Seminar Flugmeteorologie

Zukunft & Perspektiven der Flugmeteorologie

Fabian Fusina — Flight Safety Investigator, Pilot A330

Martin Gerber — Technischer Pilot A320, Stiftungsrat Skylab

27. Mai 2019

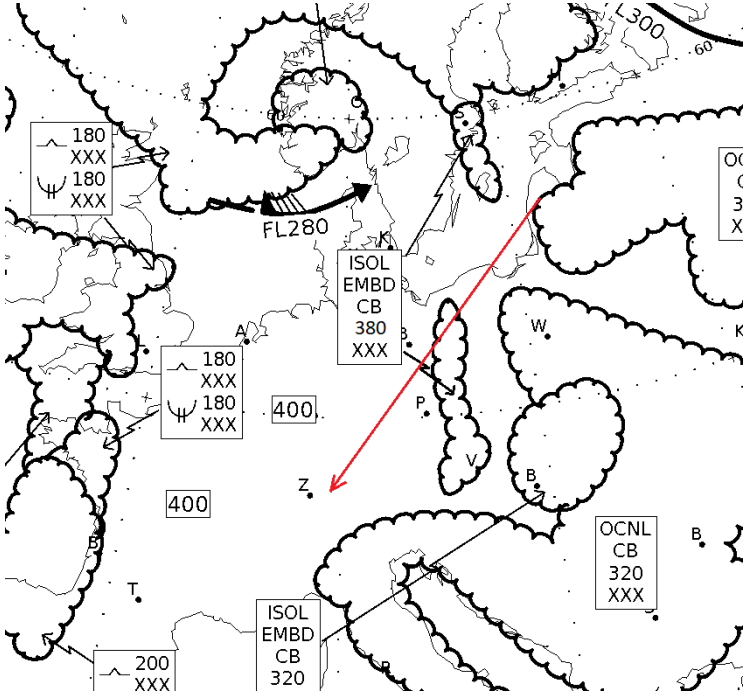


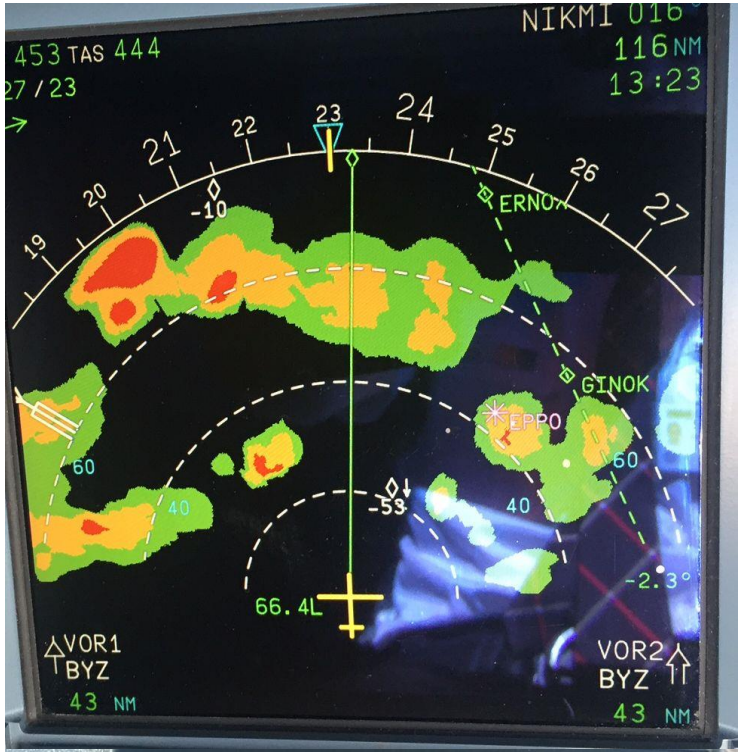
Zukunft und Perspektiven der Flugmeteorologie
Agenda

1) Einstieg: Was sehen wir heute?
2) Voraussetzung für Wetterinformation im Flugzeug: Konnektivität
3) Wetter-Applikationen für Piloten: Preflight und Inflight – Eine Übersicht
   - Anwendung von Inflight-Wetter (IFW): Konvektion
4) Das Flugzeug als «Wetterballon»: Flugzeug-Sensoren und ihre Nutzung
5) Aviation Turbulence: Eine Übersicht
   - Turbulenzmessung und aktuelles SFLV-Projekt
   - Nutzung von Echtzeitdaten
   - Verbesserung der Prognosemodelle
6) Zukünftige Lösungen

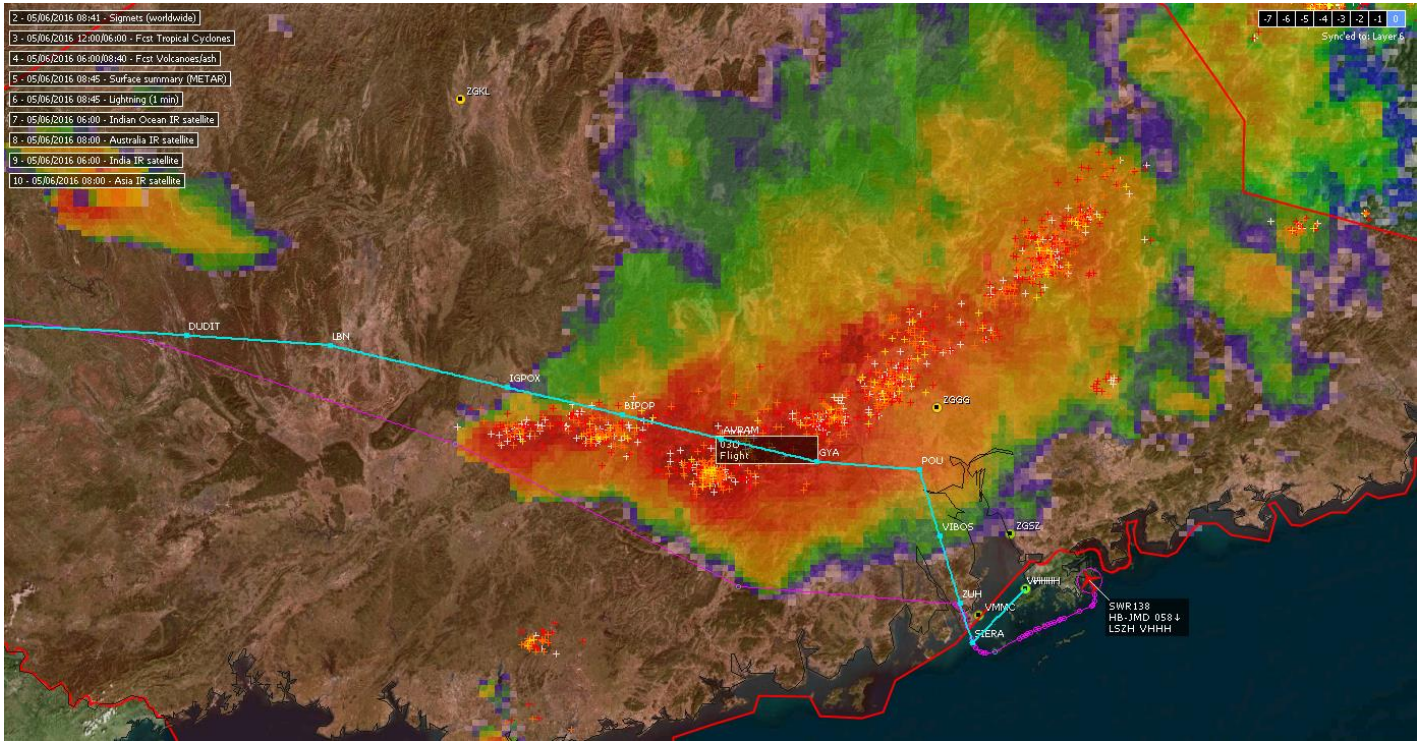
SWISS

Einstieg: Was sehen wir heute?
Use Case: On-Board Wetterradar



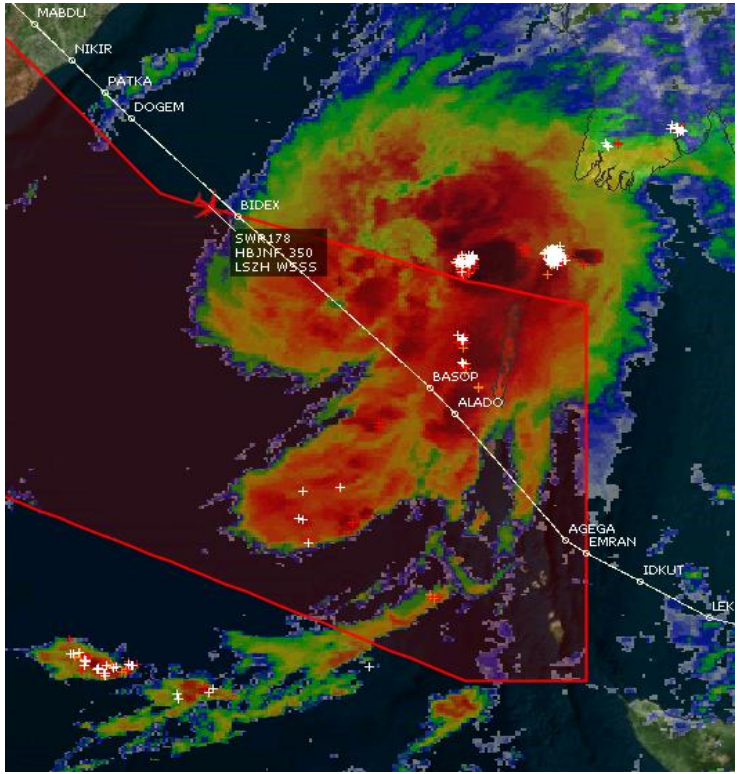


Einstieg: Was sehen wir heute?
Use Case: On-Board Wetterradar

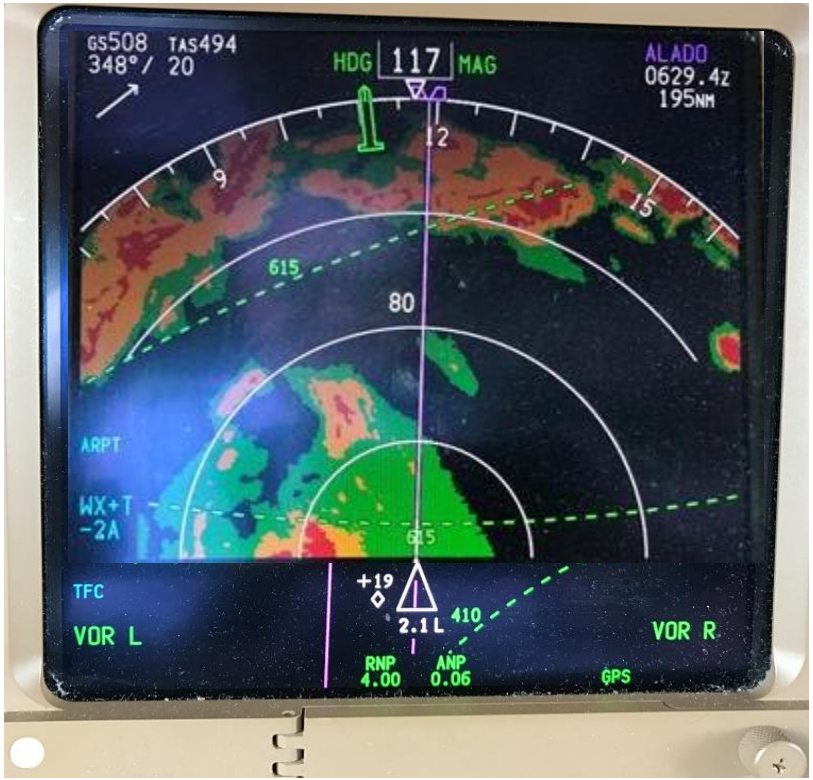


Einstieg: Was sehen wir heute?
Use Case: Aktualität der Planungsunterlagen

Sabre Flight Explorer



Boeing 777 WX radar



SWISS

Einstieg: Was sehen wir heute?
Hauptprobleme für die kommerzielle Fliegerei

- “Kurzsichtigkeit” der Cockpit-Crew
- Aktualität der Wetterunterlagen
- Genauigkeit der Wetterunterlagen (Darstellung und Prognose)

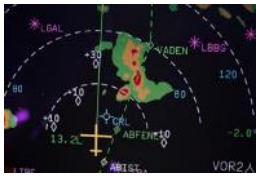
→ Moderne Tools und leistungsfähige Kommunikationskanäle!

→ Verbesserung der Prognosen (vorallem für CAT und Mountain Waves)

Wetterinformationen - Heute
Aircraft Sensor Based vs. Weather Data Uplink

Aircraft Sensor Based

- Wetterradar



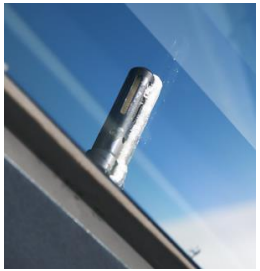
- Windgeschwindigkeit und Temperatur
- Subjektive Beurteilungen:

  “If you can still drink your coffee, it’s light turbulence.”



- Wolkenbilder





- Visual Ice Detector

Weather Data Uplink

- ACARS METAR/TAF

```
ACARS BEGIN - 18/08/01 00:12:22

18/08/01    00:12:07    OPEN

EDDK ENR ATIS N
2350Z
ATIS EDDK N METAR 312350
EXPECT ILS APCH
RWY 32R 06 32L
TRL 60
34004KT
CAVOK
T20 DP14
QNH1020
TREND NOSIG

END OF ATIS N

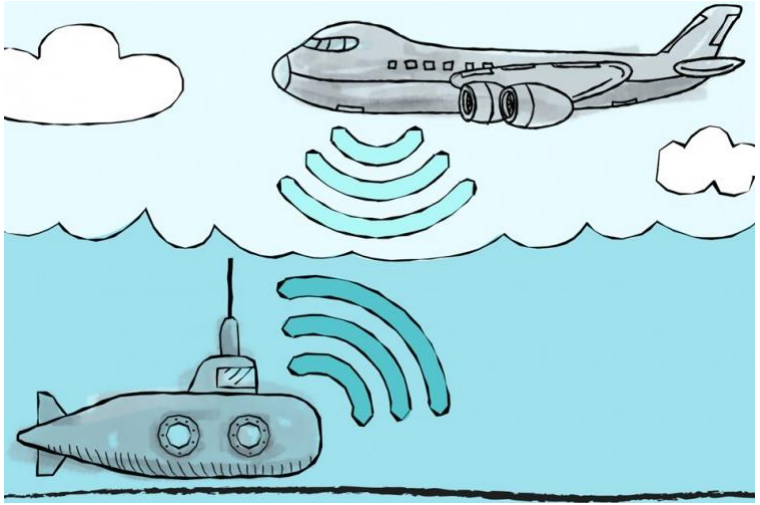

ACARS END
```

