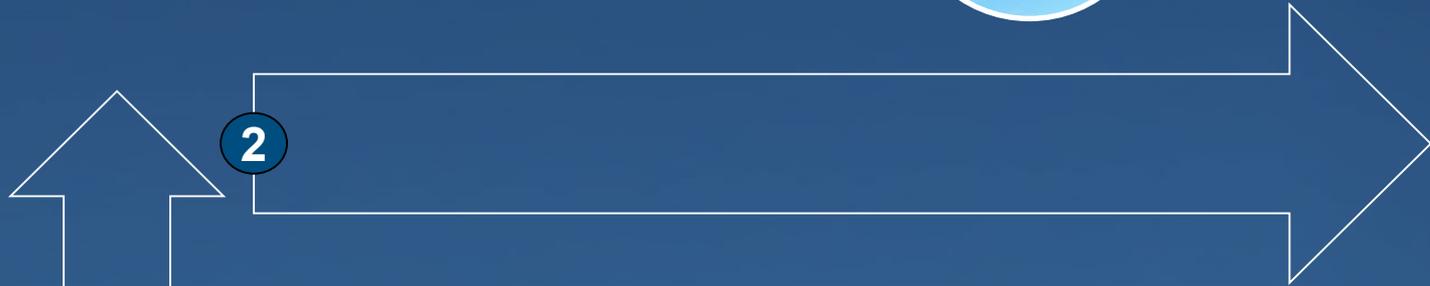


**EHANG**

# ★ eVTOL-Typen



Transition



- 1 Senkrechter Take-Off ohne Startbahn.
- 2 Transition zum aerodynamischen und effizienten Flug.



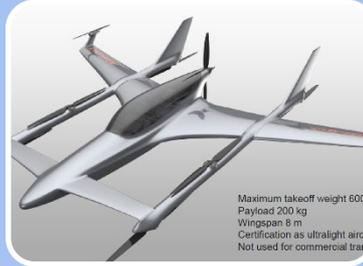
# eVTOL-Typen



Transition



**Kitty  
Hawk**



**AXF**



**Vahana**



**Lilium**

## Sicherheit und Zulassung

*“Safety is a relative term that implies a level of risk that is both perceived and accepted.[...] Hazard probability and severity are measurable and, when combined, give us risk.” – FAA System Safety Handbook*

- Klassische Verkehrsflugzeuge unterliegen rigorosen Sicherheitsanforderungen, sowohl in der Entwicklung als auch im Betrieb
- Da eVTOLs zukünftig im urbanen Gebiet betrieben werden, sind trotz der geringen Passagieranzahl ähnliche Maßstäbe anzuwenden

### Was sind die Konsequenzen?

- Sehr hohe Anforderungen an die Ausfallwahrscheinlichkeit der technischen Systeme für die Flugsteuerung
- Kein einzelner Komponentenfehler darf zu einem katastrophalen Systemausfall führen (No Single Point of Failure)

