

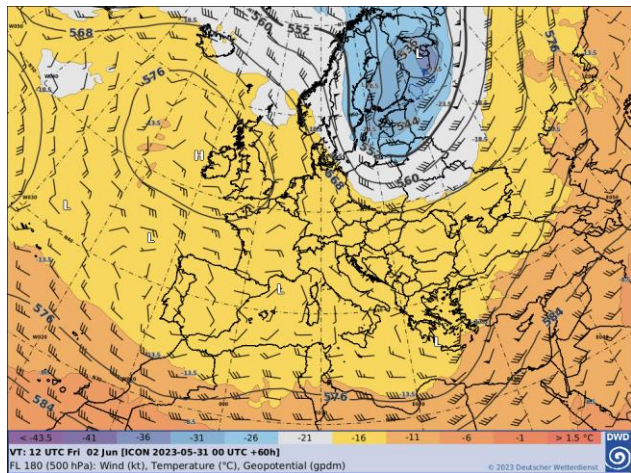
Wie funktioniert
numerische
Wettervorhersage?

Wie nutzt man das
Kartenmaterial?



Grundsätzlicher Ablauf

1. Anfangszustand möglichst genau bestimmen
2. Wettermodell vom Großrechner berechnen lassen
3. Postprozessing (nicht Teil des Vortrags)

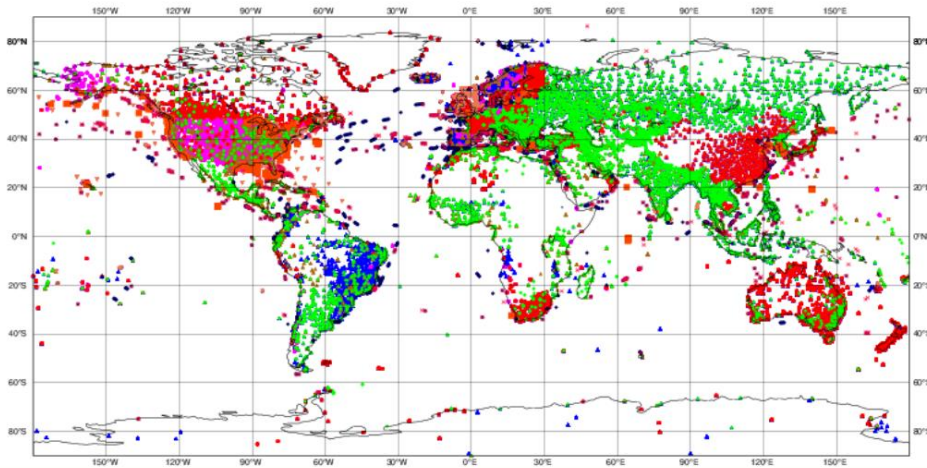


1. Anfangszustand muss möglichst genau bestimmt werden

➔ Möglichst viele Daten (=Messwerte) sammeln

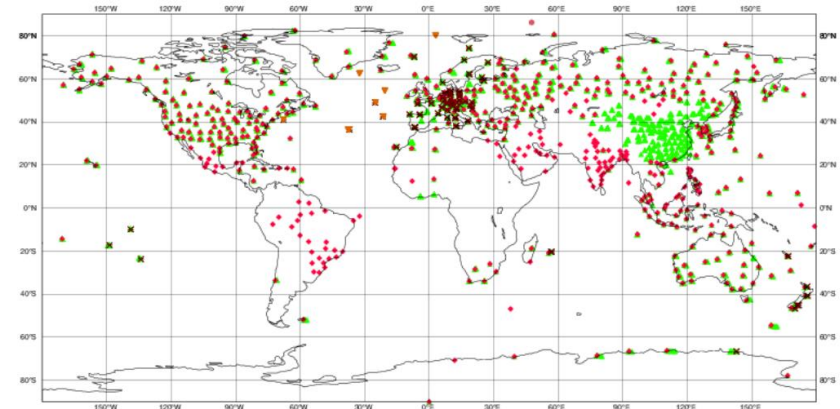
ECMWF data coverage (all observations) - SYNOP-SHIP-METAR
2023053121 to 2023060103
Total number of obs = 257711