- PIREP’s by ATC

SWISS

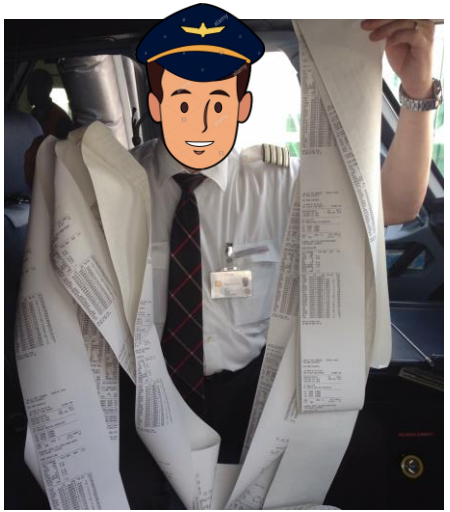
Kommunikationskanäle
Konnektivität

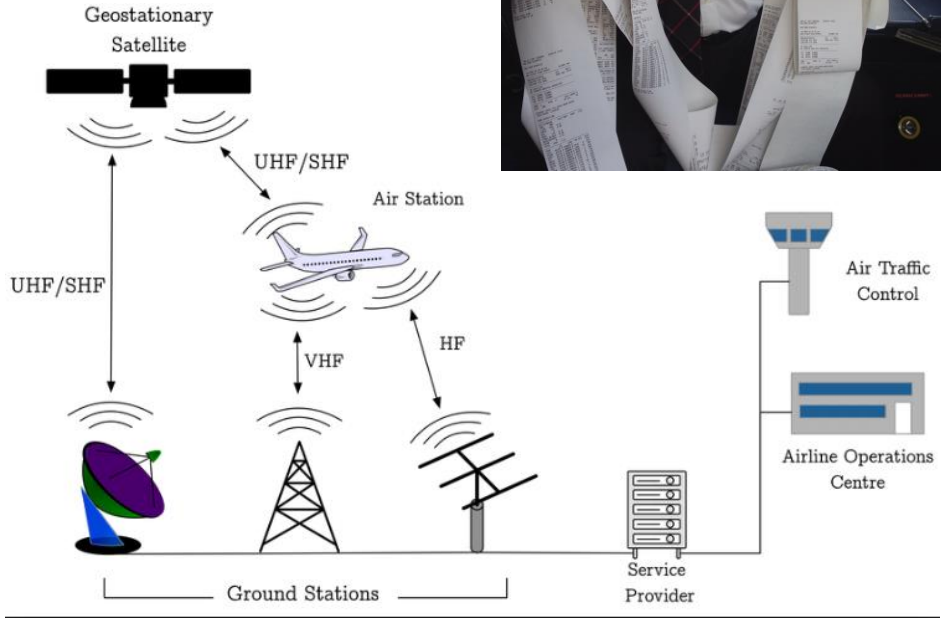
- Voraussetzung für Data Uplink: Konnektivität
  - ACARS
  - Satellite Connection: Inmarsat
  - European Aviation Network
  - ADS WX



Kommunikationskanäle
ACARS

- Aircraft Communications Addressing and Reporting System (ACARS), in den **1970er Jahren entwickelt**
- Datenübertragung über Funkfrequenzen
- Möglichkeit zur Übertragung von Wetterdaten für IFW-Anwendungen via ACARS bei kleinen Datenmengen (z.B. Koordinaten von Polygonen)



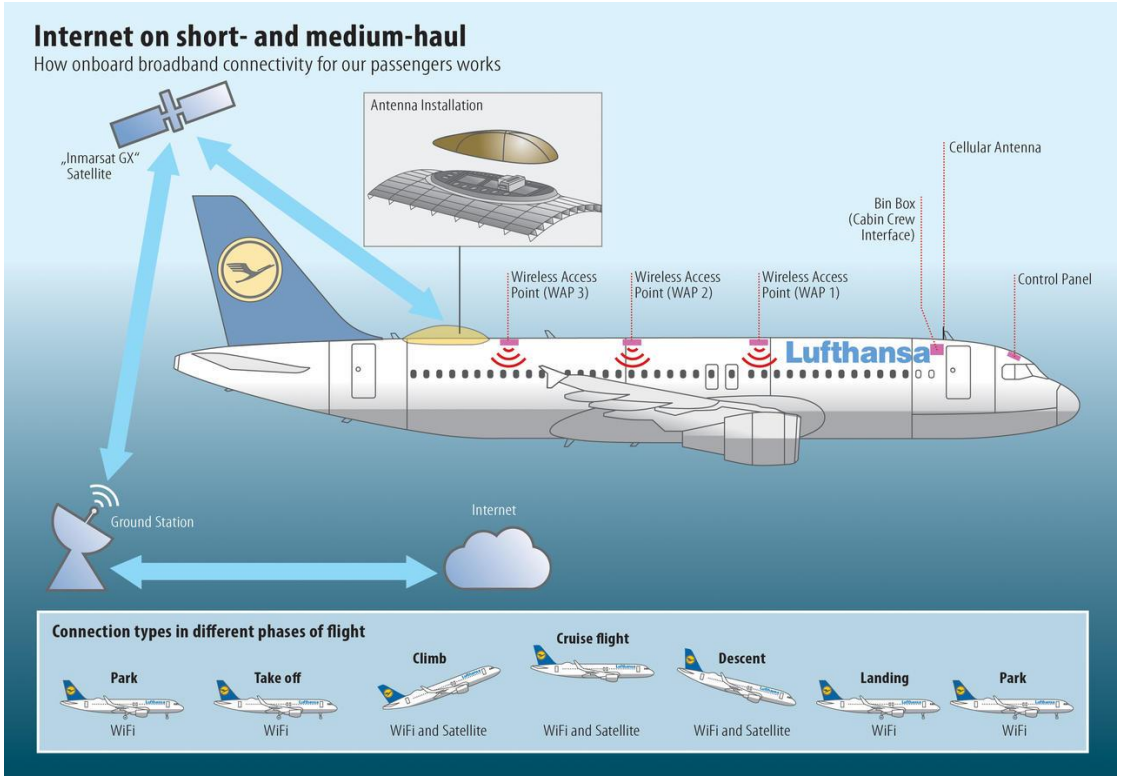


Quelle: Research Gate

Kommunikationskanäle
Satellite Communication

- Inmarsat GX Aviation
  Inflight Broadband





Quelle: Inmarsat, Lufthansa

Kommunikationskanäle
European Aviation Network (EAN)

- Hybrid-Netzwerk von Deutsche Telekom, Inmarsat und Nokia für Breitband-Internet über Europa
- Kombination von LTE-Funk vom Boden aus und Satellitenverbindung
- Datenraten von 75 Mbit/s (Downstream) und 20 Mbit/s (Upstream) pro Flugzeug
- Implementation bei Swiss / Lufthansa ab 2020



Kommunikationskanäle
ADS-Wx

- **ADS-B**: Automatic Dependant Surveillance Broadcast, System der Flugsicherung zur Anzeige der Flugbewegungen im Luftraum (siehe FlightRadar24). Ungerichtet auf 1090 MHz.

- Entwicklungen für ADS-Wx / Mode S Wx

- **Voraussetzung**: ADS-B Out (Flugzeug-Boden), Mode S Meldungen und ADS-B In (Flugzeug-Flugzeug)



Reported Parameter	Range and Resolution	Bits	Reception Range	Update Interval
Static Air Temp	Range: ≤ -68.5 to ≥ 57.5 °C Resolution = 1 °C	1+7	35 NM Air-Air	30 seconds
Mean EDR	Range: 0.00 to > 0.80 $m^{2/3}s^{-1}$ Resolution = 0.01 $m^{2/3}s^{-1}$	1+7	17 NM Air-Air	50 seconds
Peak EDR w/Offset	Range: 0.00 to > 0.80 $m^{2/3}s^{-1}$ Resolution = 0.01 $m^{2/3}s^{-1}$	1+7+3	17 NM Air-Air	50 seconds
Gross Weight	Range: 0 to ≥ 1,415,000 lbs. Resolution = 40 lbs.	11	17 NM Air-Air	50 seconds
Wingspan	Range: 0 to ≥ 400 feet Resolution = 0.1656 to 3.0104 feet	8	17 NM Air-Air	50 seconds
Aircraft Config	Range: 0 to 15 (discrete) Resolution = 1	4	17 NM Air-Air	50 seconds
Ice Status	Range: 0 to 30 (discrete w/ 1 reserved) Resolution = 1	5	17 NM Air-Air	50 seconds

Oben: ADS-B In Traffic im Cockpit / Unten: ADS-WX Format

Wetterinformationen - Morgen
Aircraft Sensor Based vs. Weather Data Uplink

Aircraft Sensor Based

- Wetterradar mit erweiterten Hazard Functions (Lightning, Hail, HAIC)
- Automatische Turbulenzreport

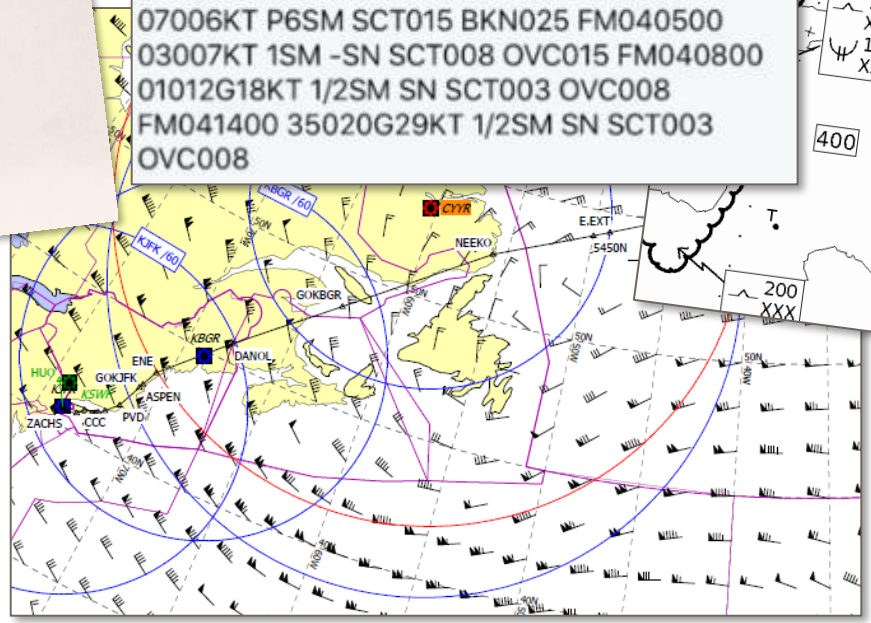
Weather Data Uplink

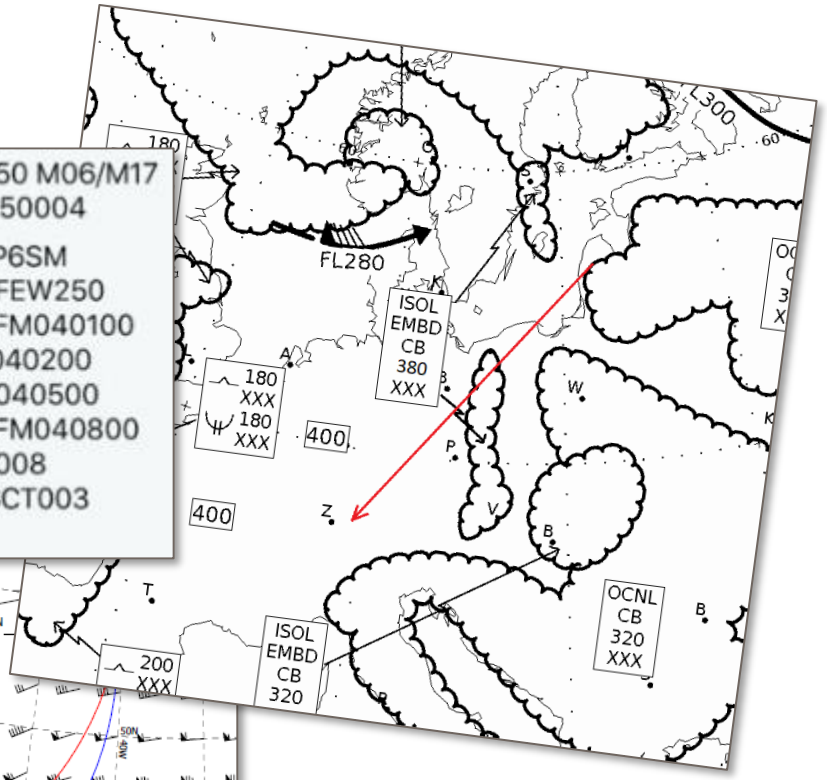
- Connectivity: Satcom / WiFi / ADS-Wx
- Inflight Wetter Applikation auf EFB
- Nowcasting für Gewitter und Turbulenz
- Sensor Fusion