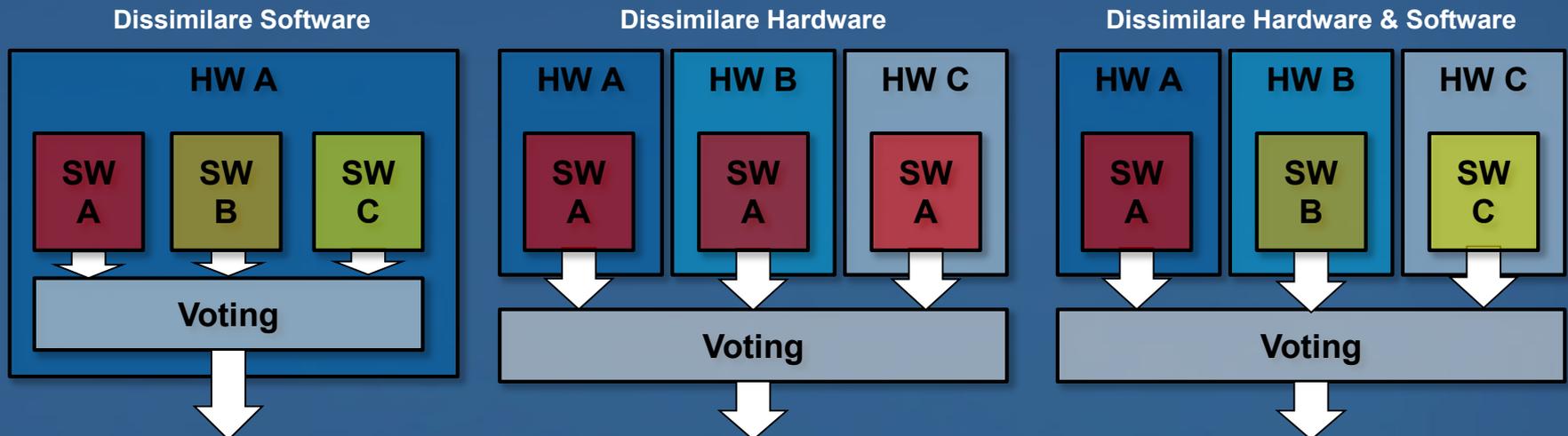
## Sicherheit und Zulassung

No Single Point  
of Failure



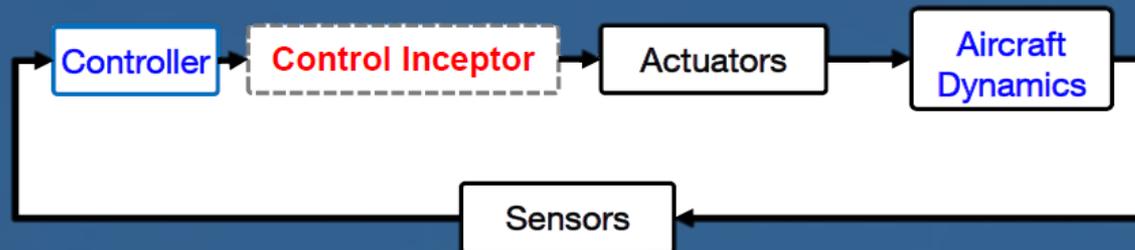
## Sicherheit und Zulassung – Redundanz & Diversität

- ❑ **Redundanz** erhöht die Robustheit gegenüber zufälligen Fehlern, z.B. durch Abnutzung, thermische oder mechanische Belastung, elektromagnetische Strahlung
- ❑ **Diversität** schützt vor systematischen Fehlern, z.B. durch Entwurfsfehler, falsche Spezifikationen, Software-Bugs etc.



## Sicherheit und Zulassung – Menschlicher Bediener

- ❑ Die Reaktion des Piloten hängt von dessen Beurteilung des aktuellen Flugzustandes ab.
- ❑ Beurteilung des Flugzustandes durch **Sinnesorgane** und Cockpit-**Instrumente**.
- ❑ Die Control-Inputs des Piloten werden von sog. **Control-Inceptors** aufgenommen (Flight-Stick, Schubhebel etc.).



# Sicherheit und Zulassung – Menschlicher Bediener



Mode Control Panel

Primary Flight Display

Sidestick

Flight Management System

Thrust Levers

Engine Monitoring Screen

A380 Flight Deck

## Vorschriften – Rechtlicher Rahmen

- ❑ Umstellung von einer “designbasierten” auf eine **leistungsbasierte Regulierung**  
Jedoch gibt es für eVTOLs immer noch eine **Regulierungslücke**.
- ❑ EASAs & FAAs Aussage: Flugzeugkonfigurationen (**eVTOLs**) ohne zyklische Blattverstellung und Autorotationseigenschaften **werden unter Part 23 / CS-23 reguliert werden**.