Automatic Land SYNOP (15764) Manual Land SYNOP (8779) METAR (17385) Automatic SHIP (3400)
SHIP (1277) Abbreviated SHIP (328) Automatic METAR (37377) BUFR SHIP SYNOP (4309)
BUFR LAND SYNOP (169092)



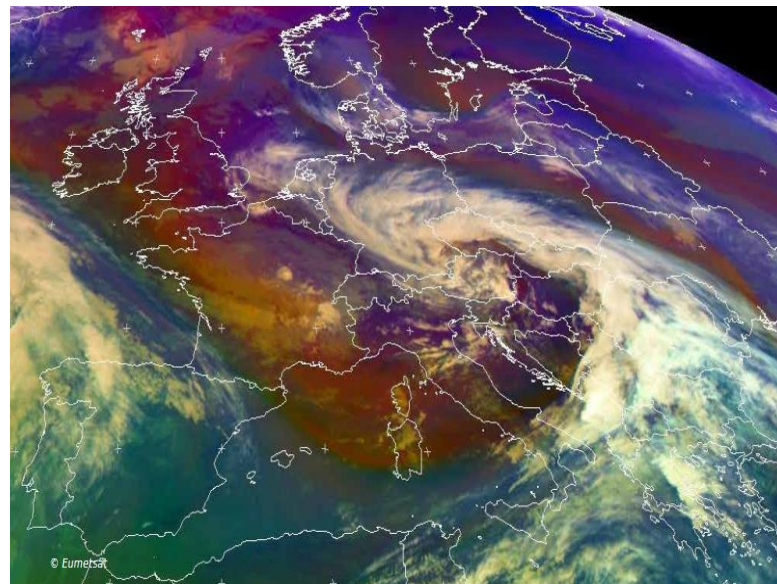
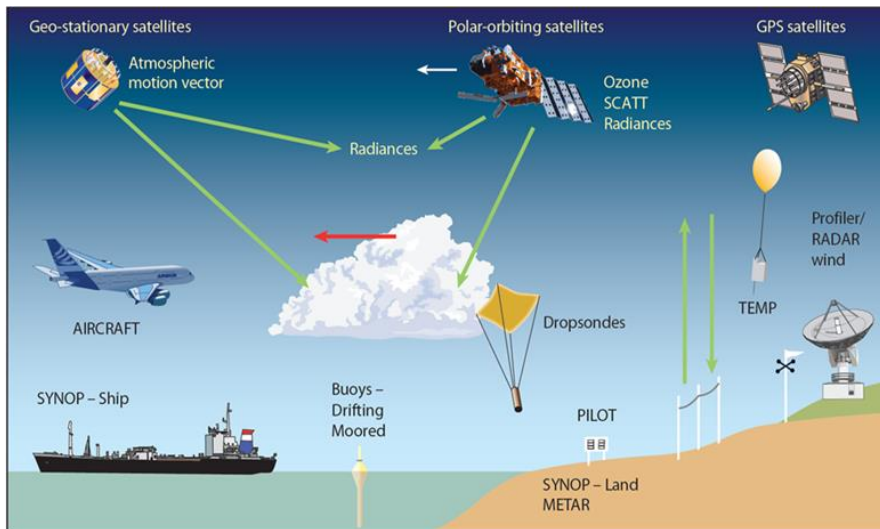
ECMWF data coverage (all observations) - RADIOSONDE
2023053121 to 2023060103
Total number of obs = 1120

TEMP SHIP (1) Land TEMP (526) High Reso land (532) High Reso sea (7)
BUFR TEMP DESCENT (54)