Darstellung von Flugwetter
Klassische Unterlagen 2019





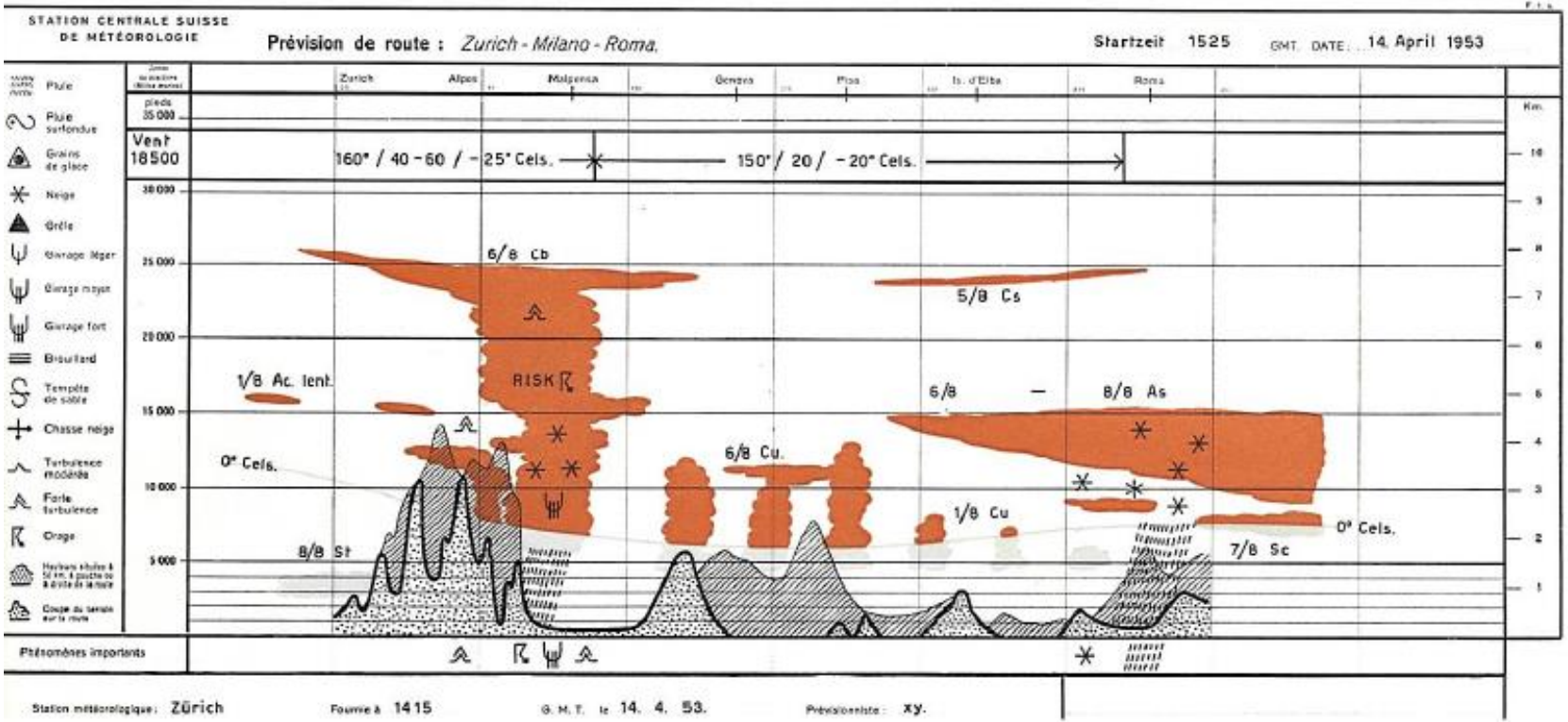




Update: Alle 6 Stunden

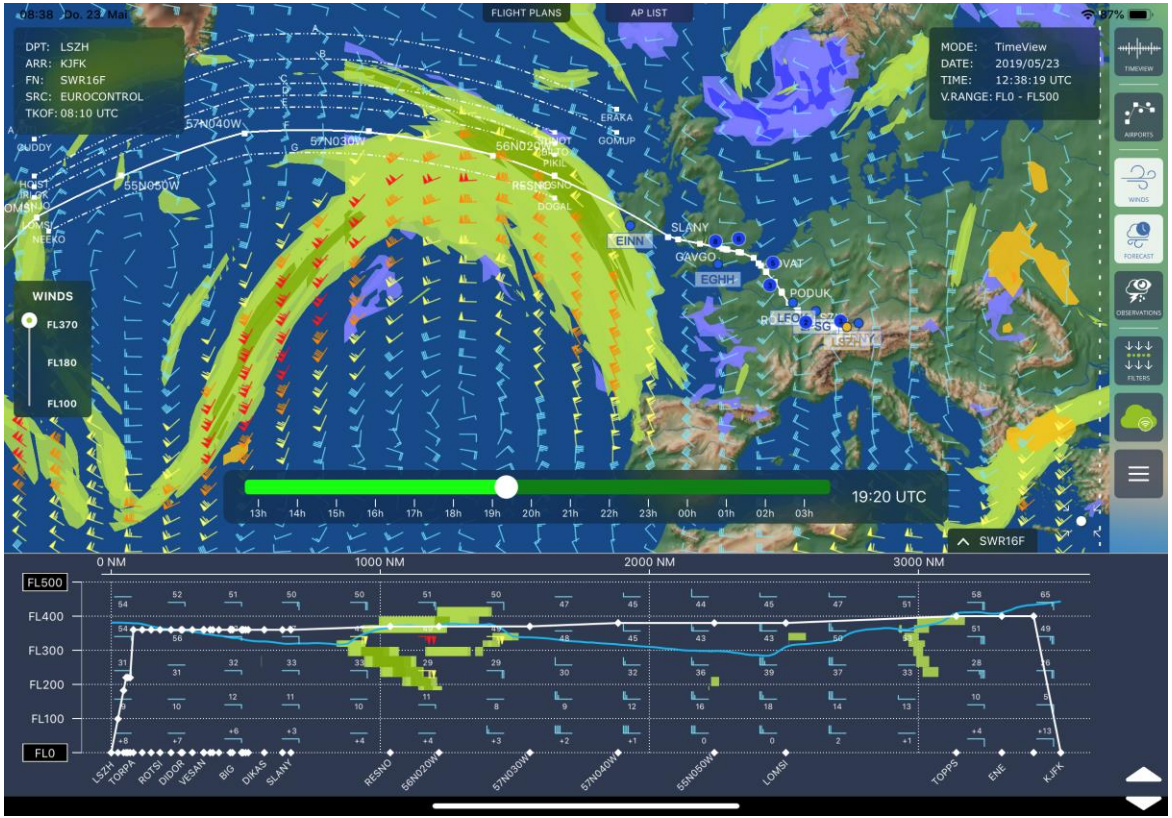
SWISS

Darstellung von Flugwetter
Klassische Unterlagen 1953 – Vertikalprofil (!)

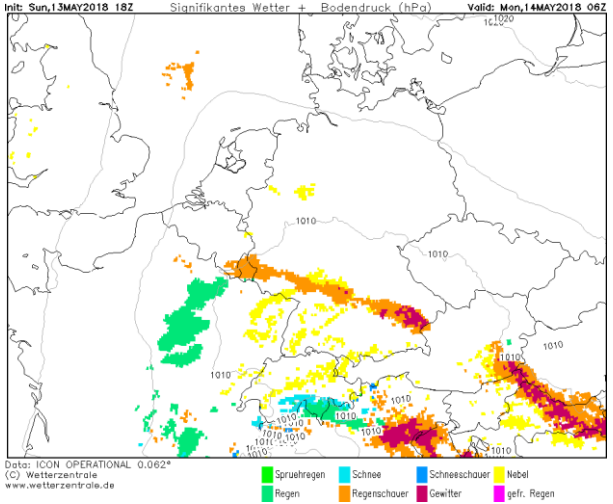


Quelle: Direktion der Öffentlichen Bauten des Kantons Zürich – Bericht ‘Interkontinentaler Flughafen Zürich’, 1953

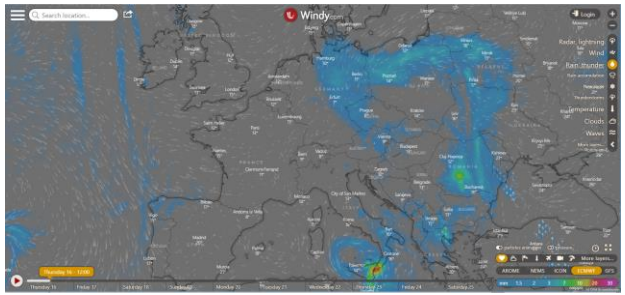
Darstellung von Flugwetter
Moderne Produkte



Quelle: GTD



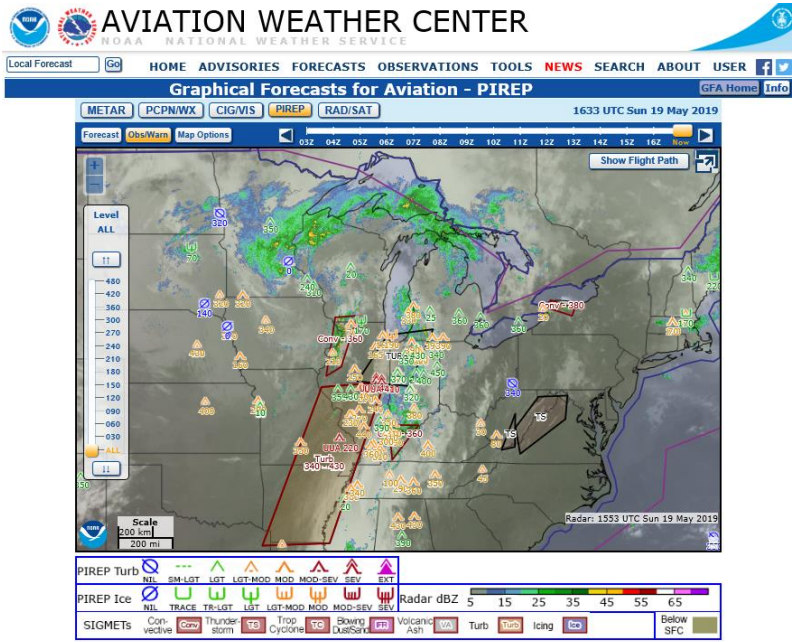
Significant Weather Modell aus ICON, Quelle: DWD

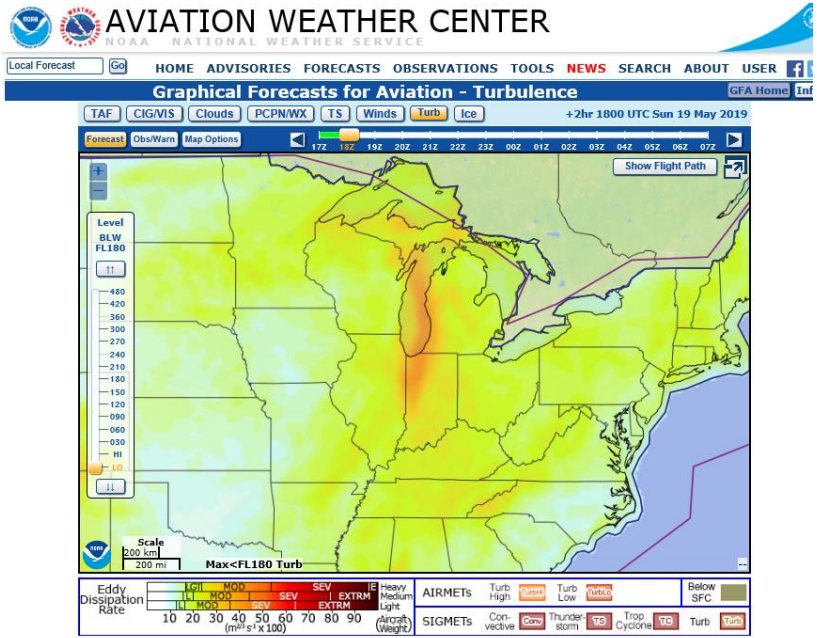


Web-basierte Open Source Lösung mit DWD Daten
Quelle: windy.com

Darstellung von Flugwetter
Moderne Produkte

- NOAA Aviation Weather Center https://www.aviationweather.gov/gfa

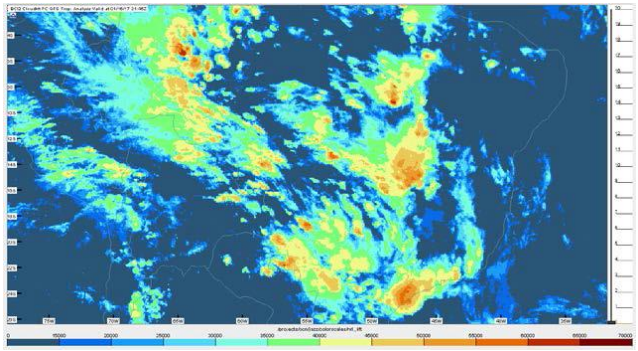


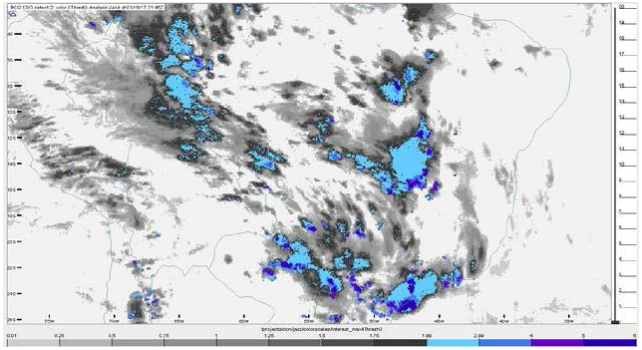


Darstellung von Flugwetter

Moderne Produkte: IFW Nowcasting CTH / CDO von BCI

- **Cloud Top Height (CTH)**: Satelliten-IR-Helligkeitstemperatur, die in Druck umgewandelt wird, durch Vergleich mit dem Global Forecast System (GFS)-Modellsondierung
- **Convective Diagnosis Oceanic (CDO)**: Datenfusion von skalierten und gewichteten Daten
- Auf LIDO eRouteManual, Implementation bei Lufthansa Group Airlines (inkl. Swiss) aktuell angelaufen

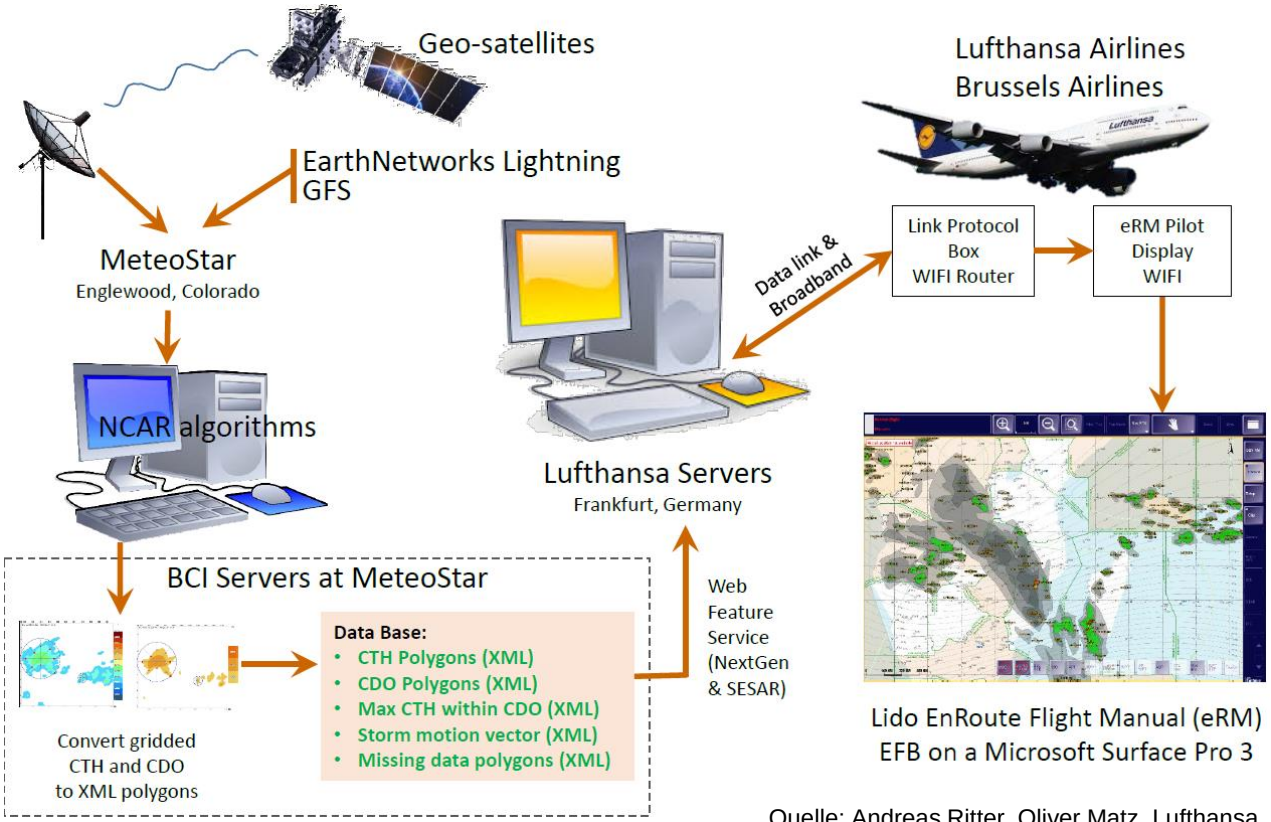


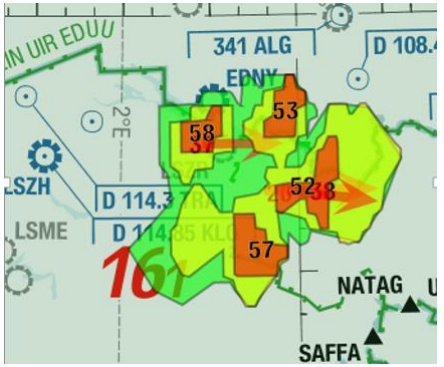


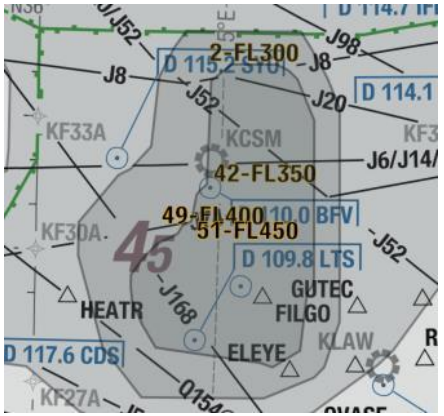
Quelle: Kessinger, C., 2017: An update on the Convective Diagnosis Oceanic algorithm, 18th Conf. Aviation, Range and Aerospace Meteorology, AMS, Seattle, 2017