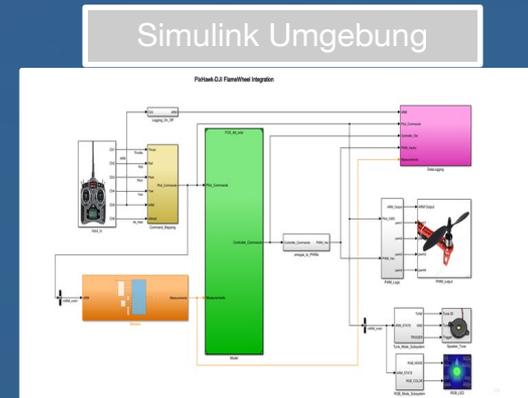
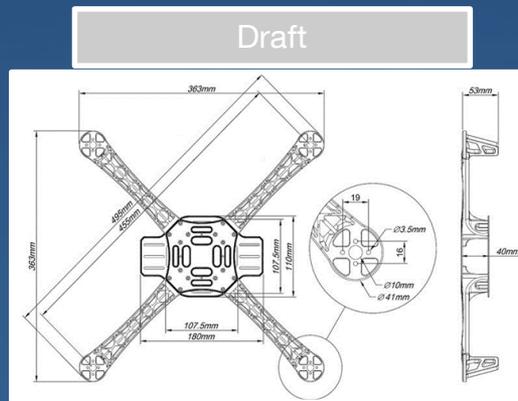
## Vorschriften – UTM & Luftraumintegration

- ❑ **UTM = Unmanned Aerial System Traffic Management**
- ❑ Der U-Space soll den sicheren und effizienten Zugang zum Luftraum für eine große Zahl an Drohnen ermöglichen.
- ❑ Es gibt noch **keine etablierten Lösungen**.
- ❑ Keine dauerhafte Luftraumüberwachung durch ATCs erforderlich.



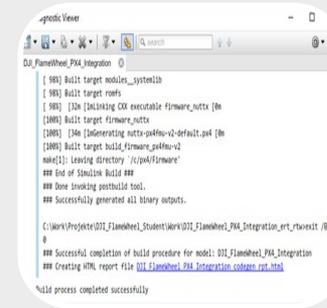
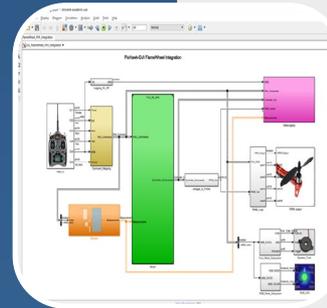
# FSD-Drohnenpraktikum - Testplattform

- ❑ **PixHawk** Flight Controller basierend auf ARM Cortex M4
- ❑ 3 Achsen **Beschleunigungs-/Drehratensensoren**
- ❑ Barometrischer **Höhenmesser**
- ❑ Lage-, Geschwindigkeit- und Positionsinformationen bereitgestellt durch integriertes **Navigationssystem**
- ❑ 14 PWM Ausgänge für Servos



# FSD-Drohnenpraktikum – System Integration

- Integrationsmodell kombiniert Flugregler mit Interfaceblöcken zur Applikation auf der Zielhardware
- Verwendung der gleichen Modellkomponente wie in der nichtlinearen Systemsimulation durch „Model Reference“
- Automatische Codegenerierung mittels Embedded Coder und Pilot Support Package



