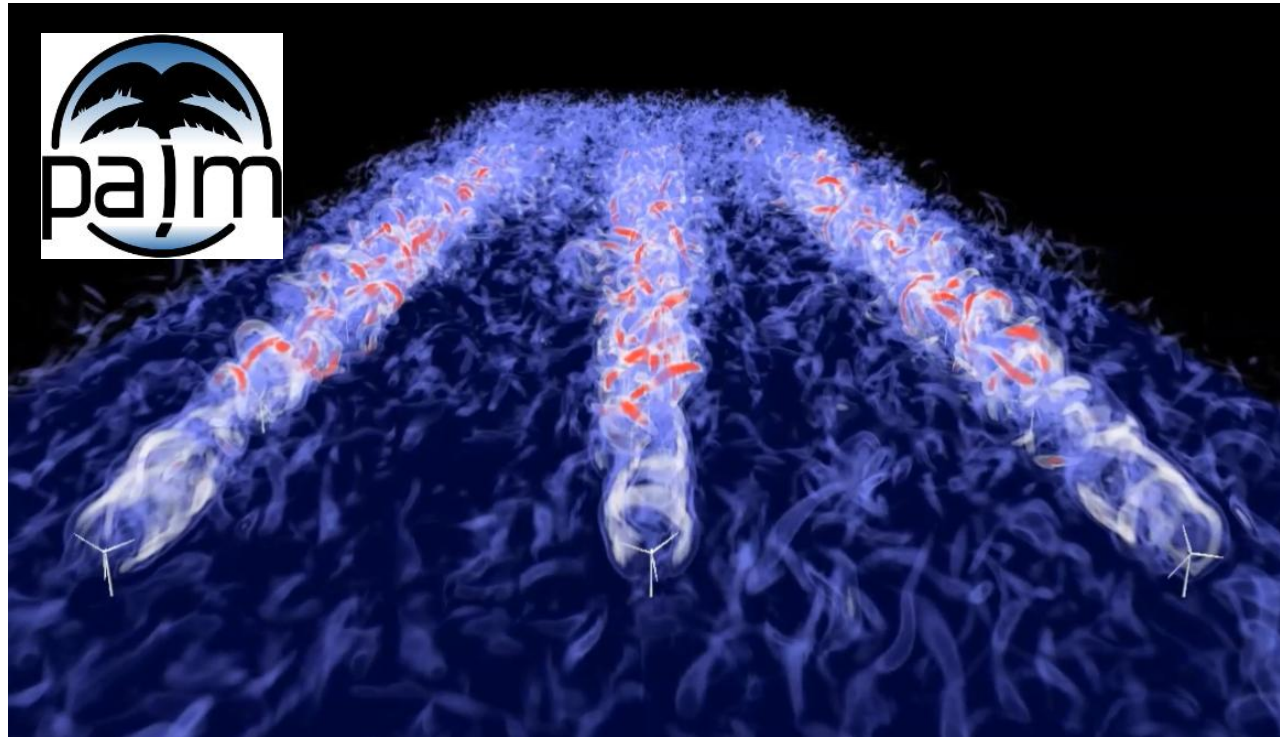




Hochauflösende Wellenvorhersage mit dem LES-Modell PALM

Motivation



RASP

Schwerewelle Jahrestreffen 2024

www.blipmaps.nl

BLIPMAPS

Michel Hagoort - setup & fine-tuning

David Hofstee - daily runs

Antoine Megens - website

Sponsored by KNVvL
(Royal Netherlands Aeronautical Association)



Was ist LES? – Skalen atmosphärischer Wirbel

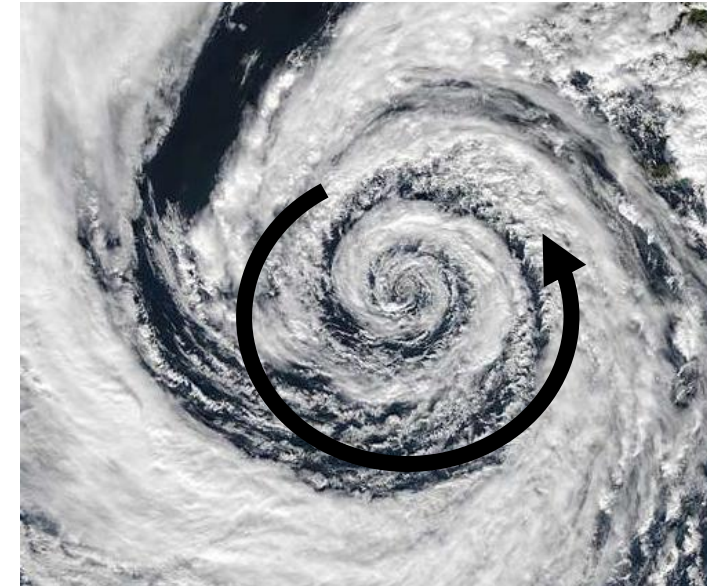
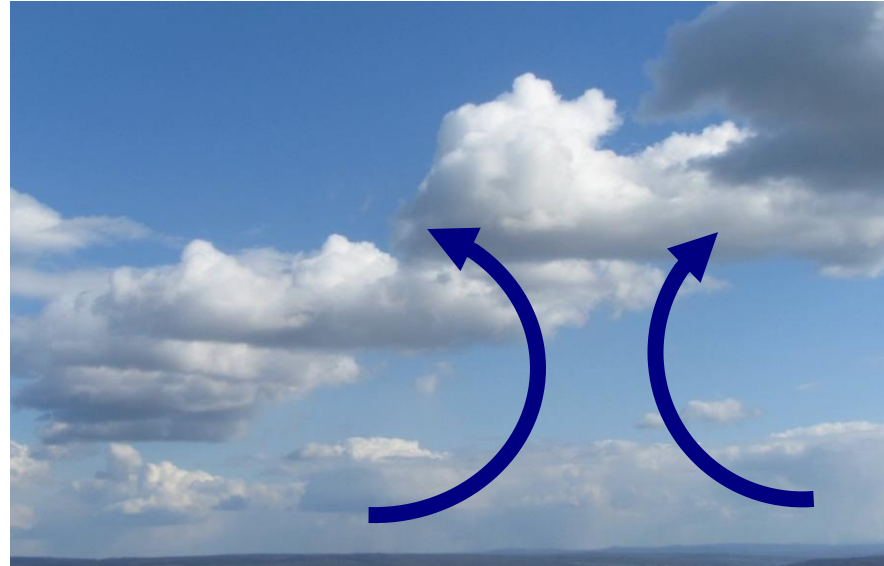
Wettermodelle (10 km – 10'000 km +)

LES-Modelle (1 m – 10 km)

Mikroskala, Turbulenz (1 mm – 1 km)