Darstellung von Flugwetter

Moderne Produkte: IFW Nowcasting CTH / CDO von BCI







Quelle: Andreas Ritter, Oliver Matz, Lufthansa

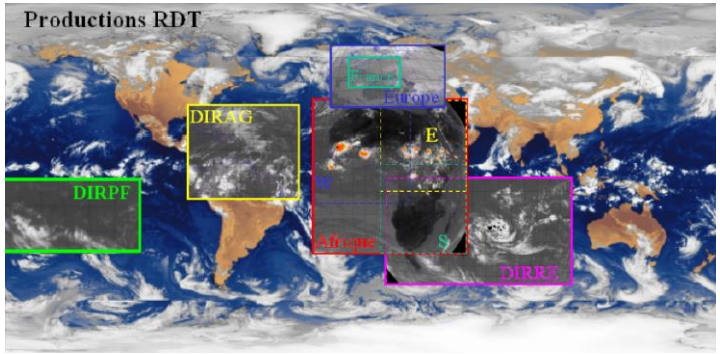
Darstellung von Flugwetter

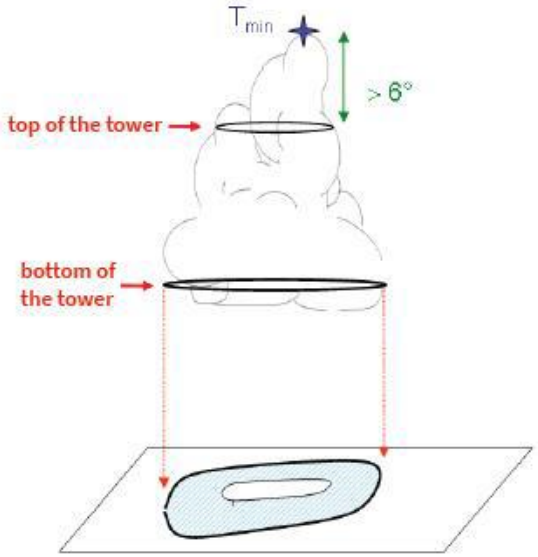
Moderne Produkte: IFW Nowcasting RDT Modell von MF

- **Rapid Developing Thunderstorms (RDT)**, Modell von Météo France. Die Diagnosen basieren auf statistischen Regeln: 1% des Cloud-Systems wird im Durchschnitt in Europa als konvektiv diagnostiziert, 10% in Afrika. RDT-Algorithmen definieren automatisch einen Temperaturschwellenwert

- Verwendung von EUMETSAT Daten, Blitzdaten und NWP Indices

- Abdeckung:



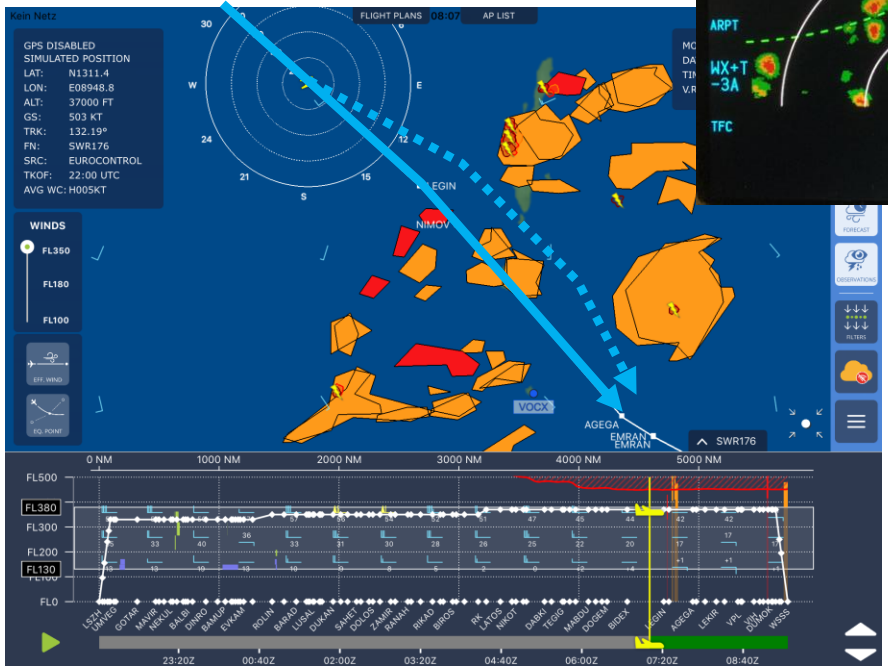


Quelle: Météo France

Darstellung von Flugwetter
Moderne Produkte: RDT

- Vergleich On-Board Radar – RDT auf eWAS
  Swiss-Flug ZRH - SIN, 30. November 2018





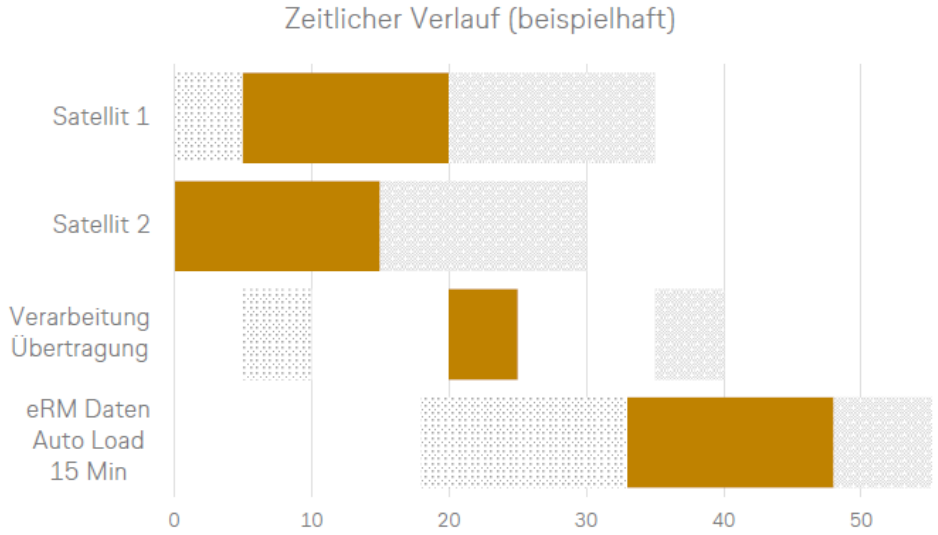


Quelle: Capt. Y. Dissler, Swiss Airlines

Darstellung von Flugwetter
Aktualität und Gültigkeit von Satellitendaten

- Satellit braucht für einen Scan 15 Minuten
- Scanzyklen der Satelliten sind nicht synchron
- Datenverarbeitung 5 Minuten
- Alle 15 Minuten wird ein neuer Datensatz erzeugt
- Automatischer Wetter-Upload im eRouteManuel alle 15 Minuten

→ Daten sind zwischen 5 – 50 Minuten alt





Quelle: Oliver Matz, Lufthansa

Darstellung von Flugwetter
Zukünftige Lösung? Darstellung von Hazard Levels

- Darstellung von Wettermodelldaten…

… oder Abstraktion durch Hazard-Levels





→ **Fernziel**: automatisches Re-Routing

Quelle: Delta Airlines

Das Flugzeug als “Wetterballon”
Übersicht über die Sensoren ‘on-board’

Beispiel A350

1) Ice Detector
2) Multifunction Probe
3) Static Port
4) TAT Probe
5) Side-slip Vane
6) Pitot Probe
7) Angle-of-Attack Vane

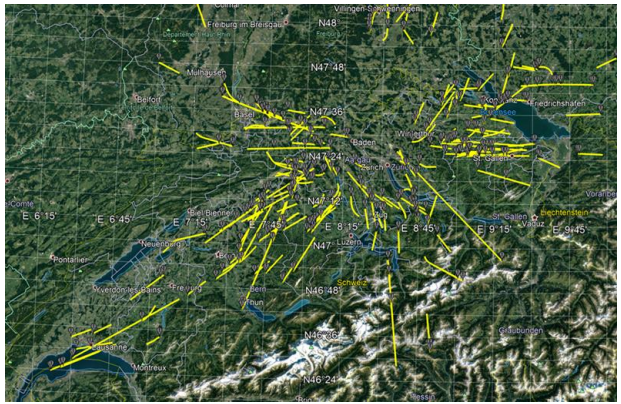




Quelle: Airbus

Das Flugzeug als “Wetterballon”
Skylab / Swiss-Projekt: Ice-Detector Daten

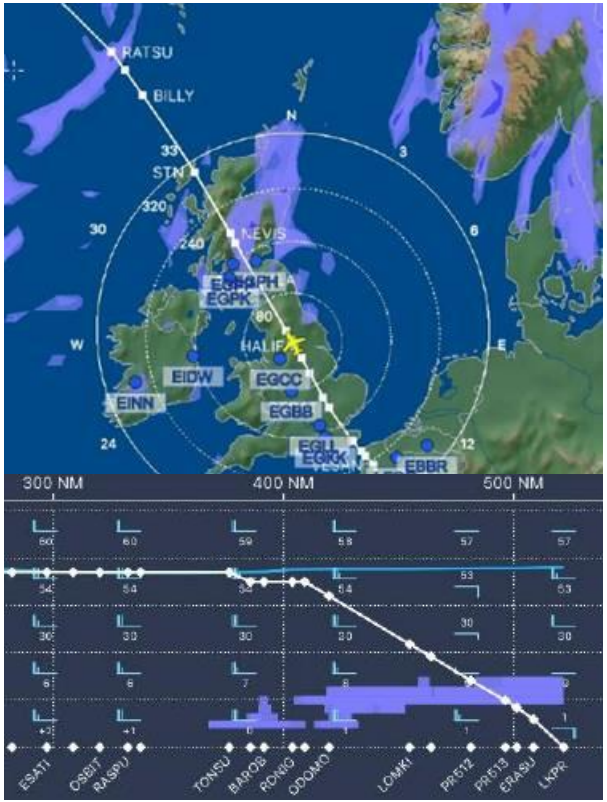
- Icing Sensoren auf A320 und A220
- Mehrjähriges Datenset von Swiss Airline verfügbar
- Masterarbeit 2018/19 ETH Zürich
  «Aircraft Icing – A Serious Threat for Aviation»
- **Ziel: Verbesserung der Icing Prognosen**



Icing Signals Swiss Airlines



Ice Detector auf Airbus A320



Source: GTD

Das Flugzeug als “Wetterballon”
Turbulenzdaten: BV-87 Projekt 2017-039

Förderprojekt der Swiss Skylab Foundation, Ziele:

- Dank Flugdaten ein **besseres wissenschaftliches Verständnis** der Vorgänge in der Atmosphäre über das Spektrum atmosphärischer Luftbewegungen von Mountain Waves bis zu kleinskaligen Turbulenzen fördern.
- Genauere Prognosemodelle von Turbulenz und genauere Kenntnisse über das Auftreten von Leewellen sollen es bereits während der **Flugplanung** erlauben darauf Einfluss zu nehmen um das **Durchfliegen von Gefahrenzonen zu vermeiden**.
- Eine präzisere räumliche Auflösung der Prognose zur Auftretenswahrscheinlichkeit von gefährlicher Turbulenz und **Echtzeitinformation** können sicherstellen, dass während dieser Flugphase **alle Personen im Flugzeug mit Sitzgurten rechtzeitig gesichert werden**.

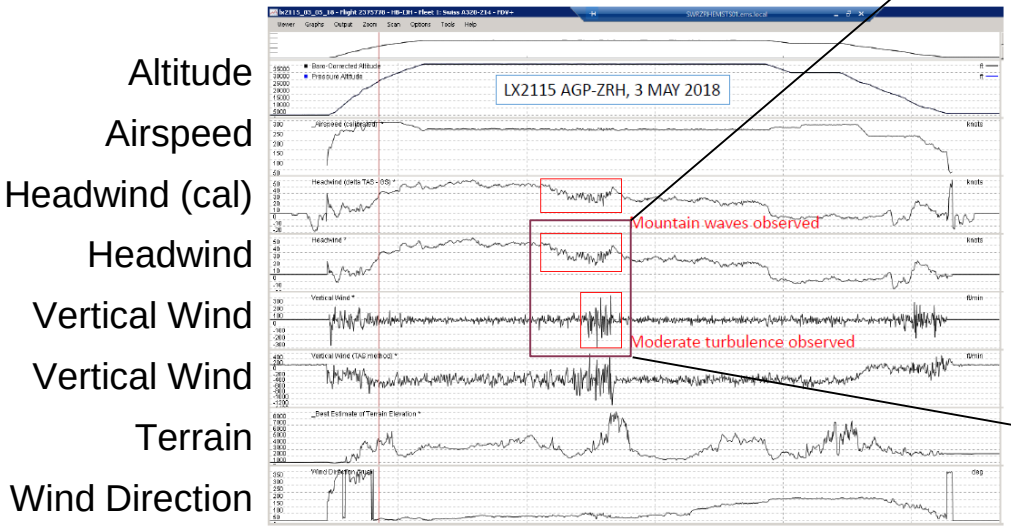
Aviation Turbulence
Herausforderung

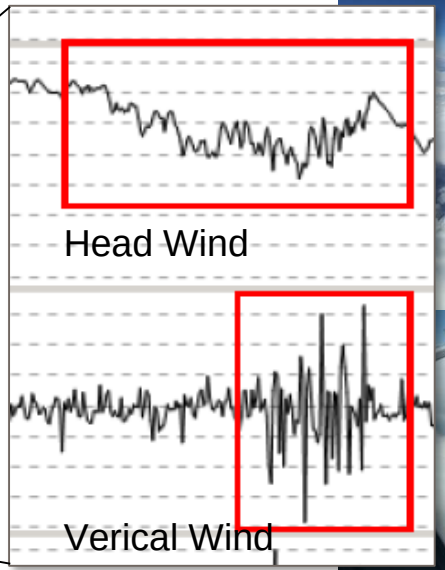
Zitat Robert Sharman (NCAR, Geophys, Res, Lett. 39, 2012)

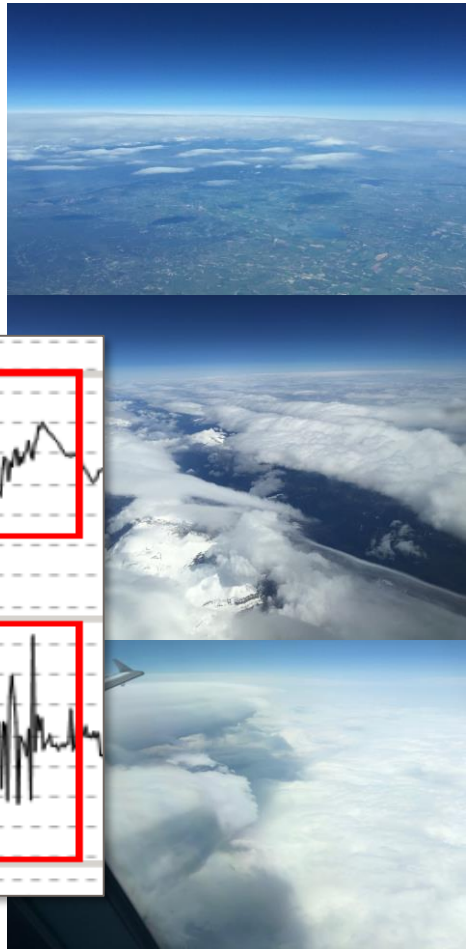
«Turbulence Forecasting remains one of the last great challenges of numerical weather prediction.»

Aviation Turbulence
Beobachtungen und Flugdaten

- Beispiel Malaga - Zürich, 3. Mai 2018
- Leewellen über Pyrenäen und MOD TURB
- Was erkennt man auf den Flugdaten?