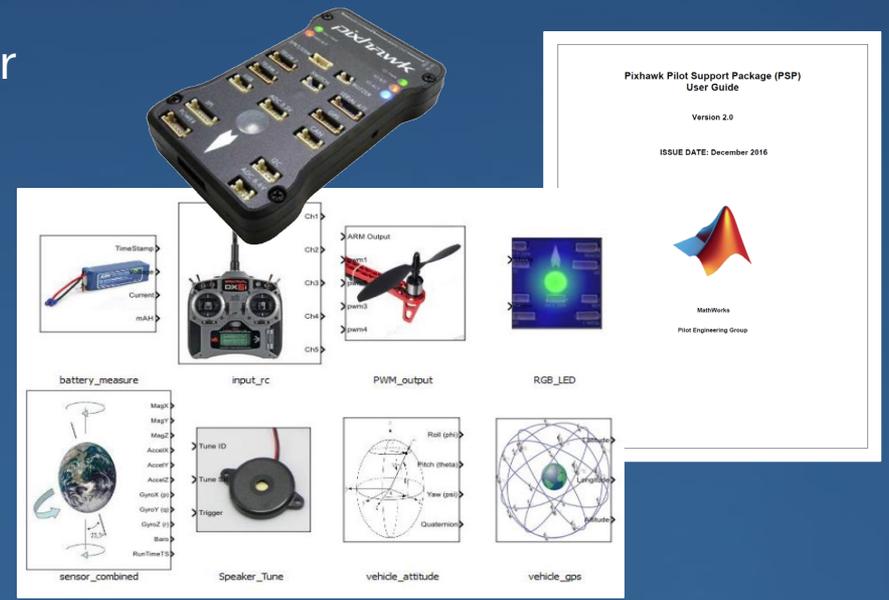
```
gprc: View
D:\Flameheel_PMA_Integration
[ 98] Build target modules_systemlib
[ 99] Build target rtwlib
[ 99] [bin] [linking] CXX executable firmware_nxtx [bin
[200] Build target firmware_nxtx
[200] [bin] [generating] nctx_splfw-v3-default.pak [bin
[200] Build target build_firmware_pakfw-v2
note[]: Loading directory 'C:\pwl\Firmware'
### End of Simulink Build ###
### Done invoking postbuild tool.
### Successfully generated all binary outputs.

C:\work\projekte\011_Flameheel_Student\work\011_Flameheel_PMA_Integration_rtw\rtw\1\B
### Successful completion of build procedure for model: 011_Flameheel_PMA_Integration
### Creating HTML report file 011_Flameheel_PMA_Integration_codegen_rpt.html
Build process completed successfully
```



# FSD-Drohnenpraktikum – Pilot Support Package (PSP)

- ❑ Library Blöcke zur **Integration** der Algorithmen auf der Hardware
- ❑ **Toolchain** Support („Compile/Link/Download“)
- ❑ „External Mode“ – Unterstützung
- ❑ **Keine zusätzlichen Integrationsschritte**



- ✓ Fokus auf der Lösung des technischen Problems
- ✓ Schnelle Integration und Test verschiedener Entwürfe



## Bildquellen

- <https://www.helicomicro.com/2018/01/10/autel-evo/>
- <http://www.likecool.com>
- <https://www.volocopter.com/de/product>
- <https://www.aviationcv.com/>
- <https://newatlas.com/>
- <https://www.theverge.com/>
- <http://evtol.news/aircraft/a3-by-airbus/>
- <https://transportup.com/embraerx-evtol/>
- <https://newatlas.com/cityairbus-propulsion-system-test/51609/>
- <https://www.beeappliance.com/#about-bee>

## Bildquellen

- <https://www.motor-talk.de/news/airbus-und-italdesign-gehen-in-die-luft-t5969089.html>
- <https://dronelife.com/2017/10/04/has-ehang-hung-it-up/>
- <https://www.theverge.com/2018/3/13/17113246/larry-page-air-taxi-autonomous-plane-new-zealand-jacinda-ardern>
- <https://www.golem.de/news/vahana-lufttaxi-von-airbus-ist-startklar-1711131130.html>
- <https://www.autelrobotics.com>
- [https:// www.microdrones.com](https://www.microdrones.com)
- <https://www.drohnen.de/13088/dji-inspire-2-zubehoer-quick-release-hoehenpropeller/>
- [https://en.wikipedia.org/wiki/File:Airplane\\_vortex\\_edit.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/File:Airplane_vortex_edit.jpg)
- <https://www.geekwrapped.com/best-quadcopter-drones-for-sale>
- <https://www.aeronef.net>