Mesoskala

Synoptische Skala



1 mm

1 m

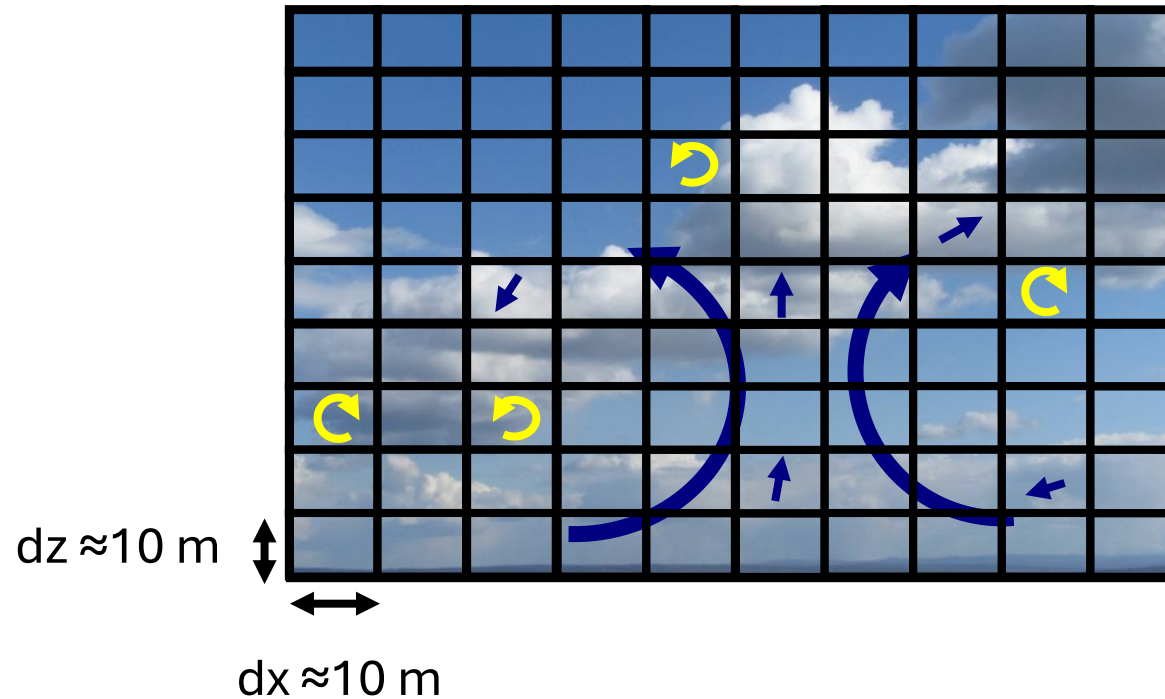
1 km

1'000 km

Wirbelgröße

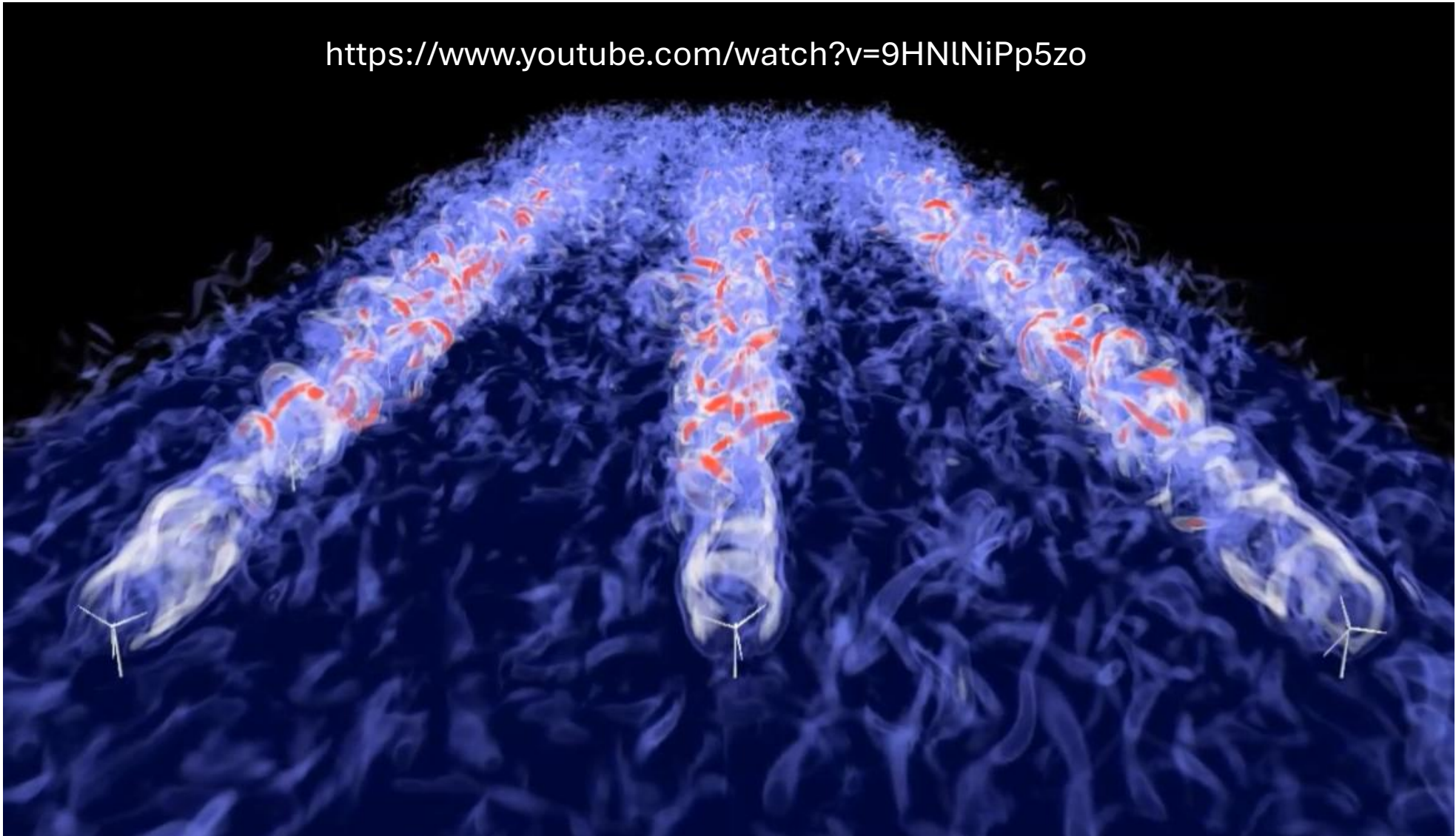
Numerisches Gitter

LES = **L**arge-**E**ddy **S**imulation = Simulation der größten turbulenten Wirbel