Aviation Turbulence
Turbulenzdaten

- Beschleunigungsmessung → **flugzeugspezifisch**
  Beispiel: Turbulence Automated PIREP System (**TAPS**), häufig verwendet in AMDAR
- Derived Equivalent Vertical Gust Velocity (**DEVG**)
- Eddy Dissipation Rate (**EDR**) → **flugzeugunabhängig**
  - Vertikalwind-Methode (NCAR)
  - Airbus-Methode (DLR Algorithmus), 3-Achsen

→ Implementation auf:

- Aircraft Condition Monitoring System (ACMS)
- Electronic Flight Bag (EFB) mittels Aircraft Interface Device (AID)
- Event Management System (EMS) (offline, a posteriori)



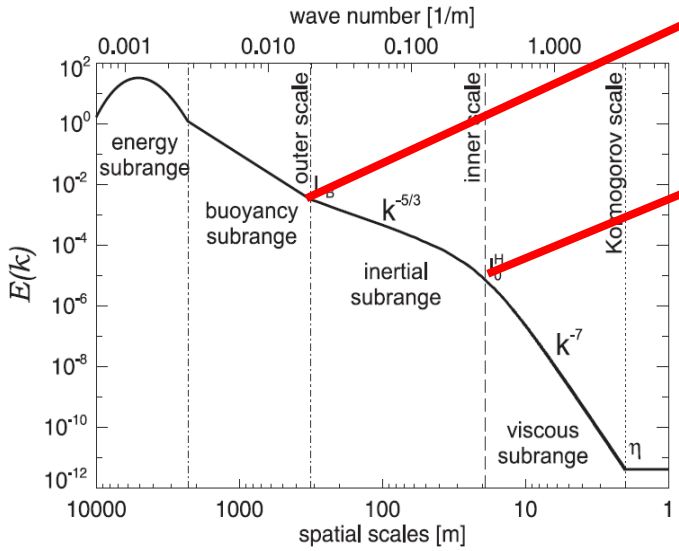




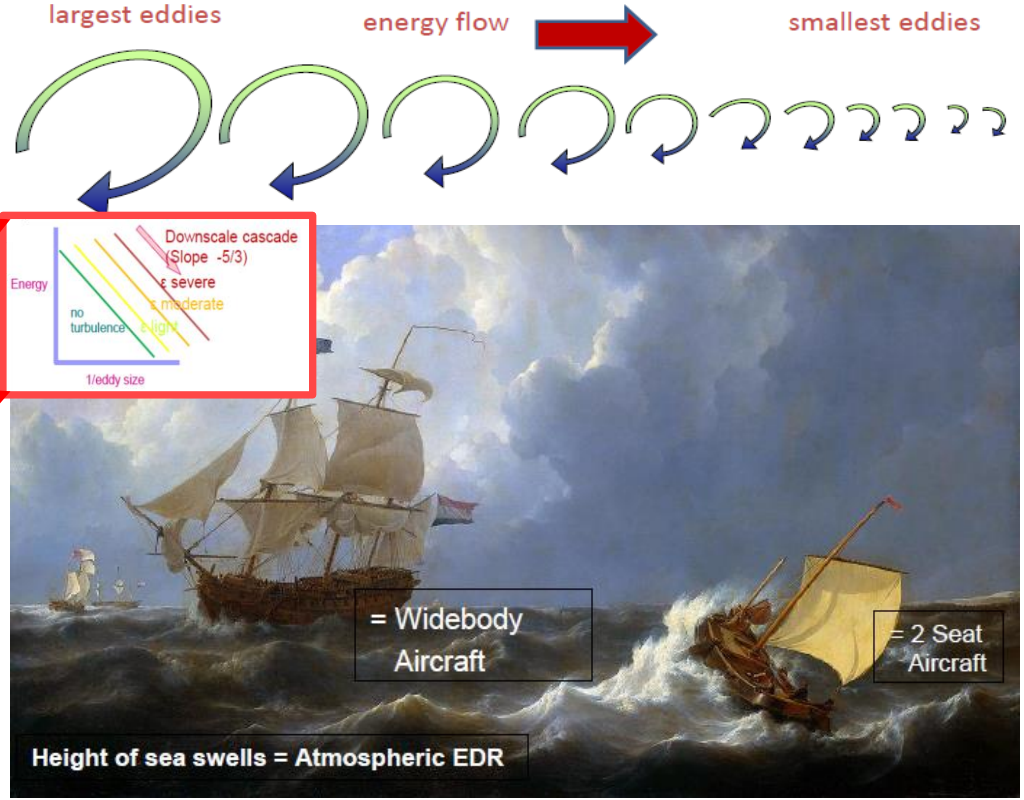
SWISS

Aviation Turbulence
Turbulenzdaten: EDR

- EDR: Vergleich mit dem Wellengang auf See



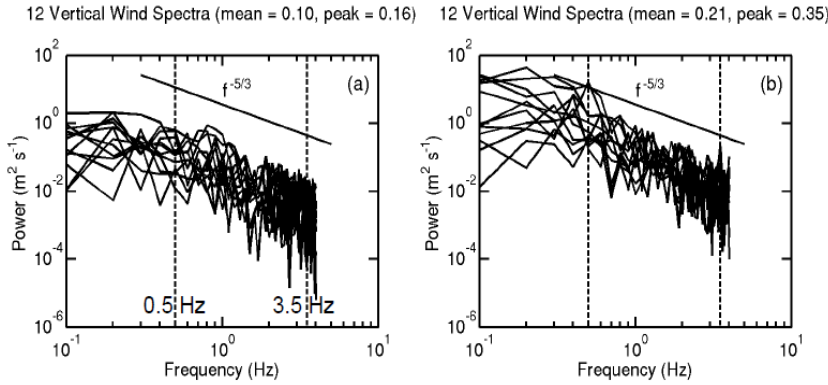
Inertialgebiet von Turbulenz, hier Darstellung für Mesosphäre, Quelle: DLR



Ships on a Stormy Sea by Johannes Christiaan Schotel, 1826.

Aviation Turbulence
Berechnung von EDR

- AMDAR Onboard Software Functional Requirements Specification (Version 1.1, 2 June 2014):
  - *“Nominally, the algorithm calculates EDR ($\varepsilon^{1/3}$) over 10 second windows, every 5 seconds. This provides 12 EDR estimates per minute, from which the actual (confidence weighted) mean and peak of these estimates are used for downlink.”*





Name in Spec	Parameter Name	Minimum Sampling Frequency (Hz)	Units expected by C software
TAS[1]	True Airspeed	8	m/s
AOA1	Indicated Angle of Attack 1	8	deg
AOA2	Indicated Angle of Attack 2	8	deg
PTHR	Pitch Rate	8	deg/sec
PTCH	Pitch	8	deg
ROLL	Roll	8	deg
IVV	Inertial Vertical Velocity	8	m/s

Quelle: Sharman et al (2014) “Description and Derived Climatologies of Automated In Situ Eddy-Dissipation-Rate Reports of Atmospheric Turbulence.”

SWISS

Aviation Turbulence
EDR-Reporting: Event Based und Heartbeat Reports

- **Event Based** EDR Reporting:
  - Type 1 (T1): peak EDR ≥ T1 from the last minute.
  - Type 2 (T2): peak EDR ≥ T2 for at least 3 out of the last 6 minutes.
  - Type 3 (T3): mean EDR ≥ T3 for at least 4 out of the last 6 minutes.

  - Default values for these parameters are:
    - T1 = 0.18 peak EDR
    - T2 = 0.12 peak EDR
    - T3 = 0.06 mean EDR”

- **Heartbeat** EDR Reporting: Auf Swiss Boeing 777 aktuell alle 30 Minuten

```
QU BLVBOCR
.QXSXMXS 291623
DFD
FI BO999/AN N99999
DT QXT AME2 291623 D56A
-  SB0121BA_N99999  EHAMKPAE1
 49825-0674701618 37982-4403070730GX/9W080142
 49715-0675931619 37992-430310074090/9W017040
 49603-0677161620 38004-450307072010YY,012016
 49492-0678371621 37991-460308071010NXW012015
 49381-0679571622 38001-460309072010GMY011013
 49269-0680771623 38002-460313075010IH-012014
```

```
QU BLVBOCR
.QXSXMXS 291622
DFD
FI BO999/AN N99999
DT QXT AME2 291622 D55A
-  SB0122BA_N99999  EHAMKPAE 31
 49379-0679591622 38002-462309073010GMY011013
```


SWISS

Aviation Turbulence
Übermittlung der EDR-Reports: 4D Position

NCAR

- One 4D position for peak & mean EDR. Always at the **end of the observation window**.



Airbus

- Many 4D positions. Given for the peak EDR at the **exact position it occurred**.



Quelle: IATA

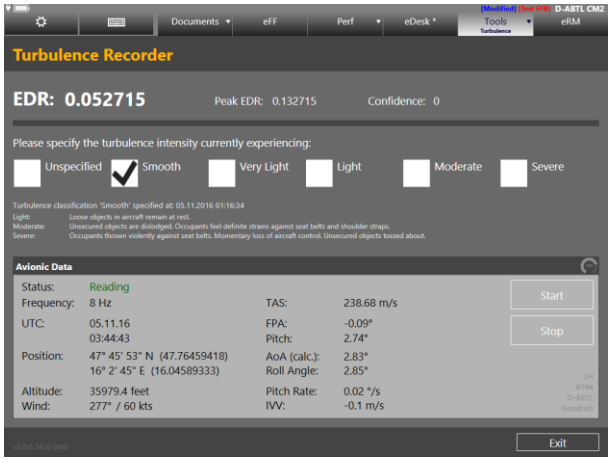
Aviation Turbulence
EDR-Berechnung auf dem Electronic Flight Bag (EFB)

- Voraussetzungen:
  1. Tablet / iPad mit NCAR Software
  2. Aircraft Interface Device
  3. Connectivity



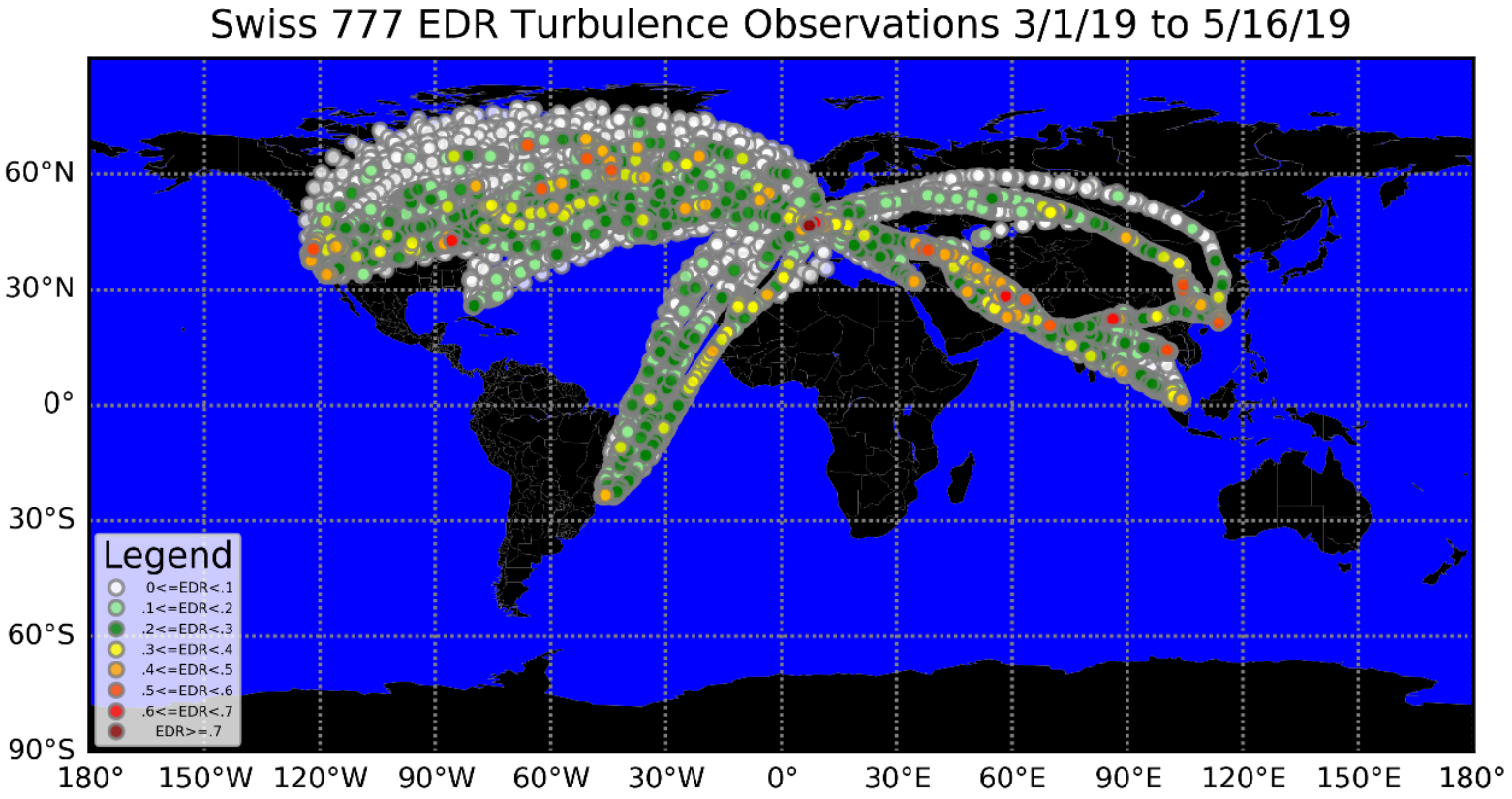


Quelle: NavAero



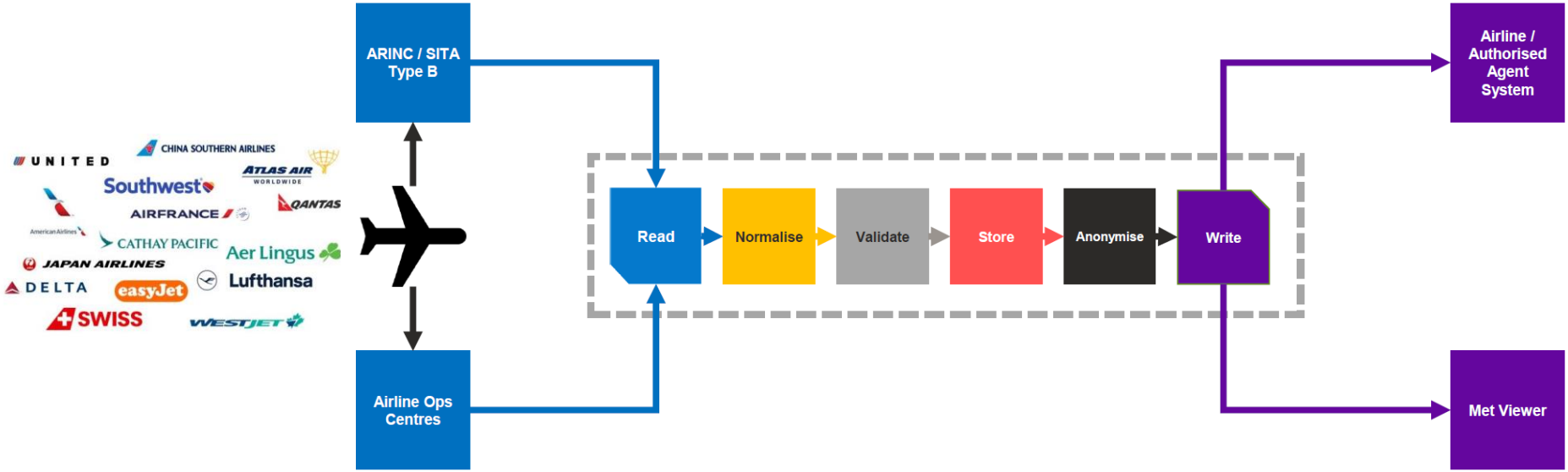
Quelle: Lufthansa, Oliver Matz.