1. Anfangszustand bestimmen

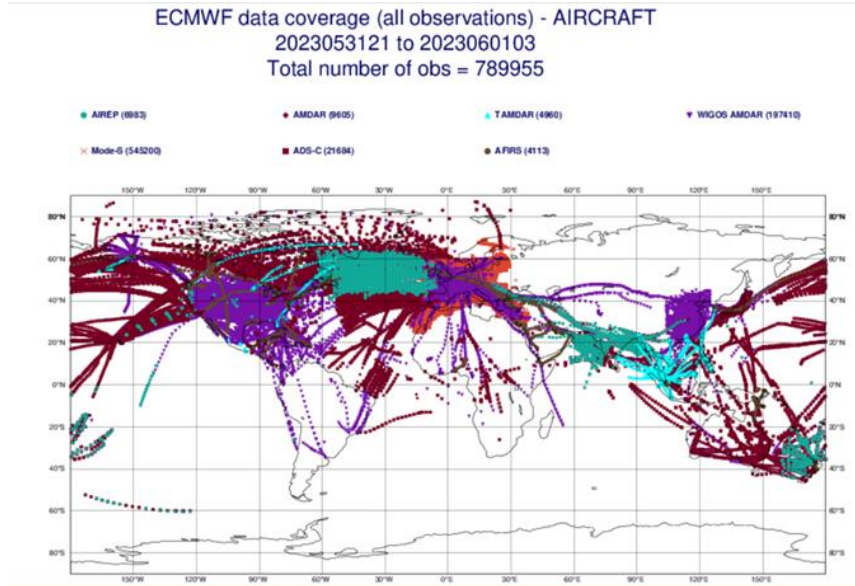
- ➔ Überwiegender Anteil der im Wettermodell einfließenden Daten von Satelliten (geostationäre und polarumlaufende)
 - ➔ Über Strahlungsmessungen Rückschlüsse auf Wolkenbedeckung / -art, Temperatur- und Feuchteverteilung etc.
- 
- A satellite image of Earth showing cloud cover and temperature/humidity distribution. The image is a false-color composite where different colors represent different atmospheric data. Darker colors (blues and purples) likely represent lower temperatures or lower humidity, while lighter colors (whites and yellows) represent higher temperatures or higher humidity. The image shows a portion of the Earth's surface, including landmasses and oceans, with a prominent cloud cover over the central part of the frame.



1. Anfangszustand bestimmen

Probleme:

- Abdeckung (räumlich und zeitlich)
- Messfehler
- Anfangszustand ist selbst bereits eine Berechnung



© Rosalie Heinen, Friedrich Verlag

2. Modellvorhersage berechnen

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla u - \frac{uv}{a} \tan \varphi - fv &= -\frac{1}{\rho a \cos \varphi} \left(\frac{\partial p'}{\partial \lambda} + \frac{J_\lambda}{\sqrt{G}} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_u \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla v + \frac{u^2}{a} \tan \varphi + fu &= -\frac{1}{\rho a} \left(\frac{\partial p'}{\partial \varphi} + \frac{J_\varphi}{\sqrt{G}} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} \right) + M_v \\ \frac{\partial w}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla w &= \frac{1}{\rho \sqrt{G}} \frac{\partial p'}{\partial \zeta} + B + M_w \\ \frac{\partial p'}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla p' - g \rho_0 w &= -(c_{pd}/c_{vd}) p D \\ \frac{\partial T}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla T &= -\frac{p}{\rho c_{vd}} D + Q_T \\ \frac{\partial q^v}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla q^v &= -(S^c + S^i + S^r + S^s) + M_{q^v} \\ \frac{\partial q^c}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla q^c &= S^c + M_{q^c} \\ \frac{\partial q^i}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla q^i &= S^i + M_{q^i} \\ \frac{\partial q^r}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla q^r &= -\frac{1}{\rho \sqrt{G}} \frac{\partial P_r}{\partial \zeta} + S^r + M_{q^r} \\ \frac{\partial q^s}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla q^s &= -\frac{1}{\rho \sqrt{G}} \frac{\partial P_s}{\partial \zeta} + S^s + M_{q^s}\end{aligned}$$

Physikalische Zusammenhänge
sind bekannt und mathematisch
eindeutig darstellbar,

Aber....