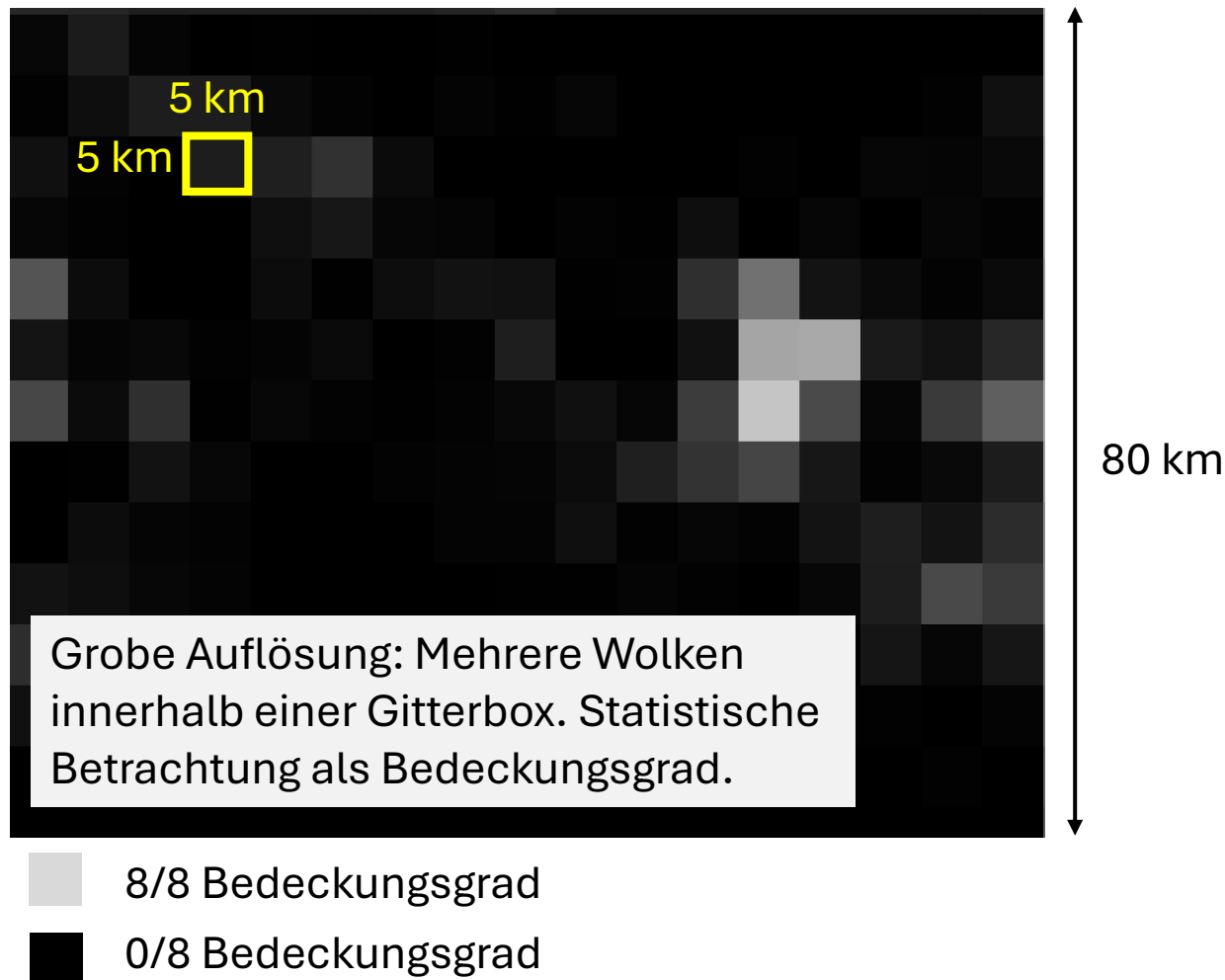
Was ist LES? – Turbulenz im Windpark

<https://www.youtube.com/watch?v=9HNlNiPp5zo>

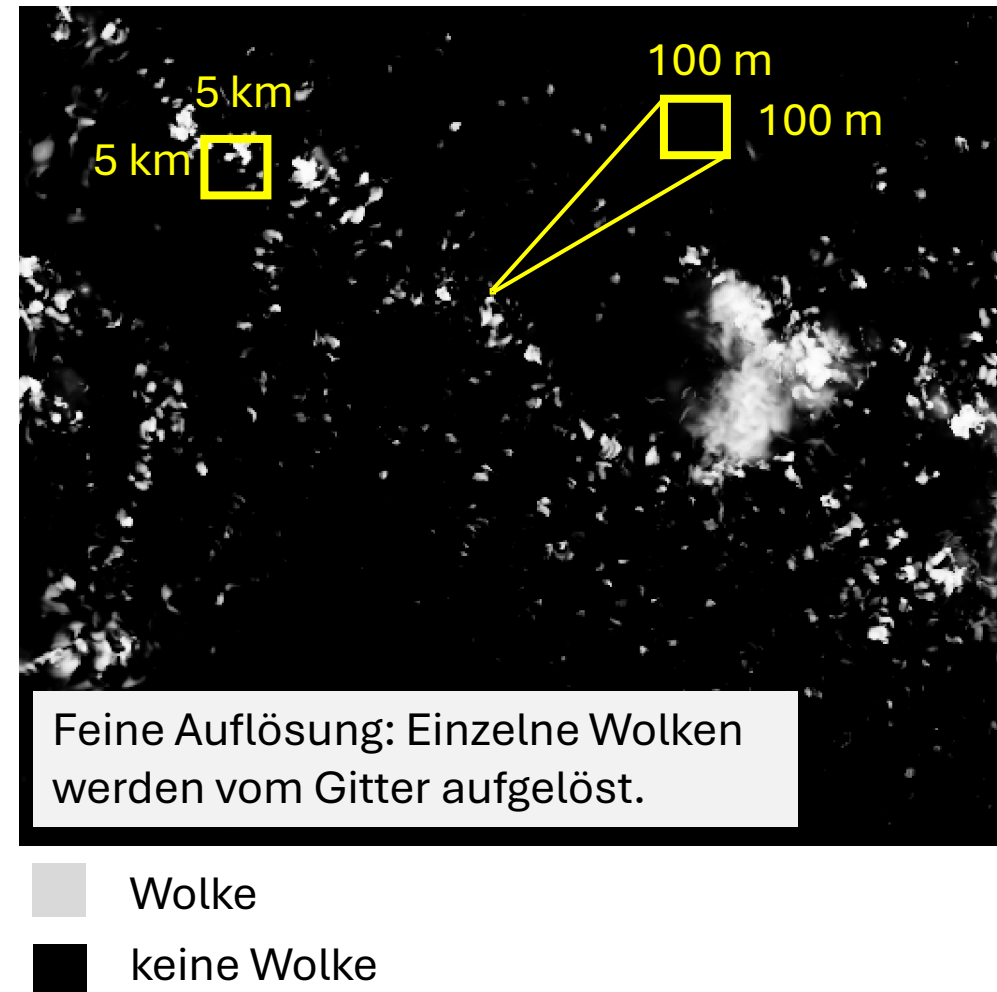


Grobe und feine Auflösung

Das „sehen“ klassische Wettermodelle:



Das „sehen“ LES-Modelle:



Vorteile von LES

Wird es Wolkenstraßen geben?



Wo ist der Aufwind



Wird es Hangaufwinde geben?

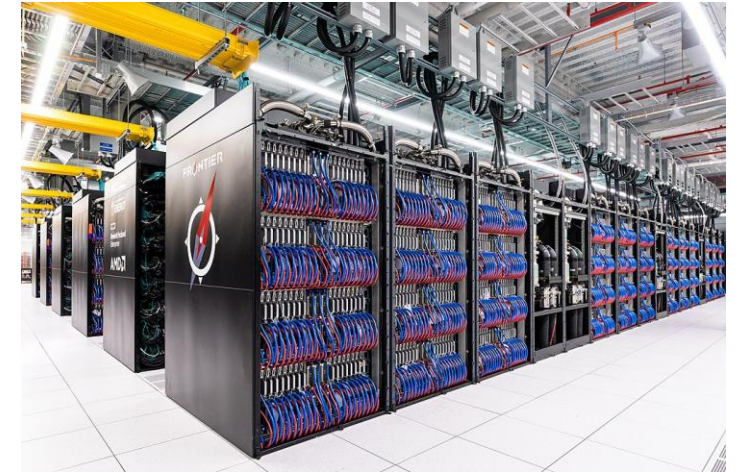


LES Modelle können es vorhersagen:

- ✓ Aufgelöste Wolken
- ✓ Aufgelöstes Gelände
- ✓ Aufgelöste Aufwinde

Nachteile von LES

- Viel größerer Rechenaufwand und damit Kosten
 - Bisher hauptsächlich in der Forschung verwendet
 - Simulationen laufen i.d.R. auf Super-Computern
- Häufig können LES-Modelle nur recht theoretische, idealisierte Bedingungen simulieren
 - flaches Gelände, keine Wolken, keine Strahlung, keine verschiedenen Landoberflächen
- Aber:
 - Rechenkosten sinken immer weiter (Faktor 10 alle 5 Jahre, über die letzten Jahrzehnte)
 - LES-Modelle entwickeln sich weiter und können immer realistischere Bedingungen simulieren



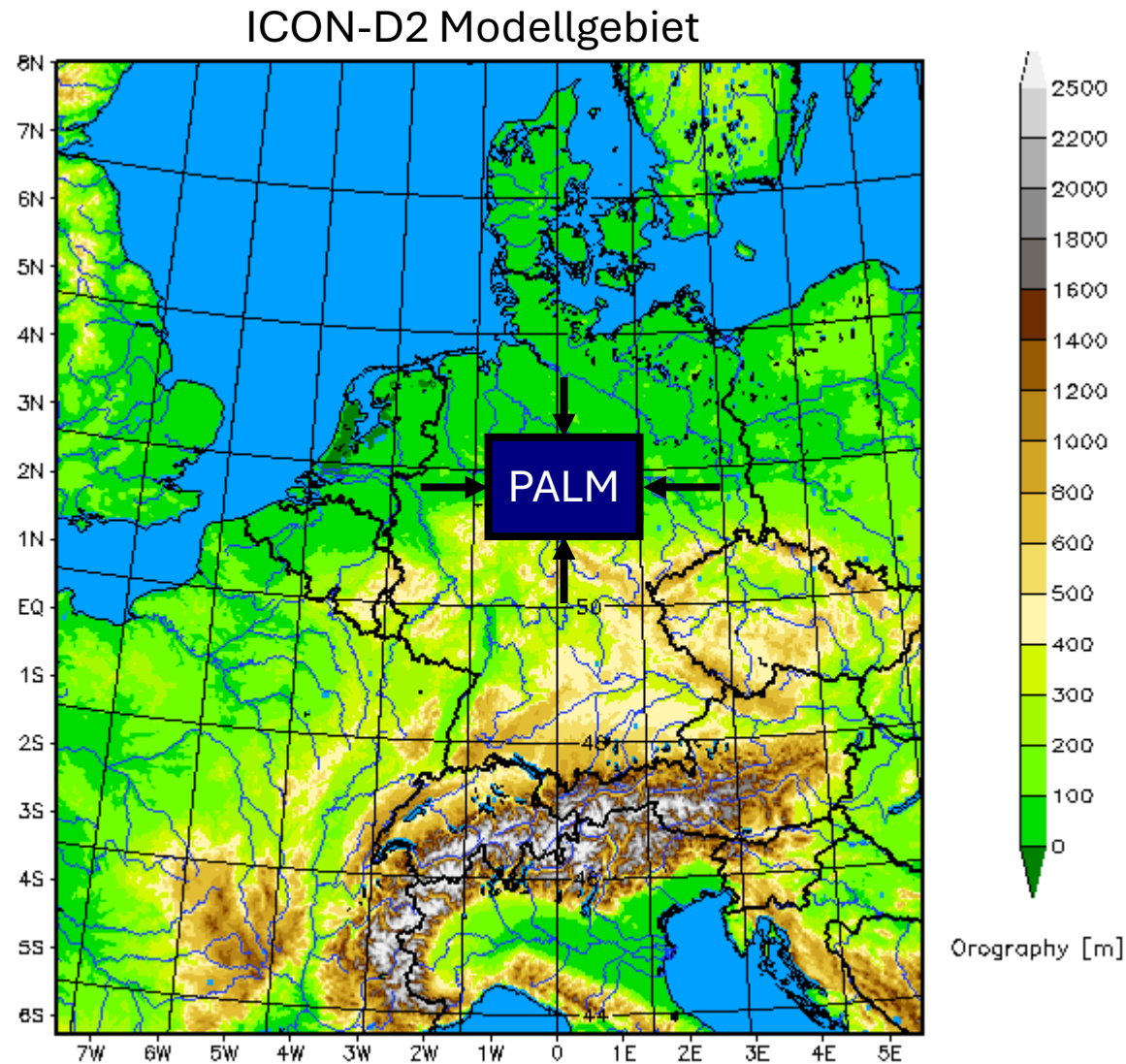
PALM: Parallelized Large-Eddy Simulation Model