Aviation Turbulence
EDR-Implementation auf Swiss B777



Aviation Turbulence
IATA Turbulence Platform

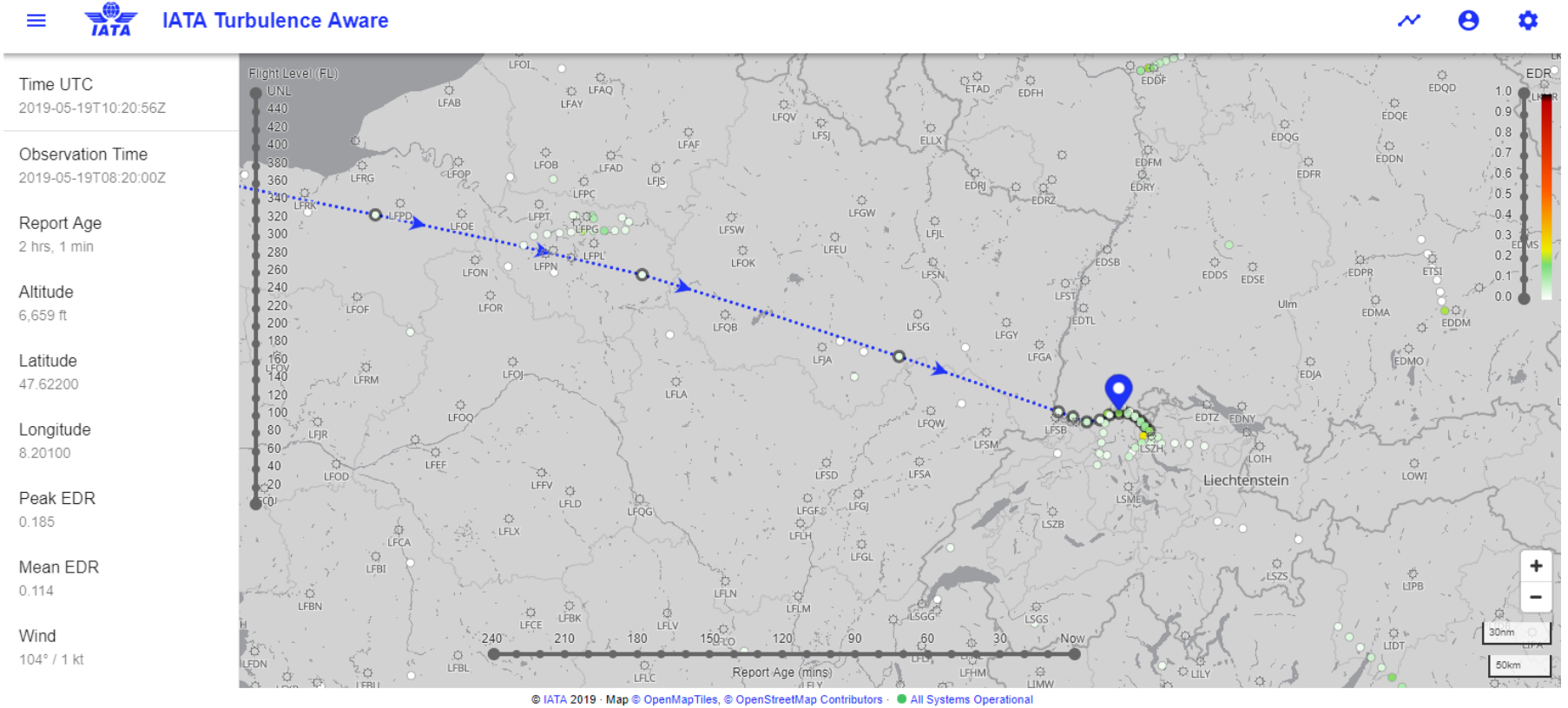
Swiss seit 20. Februar 2019 als weltweit 2. Airline online



Detailed flow diagram of system architecture for IATA Turbulence Aware global turbulence platform. Source: IATA

Aviation Turbulence

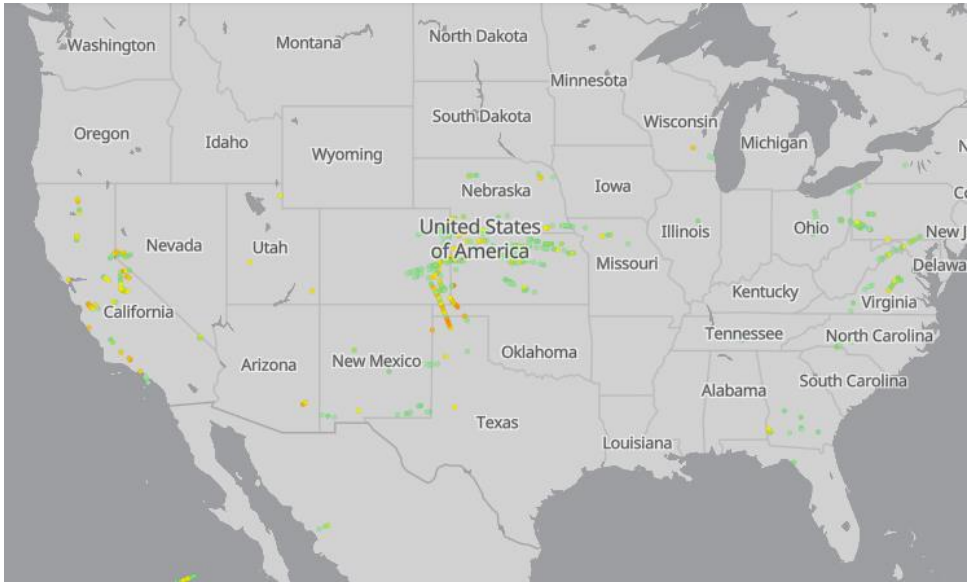
IATA Turbulence Viewer: Live Demo



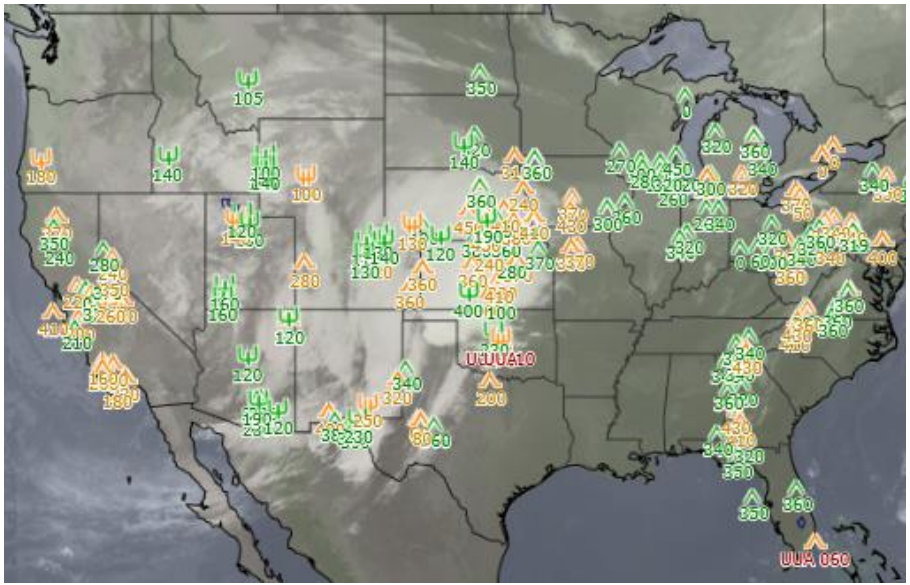
Aviation Turbulence

IATA Turbulence Viewer: Vergleich EDR mit PIREP

EDR (≥ 0.1)



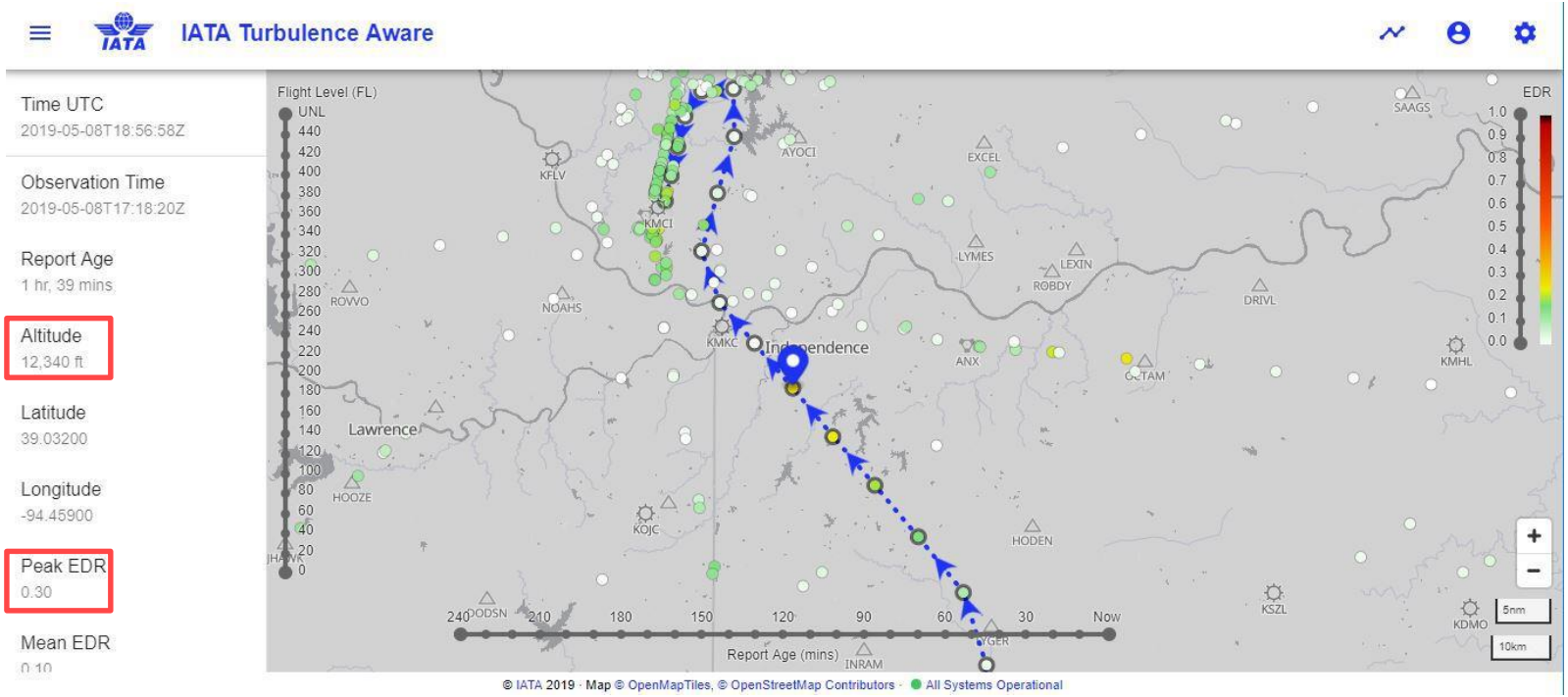
PIREP



20 MAY 2019, 14:30UTC, 4 hours review

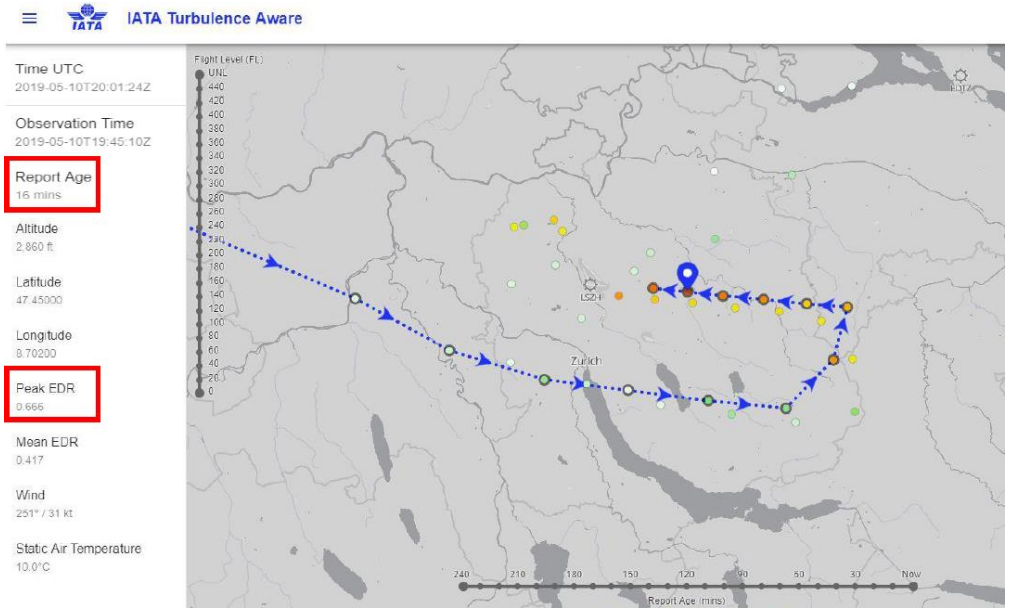
Aviation Turbulence
IATA Turbulence Viewer: Use Case

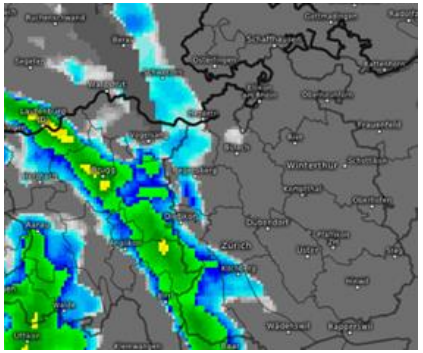
- **Descent Planning für Cabin Security**: Wann sollten alle angeschnallt sein?



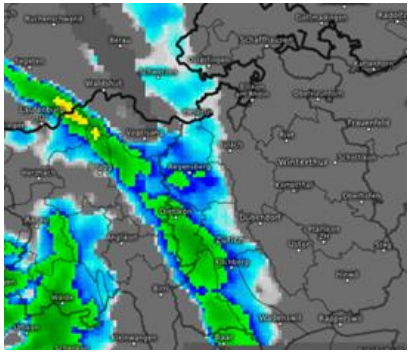
Aviation Turbulence
IATA Turbulence Viewer: Use Case

- **Anflug Zürich** 10. Mai 2019, 19:45 UTC
  Peak EDR 0.66

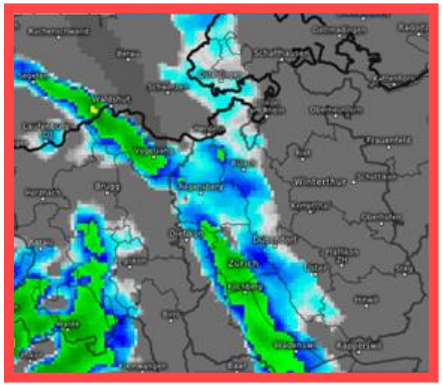




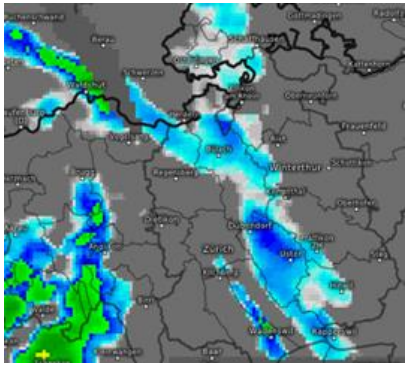
19:35 UTC



19:40UTC



19:45 UTC



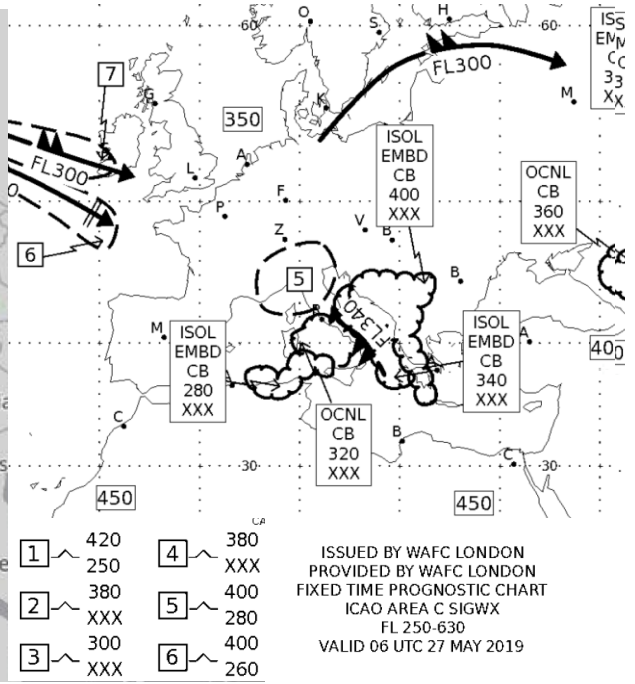
19:50UTC

Quelle: kachelmannwetter.com)