Nicht einfach mathematisch lösbar!
(und teilweise nur in vereinfachter
Form in den Modellen vorhanden)

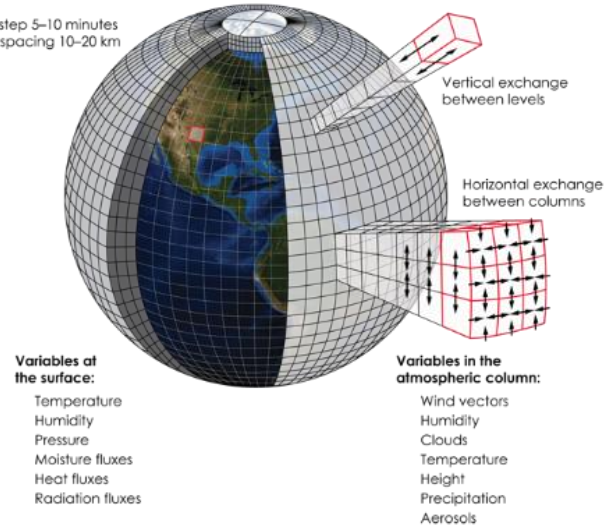
2. Modellvorhersage berechnen

Probleme:

- Anfangsfehler setzen sich fort, breiten sich aus und werden „größer“
- Berechnung an Gitterpunkten (statt überall)
- Gleichungssystem näherungsweise lösen
- Rechnergeschwindigkeit und Speicherplatz
- ...

Weather forecast modeling

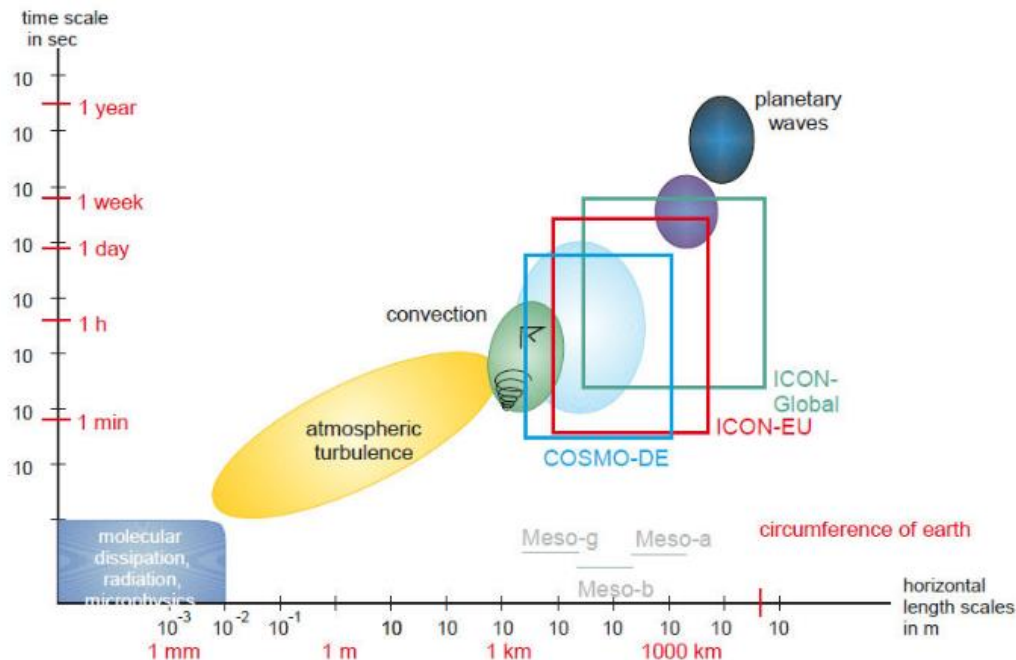
Timestep 5–10 minutes
Grid spacing 10–20 km



K.Cantner, American Geosciences Institute

2. Modellvorhersage berechnen

➔ Zwingender (mathematischer) Zusammenhang zwischen räumlichem und zeitlichem Abstand!