- Parallelized = Kann auf mehreren Tausend Prozessorkernen gleichzeitig laufen = extrem schnell
- Entstehung und Entwicklung an der Leibniz Universität Hannover
- Frei verfügbar
- Verfügt über viele Features, die für die Wettervorhersage nötig sind:
 - Landoberflächenmodell
 - Wolkenphysik
 - Strahlungsphysik
 - Kopplung zu ICON-D2
 - Wettervorhersagemodell des DWD mit 2.1 km Gitterweite



<https://palm.muk.uni-hannover.de>

Kopplung zu ICON-D2



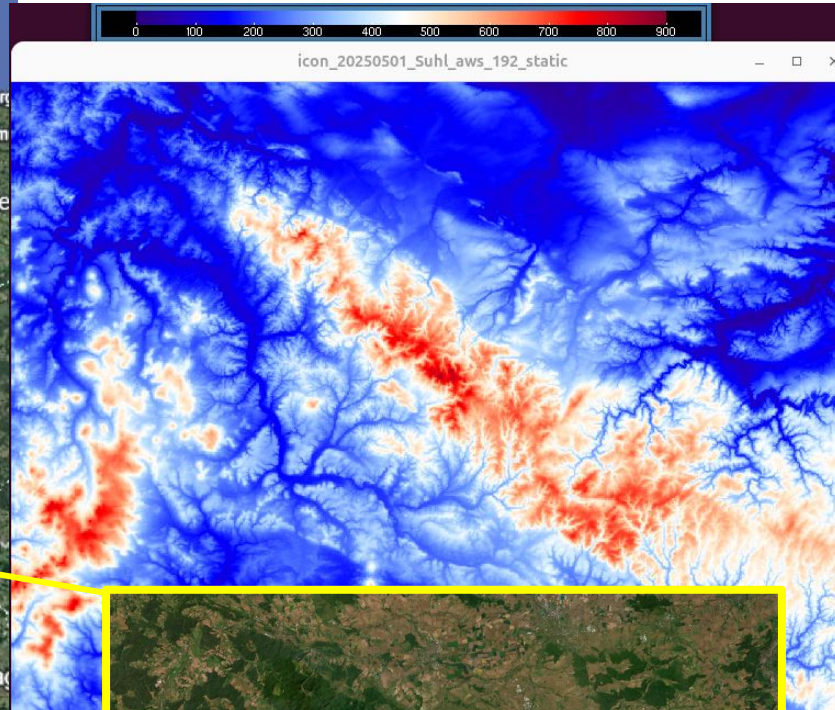
- PALM bekommt an den Modellgebietsrändern Informationen über Wind, Temperatur und Feuchte von ICON-D2
- ICON-D2 Vorhersagedaten werden vom DWD kostenlos zum Download bereitgestellt:
<https://opendata.dwd.de/>

https://www.dwd.de/DE/forschung/wettervorhersage/num_modellierung/01_num_vorhersagemodelle/regionalmodell_icon_d2.html

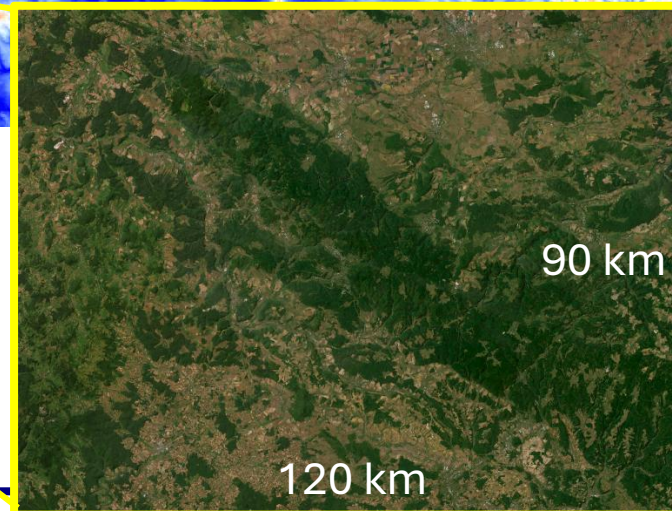
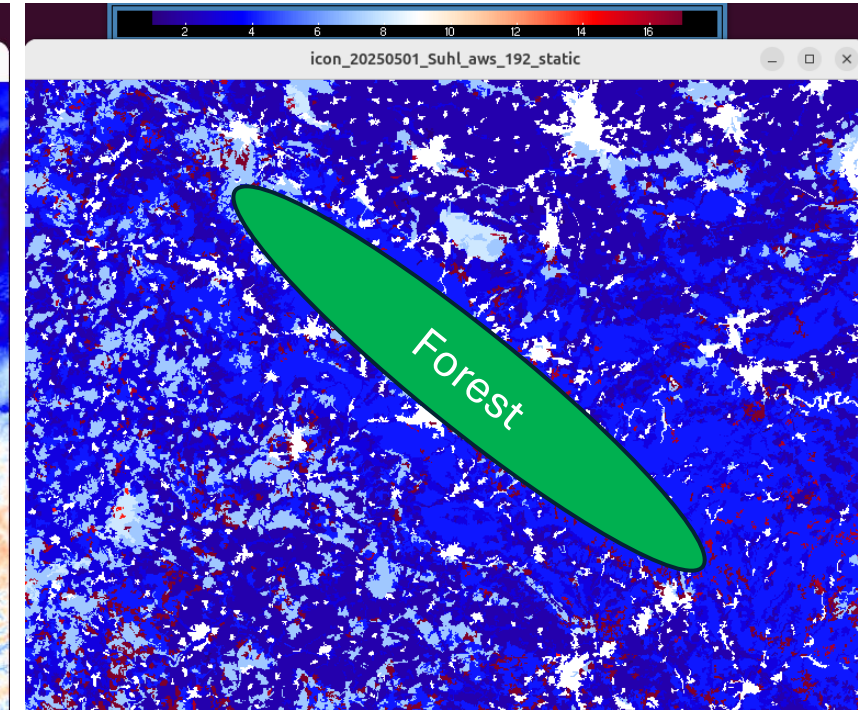
Wettervorhersage für den Thüringer Wald am 1.5.2025



Geländehöhe (0-900 m)



Vegetationstypen



$Dx = 160 \text{ m}$

$Dz = 40 \text{ m}$

Kosten und Geschwindigkeit auf AWS

Cloud computing auf:



Simulated
time

- 10 h

Wall clock
time

- 2.5 h

Compute
resources

- 192 cores
(1 node)