Aviation Turbulence
IATA Turbulence Viewer: Use Case

- **Air France** 27. Mai 2019, 07:45 UTC, Peak EDR 0.59, Übereinstimmung SWC

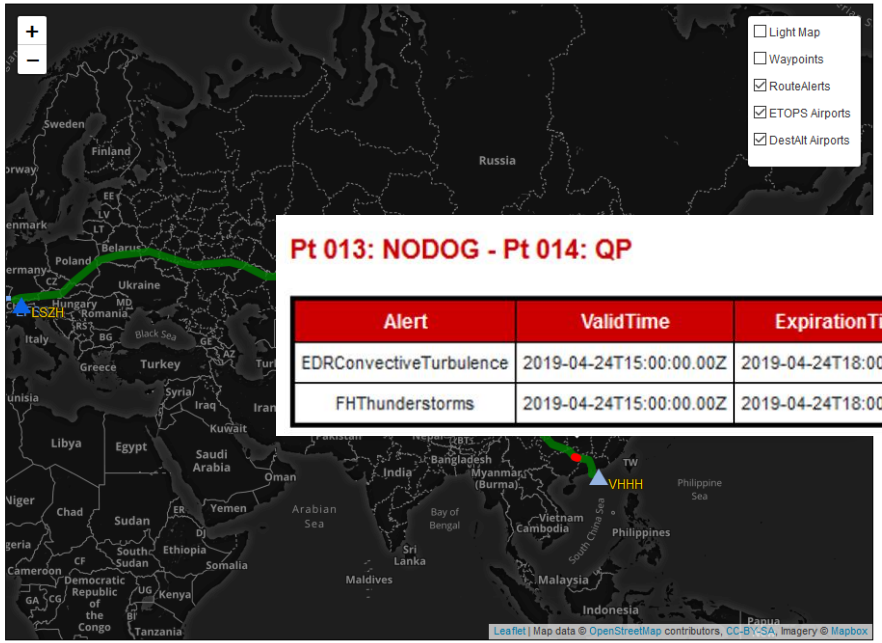




Aviation Turbulence
Swiss Mission Support – Dispatch Alerting

- Master Arbeit Markus Weber – Technische Hochschule Wildau

PROD_SWR139_20190424_VHHH_LSZH



Pt 013: NODOG - Pt 014: QP

Alert	ValidTime	ExpirationTime	EDR	FlightLevel	Top
EDRConvectiveTurbulence	2019-04-24T15:00:00.00Z	2019-04-24T18:00:00.00Z	0.6	FL270	---
FHThunderstorms	2019-04-24T15:00:00.00Z	2019-04-24T18:00:00.00Z	---	---	43000

Airport Alerts:

No Airport Alerts currently.

Route Alerts:

Pt 010: (T/C)16 - Pt 011: YIN

Alert	ValidTime	ExpirationTime
FHThunderstorms	2019-04-24T15:00:00.00Z	2019-04-24T18:00:00.00Z

Pt 011: YIN - Pt 012: VEROK

Alert	ValidTime	ExpirationTime
FHThunderstorms	2019-04-24T15:00:00.00Z	2019-04-24T18:00:00.00Z

Pt 012: VEROK - Pt 013: NODOG

Alert	ValidTime	ExpirationTime
EDRConvectiveTurbulence	2019-04-24T15:00:00.00Z	2019-04-24T18:00:00.00Z
FHThunderstorms	2019-04-24T15:00:00.00Z	2019-04-24T18:00:00.00Z

Pt 013: NODOG - Pt 014: QP

Alert	ValidTime	ExpirationTime
EDRConvectiveTurbulence	2019-04-24T15:00:00.00Z	2019-04-24T18:00:00.00Z
FHThunderstorms	2019-04-24T15:00:00.00Z	2019-04-24T18:00:00.00Z

Pt 014: QP - Pt 015: MAMSI

Alert	ValidTime	ExpirationTime
FHThunderstorms	2019-04-24T15:00:00.00Z	2019-04-24T18:00:00.00Z
EDRConvectiveTurbulence	2019-04-24T15:00:00.00Z	2019-04-24T18:00:00.00Z

Pt 015: MAMSI - Pt 016: SJG

Alert	ValidTime	ExpirationTime

Quelle: Swiss Airlines

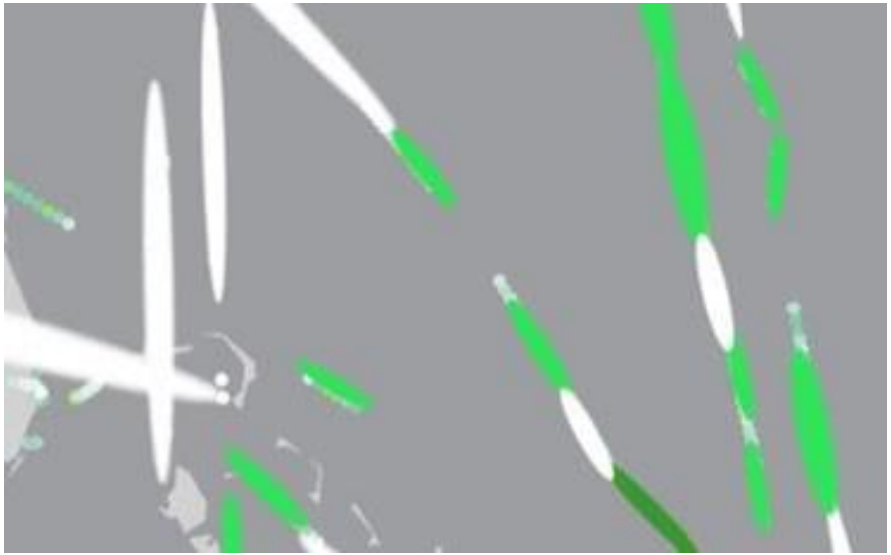
Aviation Turbulence

Use Case: EDR Reports als Ersatz PIREPs inflight

- Gegenwärtig werden von Herstellern von Inflight Wetter-Applikationen verschiedene Darstellungen geprüft von EDR-Reports

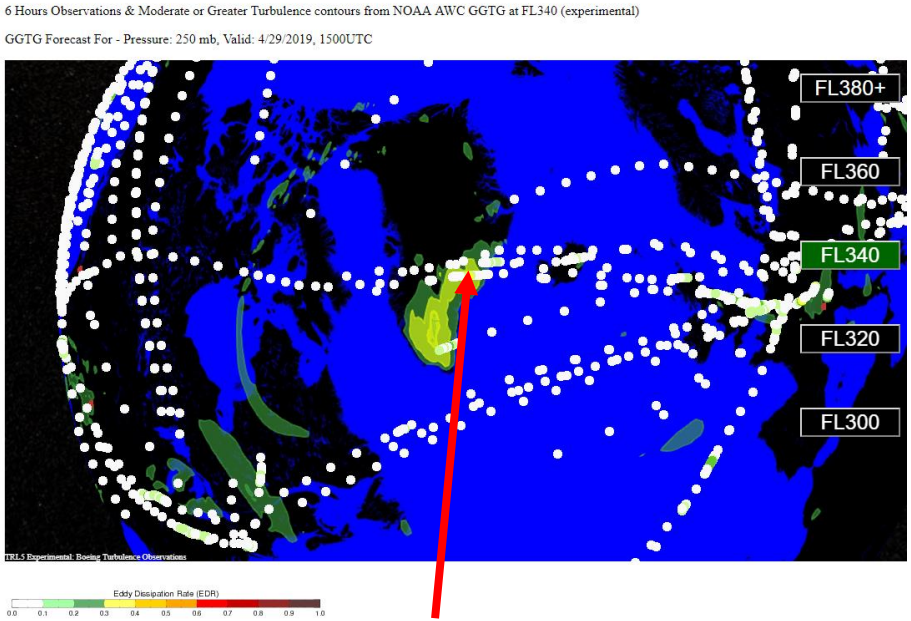


Source: Aer Lingus, Lufthansa Systems



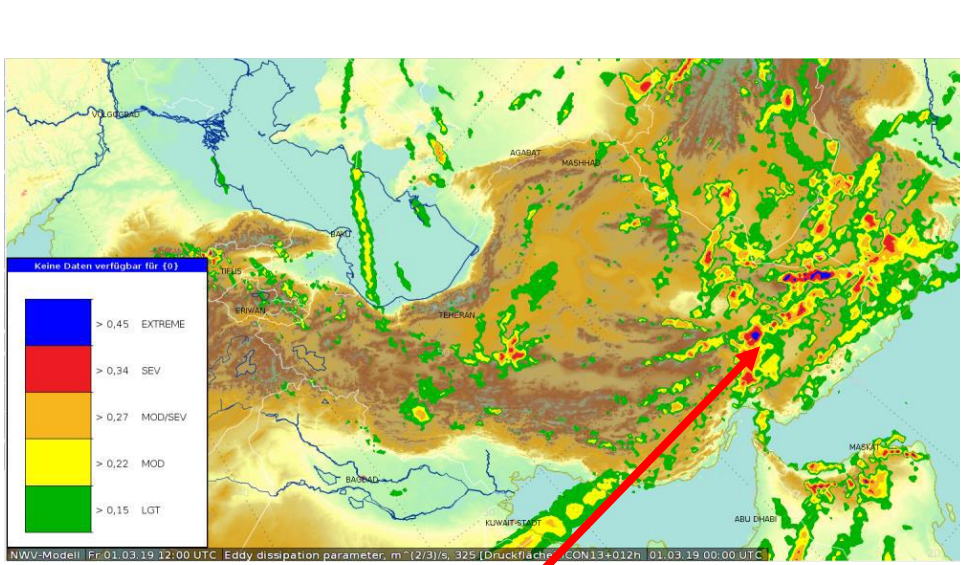
Source: GTD

Aviation Turbulence
Verbesserung Modelle GTG (NCAR) und EDP (DWD)



2 Swiss 777 über Grönland mit MOD und SEV Reports, 29. April 2019

Quelle: Boeing



Swiss 777s über Iran mit SEV Report, 1 March 2019

Quelle: DWD

Aviation Turbulence
Turbulence Nowcasting

- **Aktuell**: Forecasts für '**Strategic Avoidance**'
- Graphical Turbulence Guide (GTG) mit Diagnostics:

  CAT = W_1D_1 + W_2D_2 + W_3D_3 + ….

  MWT= W_1D_1 + W_2D_2 + W_3D_3 + ….

  LLT = W_1D_1 + W_2D_2 + W_3D_3 + ….

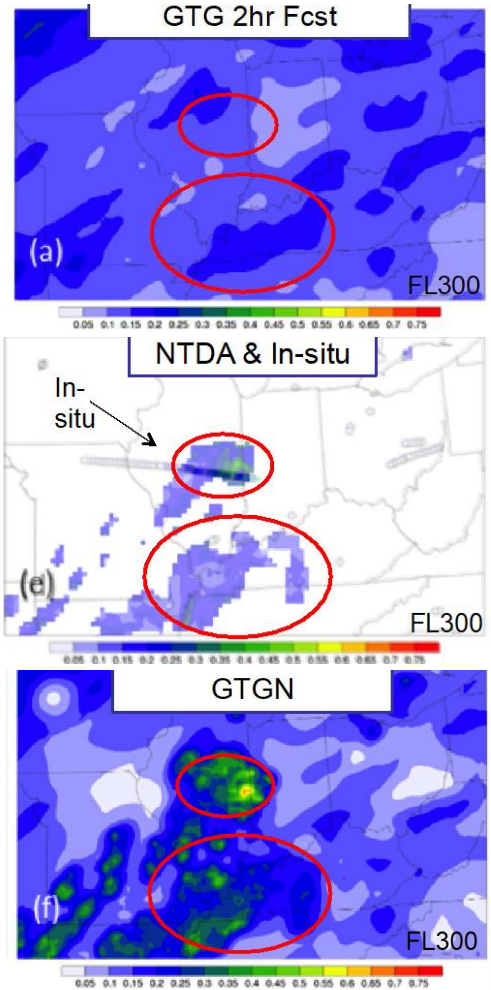
  CIT = W_1D_1 + W_2D_2 + W_3D_3 + ….

  → **GTG=MAX(CAT, MWT, LLT, CIT)**

- Kombination mit Ground Based Radar und Aircraft In-Situ

→ Ein Nowcasting Produkt für '**Tactical Avoidance**'

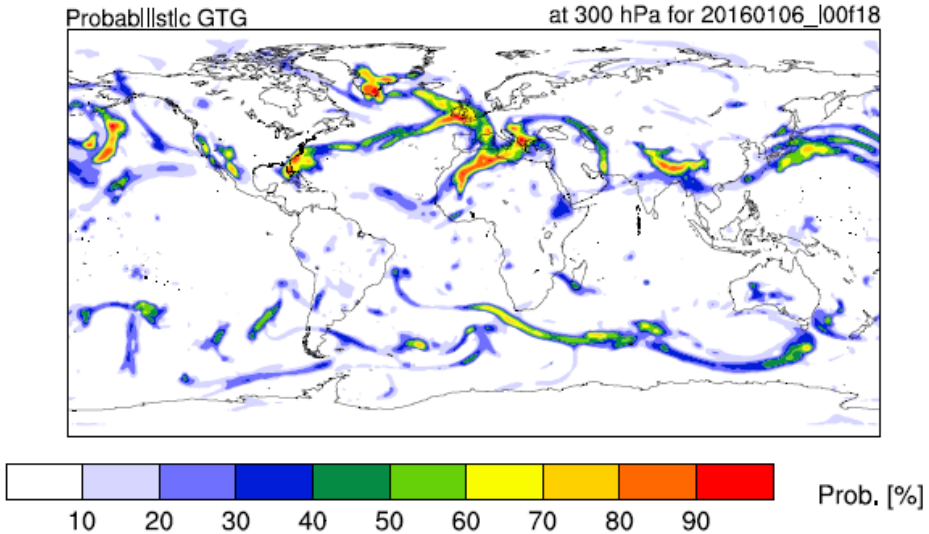
→ GTG-Nowcast (GTGN)



Quelle: NCAR

Aviation Turbulence
WAFS Entwicklungen: Probabilistic Turbulence Forecast

- 2020
  - Turbulence Severity (EDR)
  - Horizontal resolution increased to 0.25 degrees
- 2022
    - Temporal resolution T+6 to T+24 in 1 hour increments
    - Temporal resolution T+27 to T+48 in 3 hour increments
- 2024
    - Probabilistic Severity (EDR) (CAT and MTW > 0.14 EDR)



Source: WAFC

Wetterinformationen aus Sicht der EASA

Strategie-Papier

Aussagen EASA:

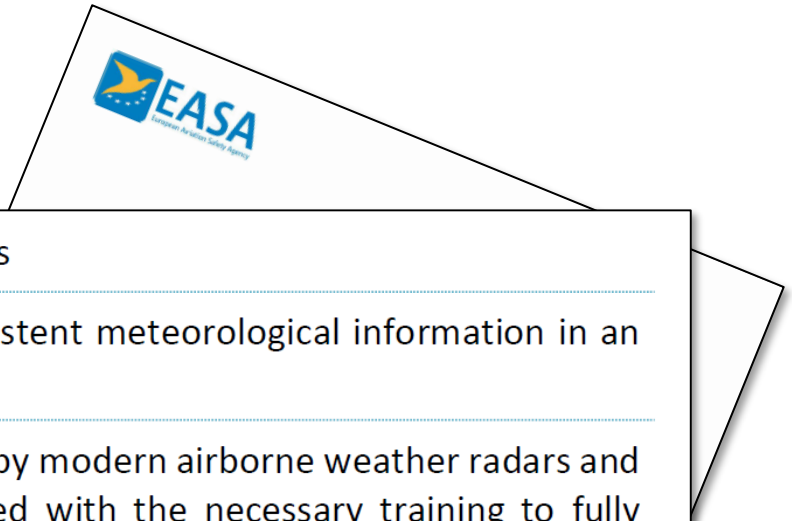
1. Neue, deutlich bessere Prognosen stehen zur Verfügung.
2. Verbesserung der on-board Sensoren.
3. Die benötigten Kommunikationskanäle existieren.
4. Entsprechende Tools zur Darstellung existieren.