Je kleiner das Wetterphänomen, desto kleiner müssen Gitterabstände und Zeitschritte sein.

Wolkenuntergrenzen und Sichtweiten setzen gut aufgelöste Modelle voraus, wo sich Fehler stark/schnell fortsetzen.

➔ Auflösung eines Wettermodells = Gitterpunktsabstand

	ICON-EU	(ICON-) D2
Gitterpunktsabstand	6,5 km	2,1 km
Räumliche Abdeckung	„Europa“	Deutschland + angrenzender Bereich
Zeitliche Abdeckung	Alle 6h neuer Lauf mit +120h Vorhersagezeitraum	Alle 3h neuer Lauf mit +48h Vorhersagezeitraum
Gewitter parametrisiert?	ja	nein

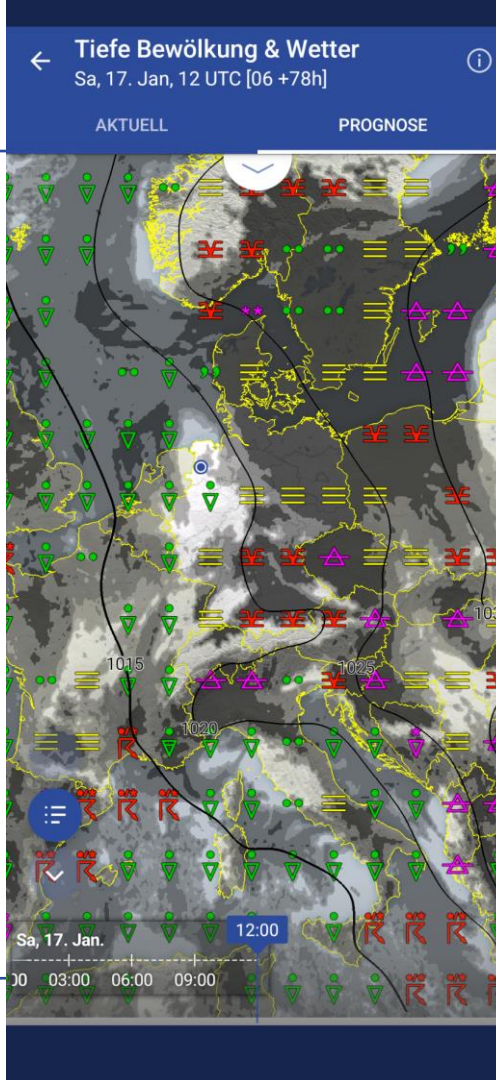


EZMW/IFS: 9 km

GFS: 9 km* (in den meisten Apps vorhanden, weil kostenfrei, *aber teilweise schlechter aufgelöst als 9 km)

- ➔ Numerische Wettervorhersage ist komplex
- ➔ Es liegt nicht nur am imperfekten Anfangszustand, dass die Wettervorhersage fehlerhaft ist, aber es macht viel aus.
- ➔ Dazu kommen „Modellfehler“ (v.a. Vereinfachungen) und Fehlerfortpflanzung
- ➔ Die numerische Wettervorhersage bringt heutzutage großartige Ergebnisse!
- ➔ Wenn man eine gewisse räumliche und zeitliche Unschärfe einplant.