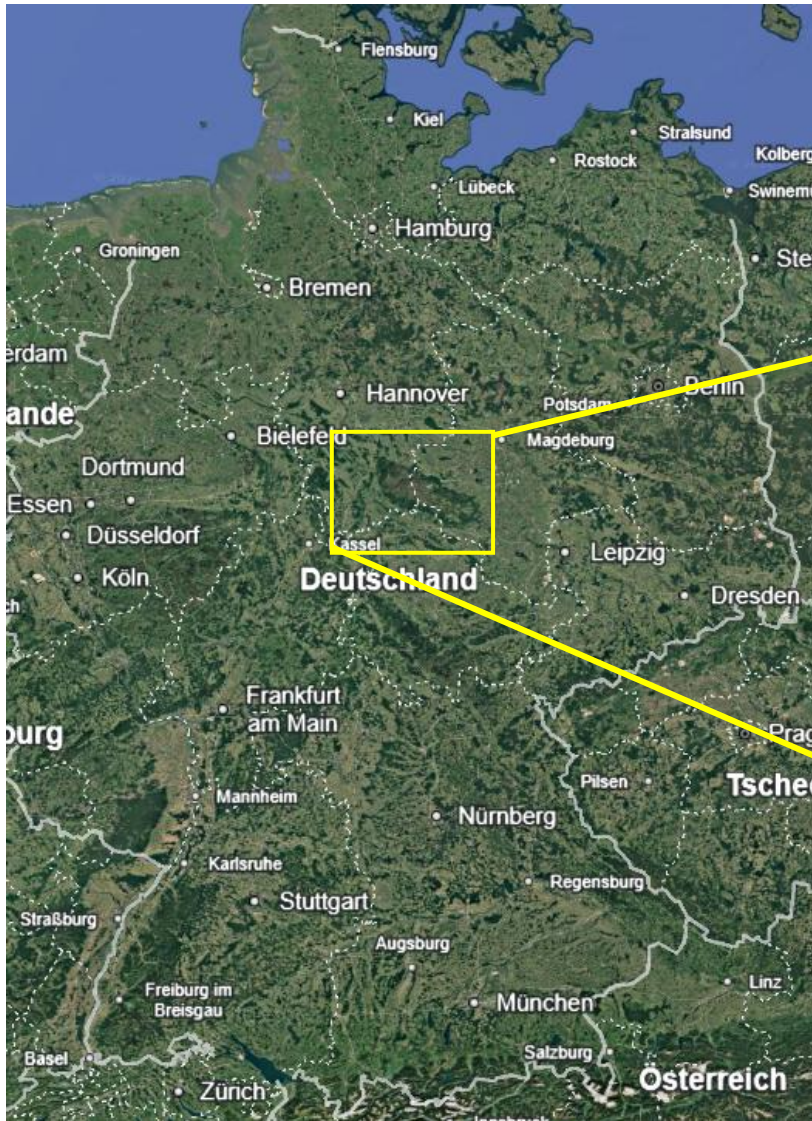
Costs

- \$26

2025-05-01 11:26



Wellenvorhersage für den Harz am 16.01.2026

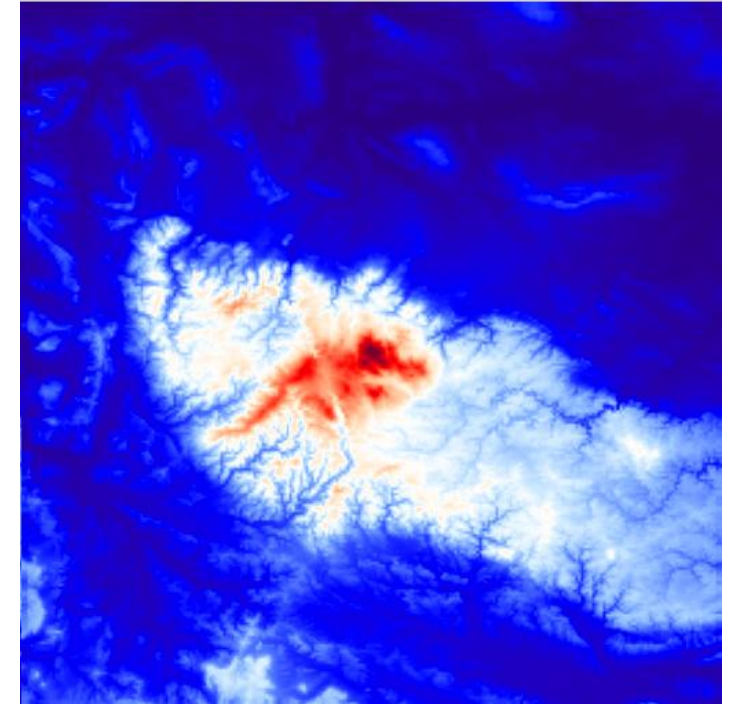


$Dx = 320 \text{ m}$
 $Dz = 80 \text{ m}$

Sehr grob, aber