→ **Einführung moderner Technologien mit Fokus auf Sicherheit und Effizienz.**

Wetterinformationen aus Sicht der EASA

Strategie-Papier



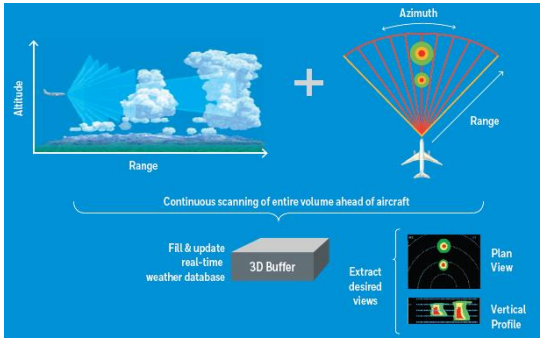
Who	Flight crew members of European operators
What	to use timely, accurate, relevant and consistent meteorological information in an easy to access, easy to interpret format
How	provided during flight briefing and in-flight by modern airborne weather radars and uplinked weather information, underpinned with the necessary training to fully understand and interpret this information
For	for flight-planning and in-flight strategic and tactical decisions covering each phase of the flight
When	Actions proposed to commence 2018, with main deliverables by 2020.

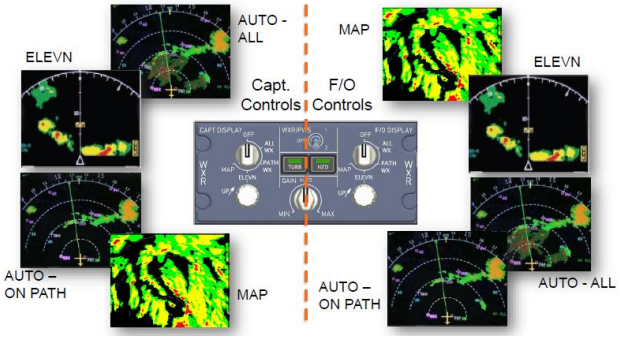
SWISS

Zukünftige Lösungen

Neues Wetterradar auf A320neo: RDR-4000 Hazard V2.0

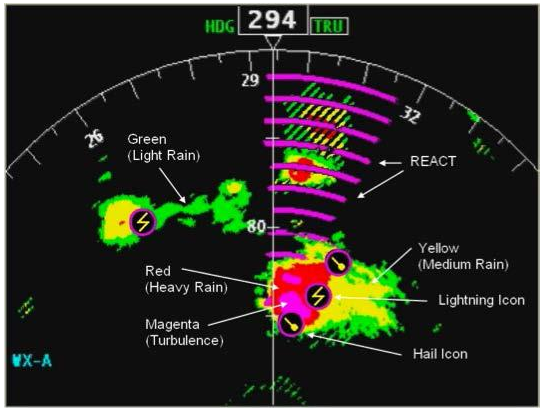
- 3D-Buffer anstelle Tilt-Based
- Path Weather
- Hazard Level Function
  - Rain Echo Attenuation Compensation Technique (REACT)
  - Hail and Lightning Prediction
  - Weather Alerting





Quelle: Honeywell

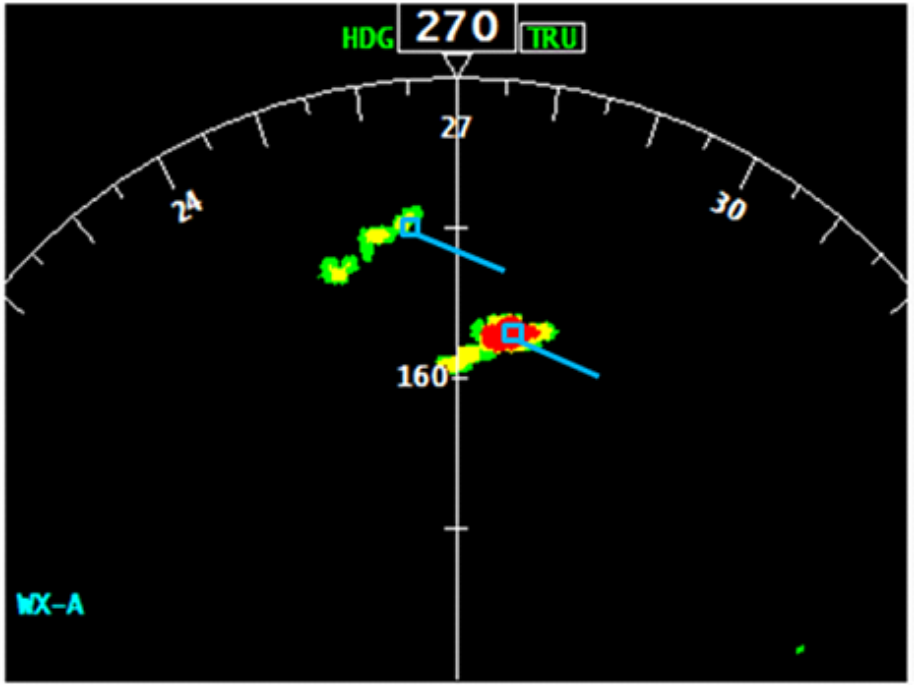




Quelle: Honeywell

Zukünftige Lösungen
Verfolgung der Bewegung von Gewitterzellen

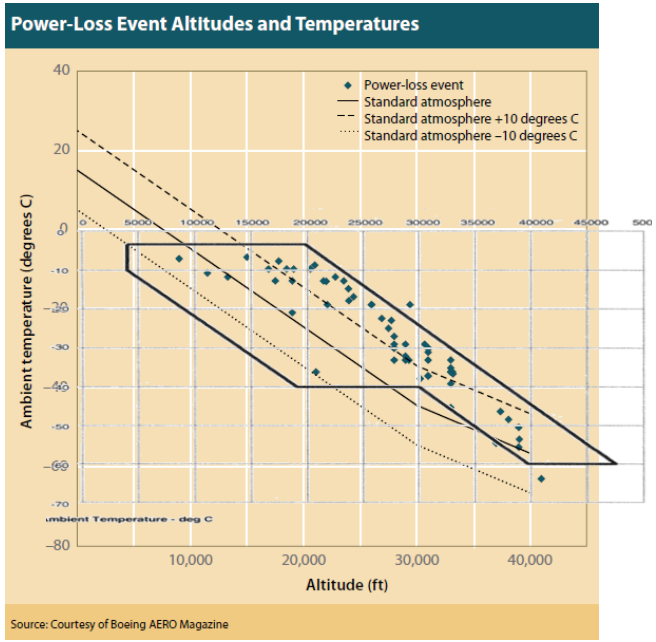
- Vorhersage über die Bewegung von Gewitterzellen

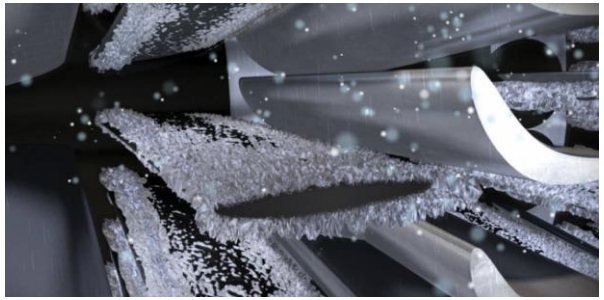


Quelle: Honeywell

Zukünftige Lösungen
High Altitude Ice Crystal Icing

- Zahlreiche Vorkommnisse, die auf Eiskristalle zurückzuführen sind: Engine Power Loss, Damage…
- **These**: Eiskristalle bilden Eis auf warmer Oberfläche im Inneren des Kompressors. Irgendwann bricht das Eis ab, was dazu führt, dass das Triebwerk überhitzt, blockiert, abstellt oder eine andere Fehlfunktion aufzeigt.
- → EASA Entscheid 2015/008/R: Neuer Zulassungsbestimmung im Anhang P in CS-25*:
  - Appendix P: Mixed Phase and Ice Crystal Icing Conditions



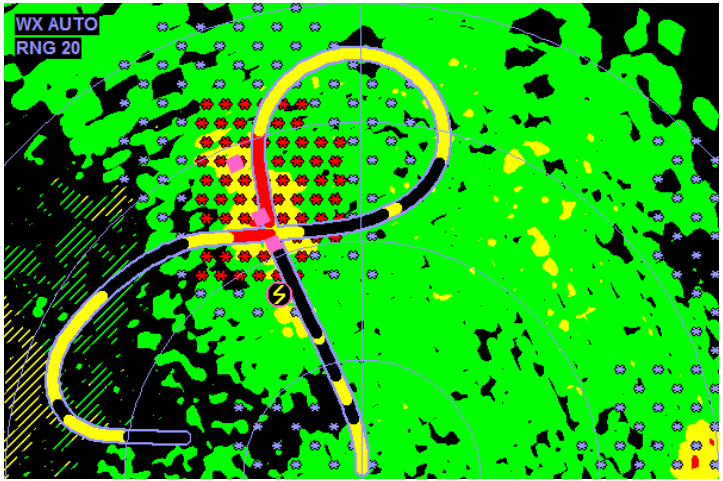


Quelle: NASA

*Certification Specifications for Large Aeroplanes

Zukünftige Lösungen
High Altitude Ice Crystal Icing

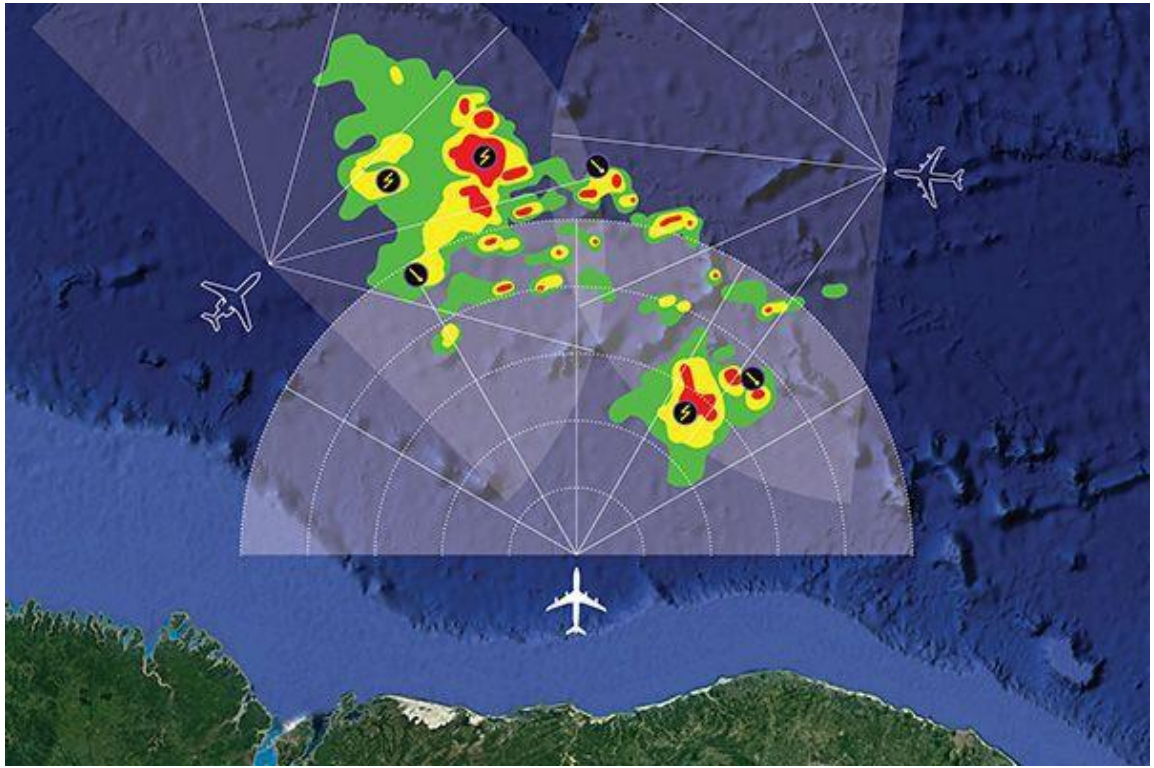
- Forschungsprojekt HAIC mit mehreren Partnern.
- **Ziel**: Umweltbedingungen von Eiskristallen zu charakterisieren identifizieren, Flugbetrieb durch Entwicklung geeigneter Erkennungs- und Sensibilisierungstechnologien für Flugzeuge zu verbessern.
- **Methode**: Regressionsalgorithmus basierend auf Analyse der Wetterprofils und Radardaten



Quelle: Honeywell

Zukünftige Lösungen
Weather Display Fusion

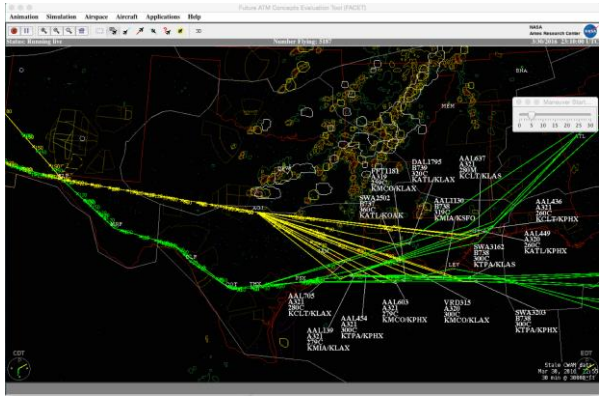
- Zusammenführung von mehreren Wetterradar-Quelldaten

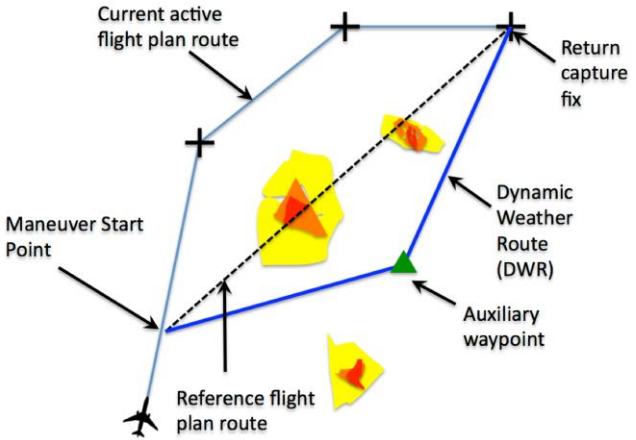


Source: Honeywell

Zukünftige Lösungen
Dynamic Weather Routes (DWR) Tool

- NASA Forschungsprojekt
- Konvektives Wetter, wie z.B. heftige Gewitteraktivität, ist die Hauptursache für Verzögerungen im U.S. Luftraum.
- DWR analysiert kontinuierlich und automatisch Flugzeuge während dem Flug im Luftraum, um Anpassungen der Flugplanroute mittels vorgewählter Wettervermeidungsrouten durchzuführen.





Quelle: NASA

Zukunft & Perspektiven der Flugmeteorologie
Diskussion und Fragen



Thank you