Vorhersage von Mi 14.01 für Sa 17.01 um 12 UTC



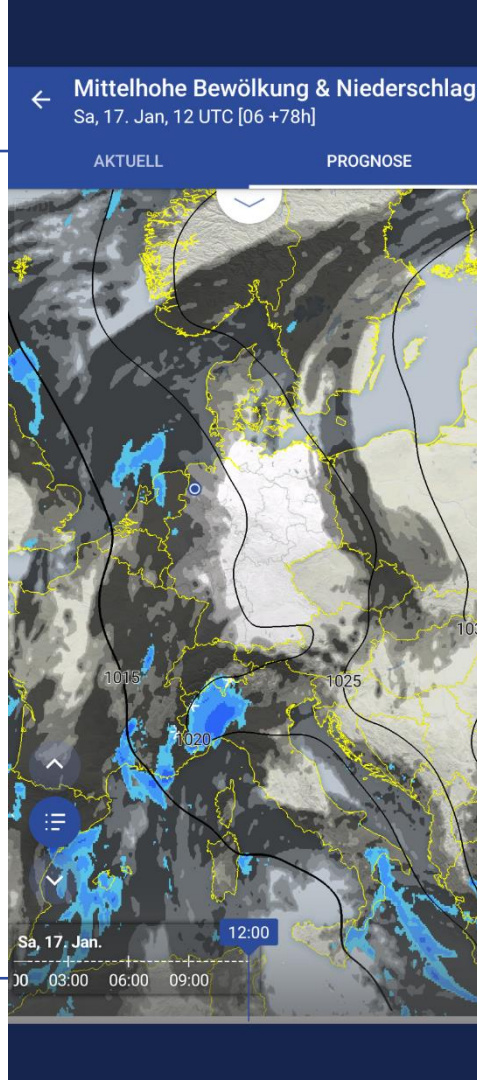
Was ist zu sehen:

- Schwarze Linien = Bodendruckverteilung
- Graue Fläche = tiefe Wolken
- Symbole = Wettererscheinungen

Wichtig:

- tiefe Wolken: zwischen Boden und FL060! => keine Informationen über Unter- oder Obergrenzen
- Gut für grobe Übersicht/Vorplanung

Vorhersage von Mi 14.01 für Sa 17.01 um 12 UTC



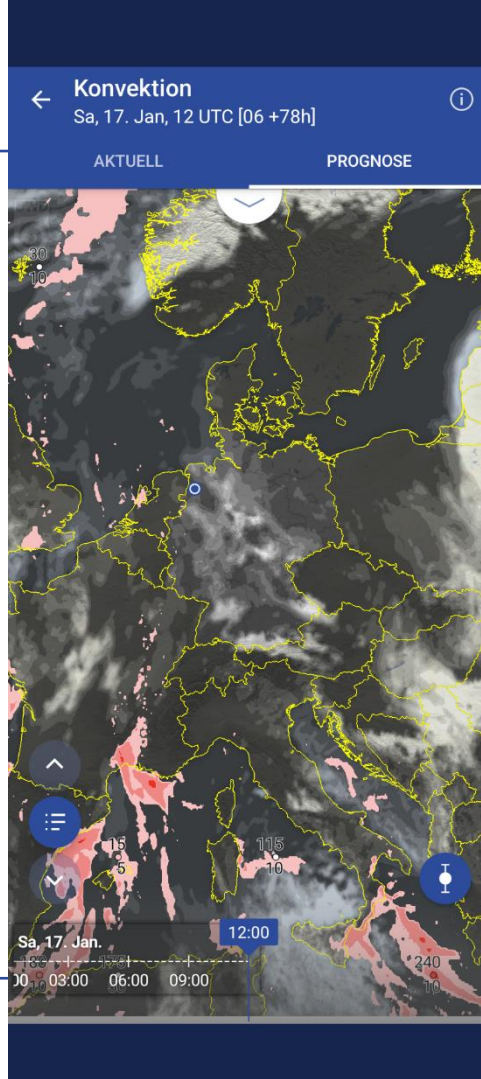
Was ist zu sehen:

- Schwarze Linien = Bodendruckverteilung
- Graue Fläche = mittelhohe Wolken
- Blaue Flächen = 6h Niederschlag

Wichtig:

- Wolken mit Niederschlag = hochreichend + Vereisung
=> Überfliegen VFR meist nicht möglich
- Niederschlag verringert die Sichtweite: in aufsteigender Reihenfolge Regen, Sprühregen, Schnee