für Wellen ok



Geländehöhe



Kosten und Geschwindigkeit

Gerechnet auf einem Laptop
mit 8 Kernen

Simulated
time

- 3 h

Wall clock
time

- 9 h

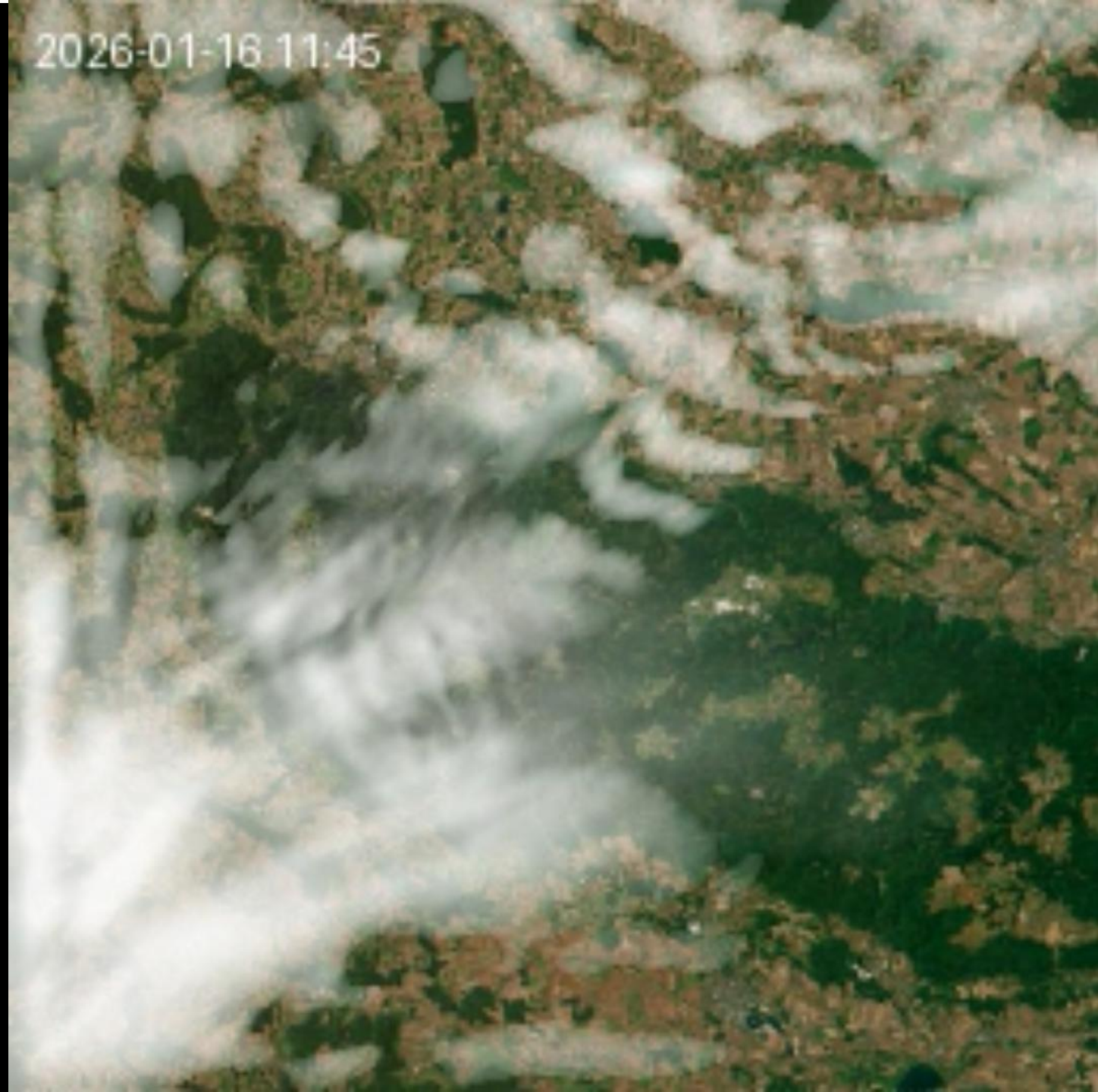
Compute
resources

- 8 cores

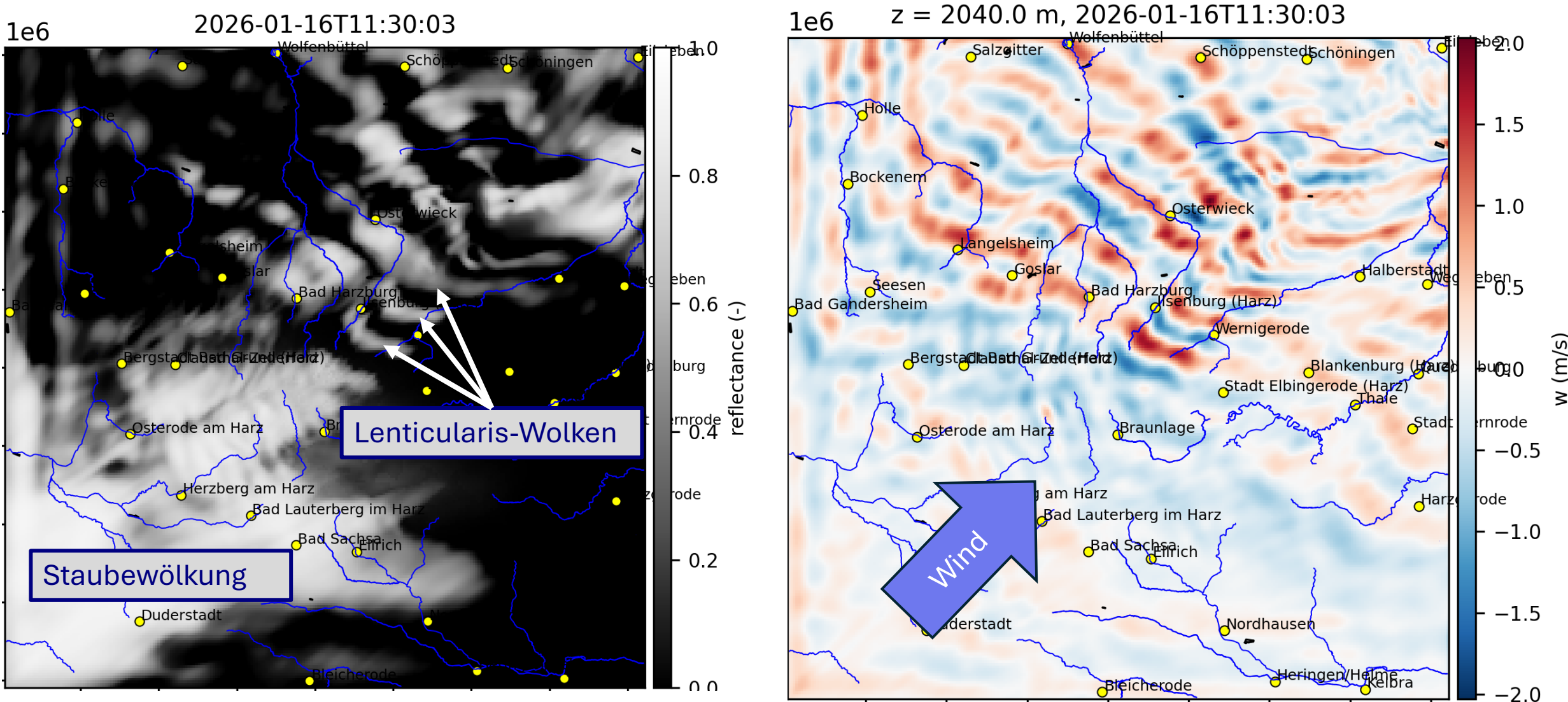
Costs

- Ein bisschen
Strom

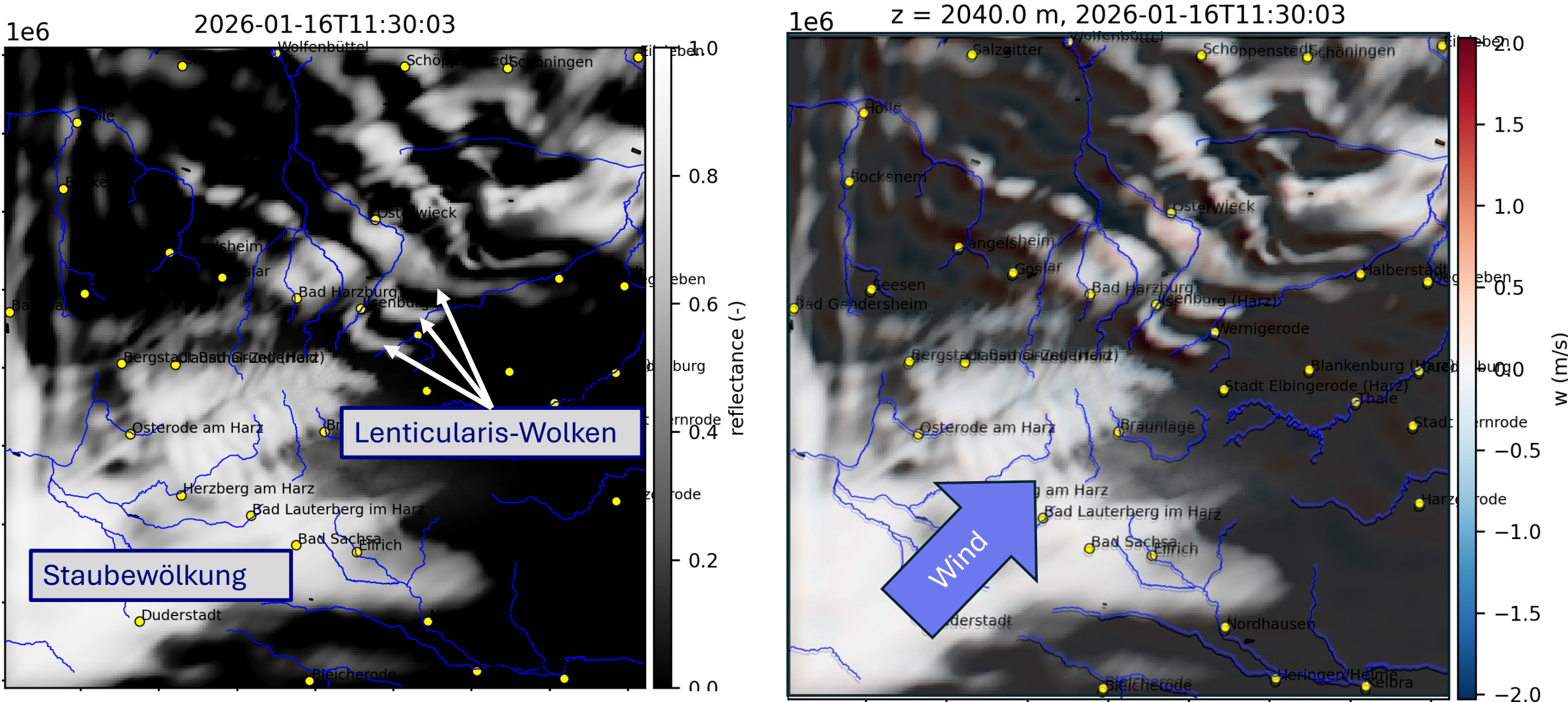
2026-01-16 11:45



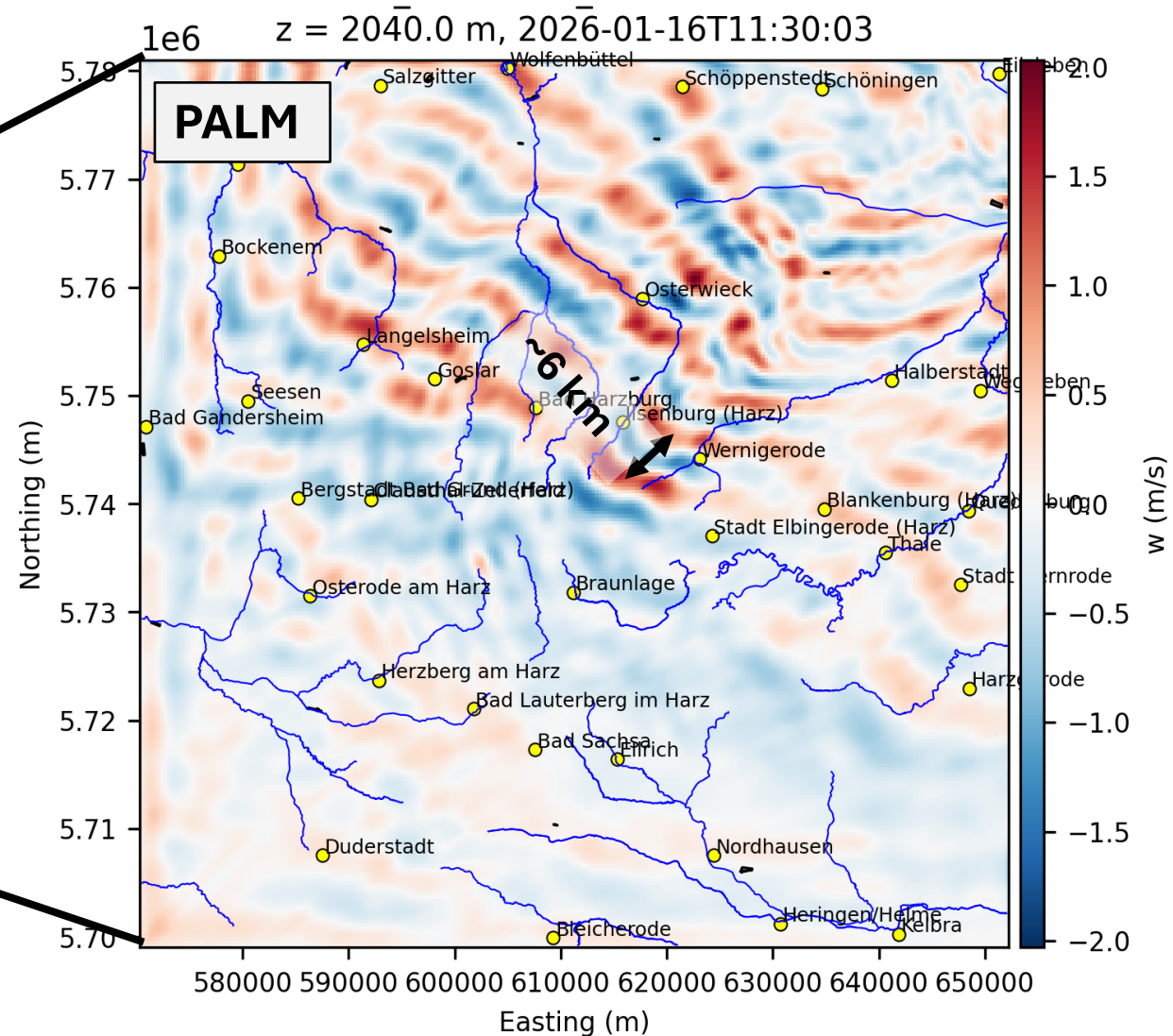
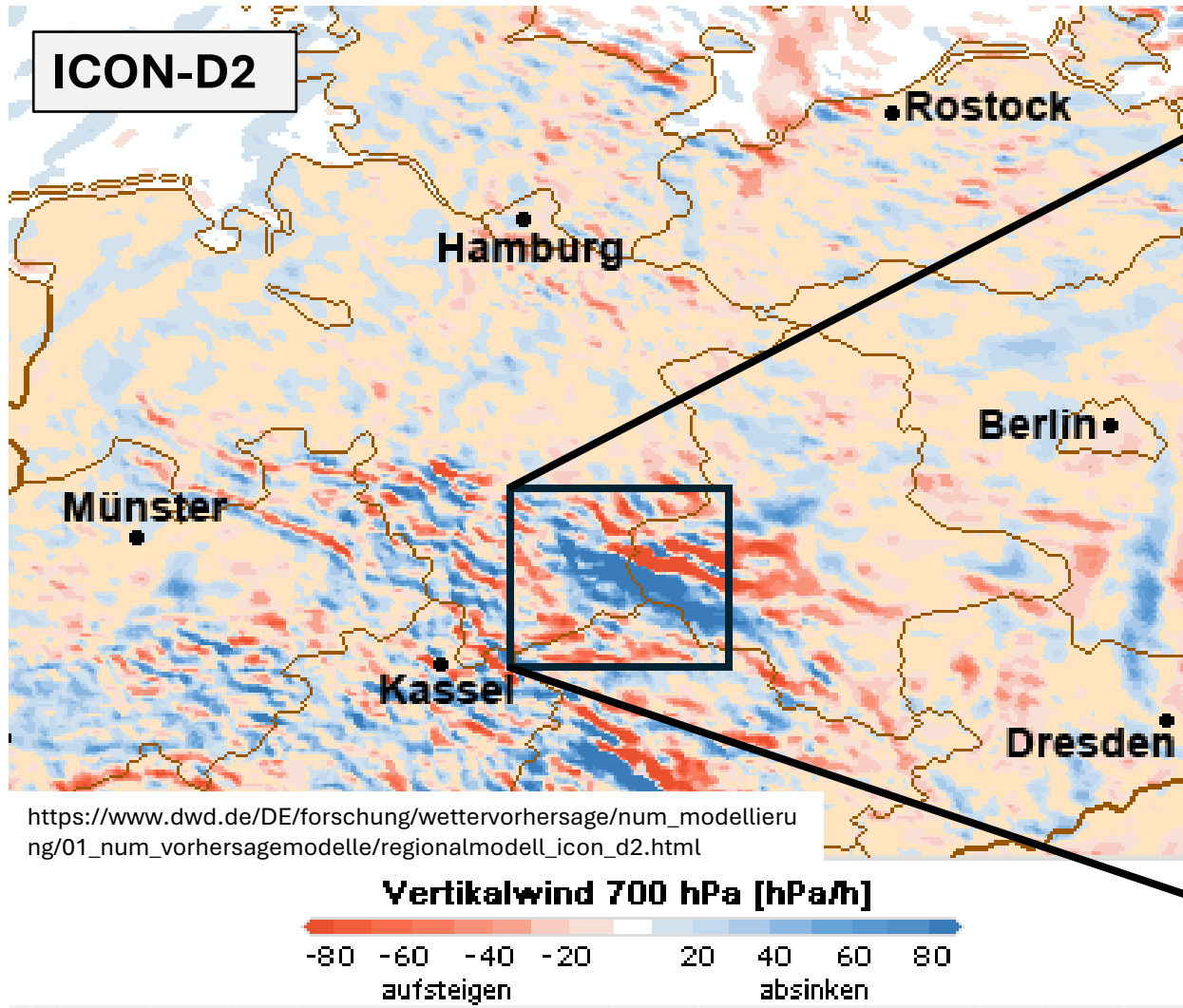
Harzwelle am 16.01.2026