Vorhersage von Mi 14.01 für Sa 17.01 um 12 UTC



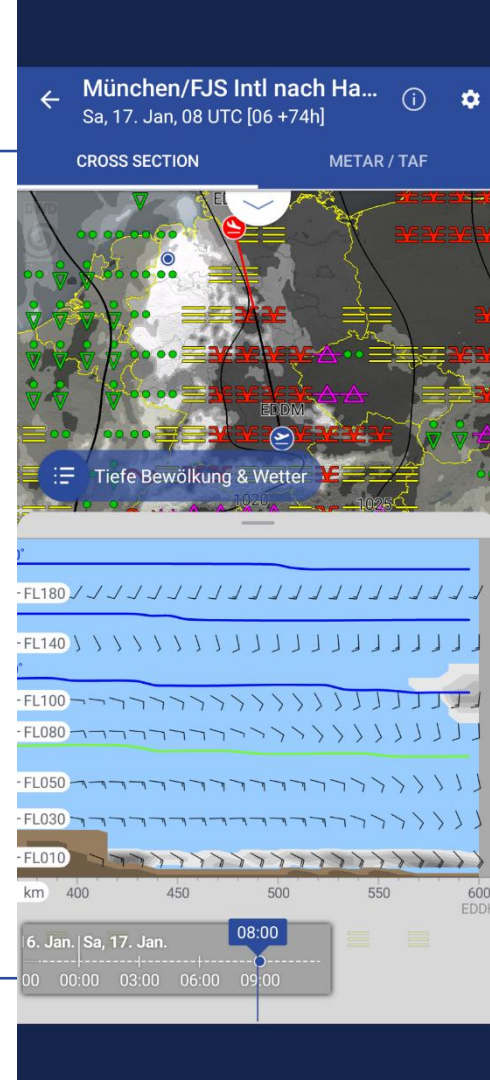
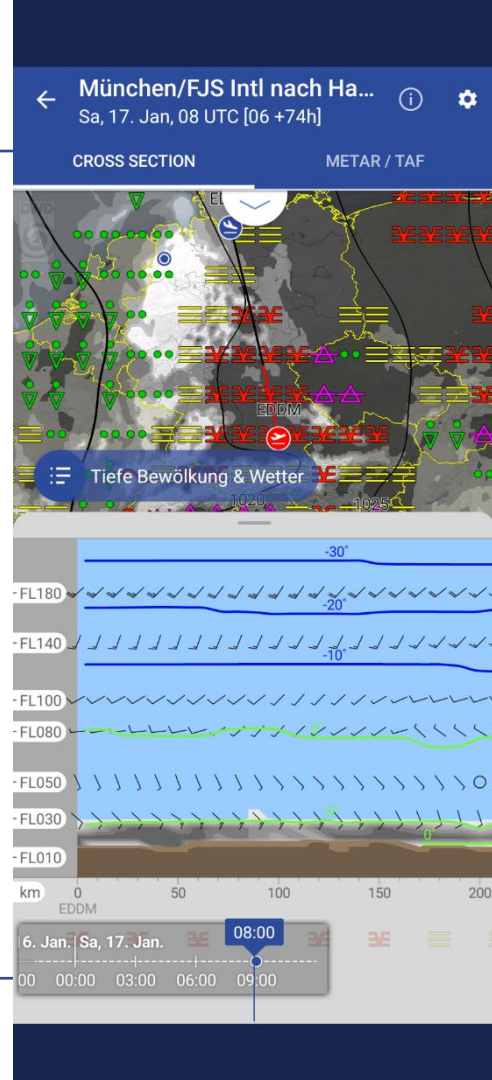
Was ist zu sehen:

- Graue Fläche = Gesamtbedeckungsgrad der Wolken
- Rosa bis rote Flächen = Bereiche mit Konvektion
- Zahlen = vertikale Erstreckung der Konvektion

Wichtig:

- Rot = flächenmäßig mehr als rosa, keine Angabe zur Intensität
- Gut zur Abschätzung des Gewitterpotentials

Vorhersage von Mi 14.01 für Sa 17.01 um 12 UTC



Nur als
Vorgeschmack für
später

Gesamte Strecke
EDDM-EDDH:
sehr tiefe bis
aufliegende ST-
Bewölkung

Gibt es bis hierhin Fragen?

- ➔ Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!
- ➔ Jetzt übernimmt Stefan Rubach.