Harzwelle am 16.01.2026



Vergleich mit ICON-D2

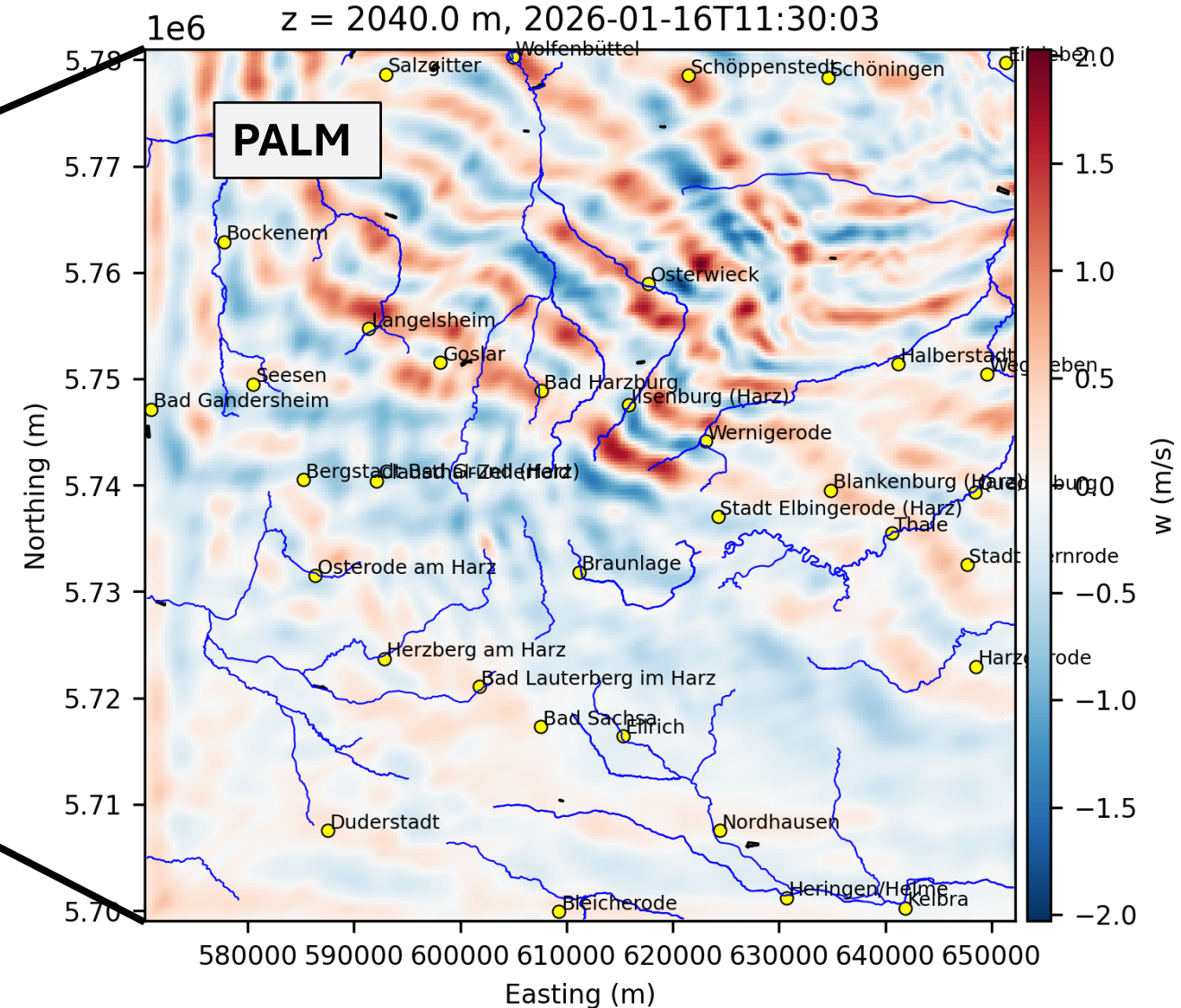


Vergleich mit Topmeteo

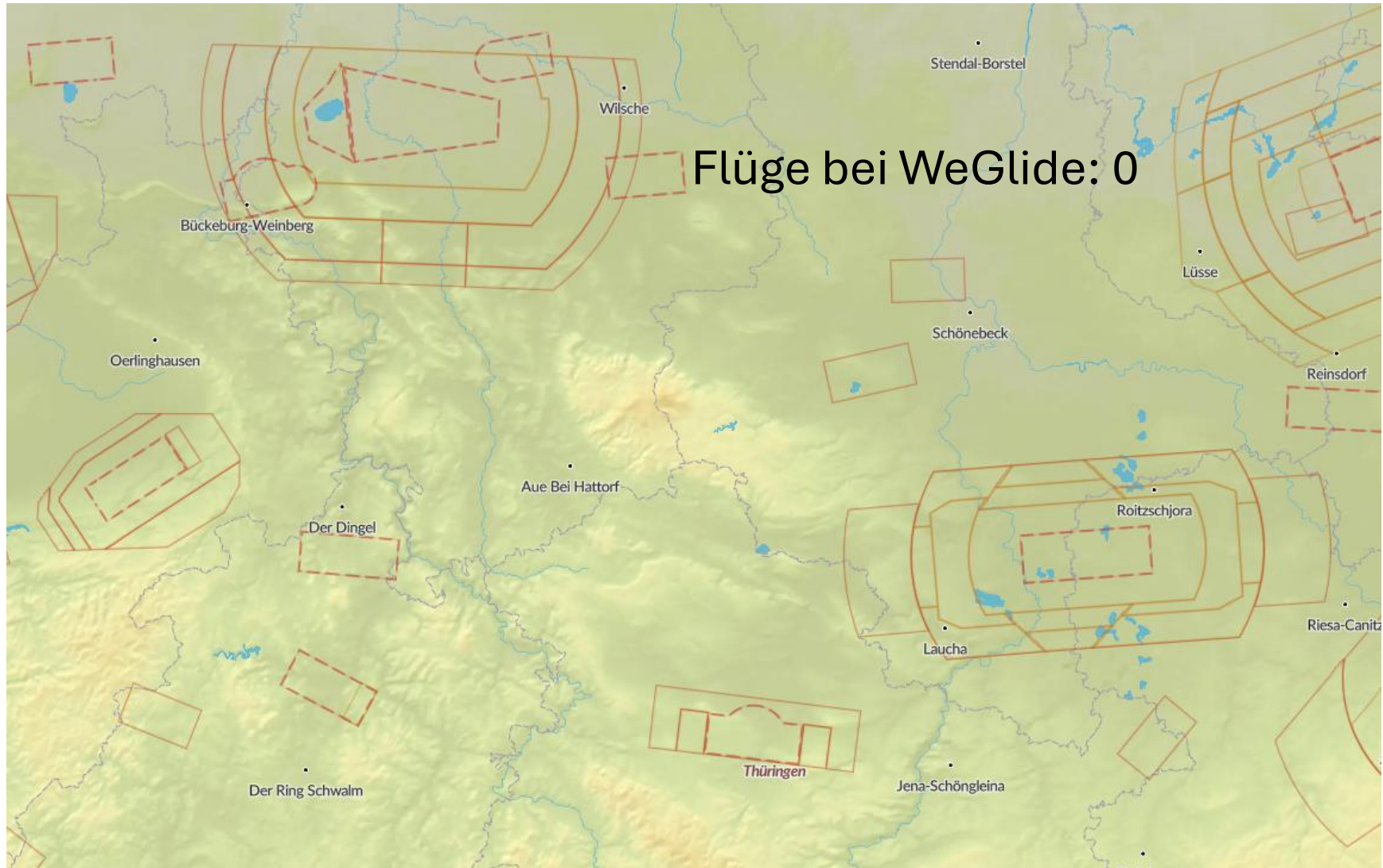
Topmeteo



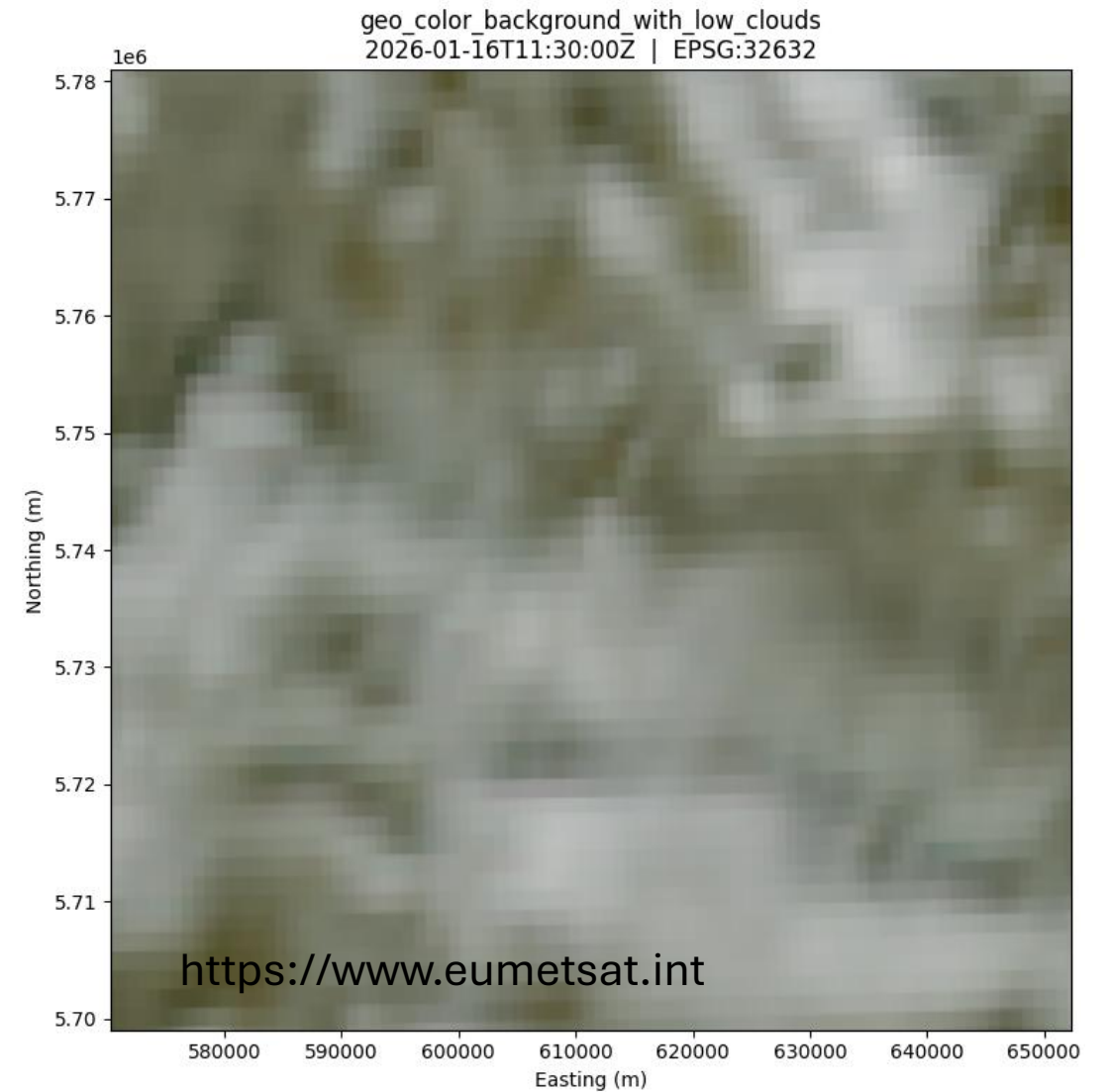
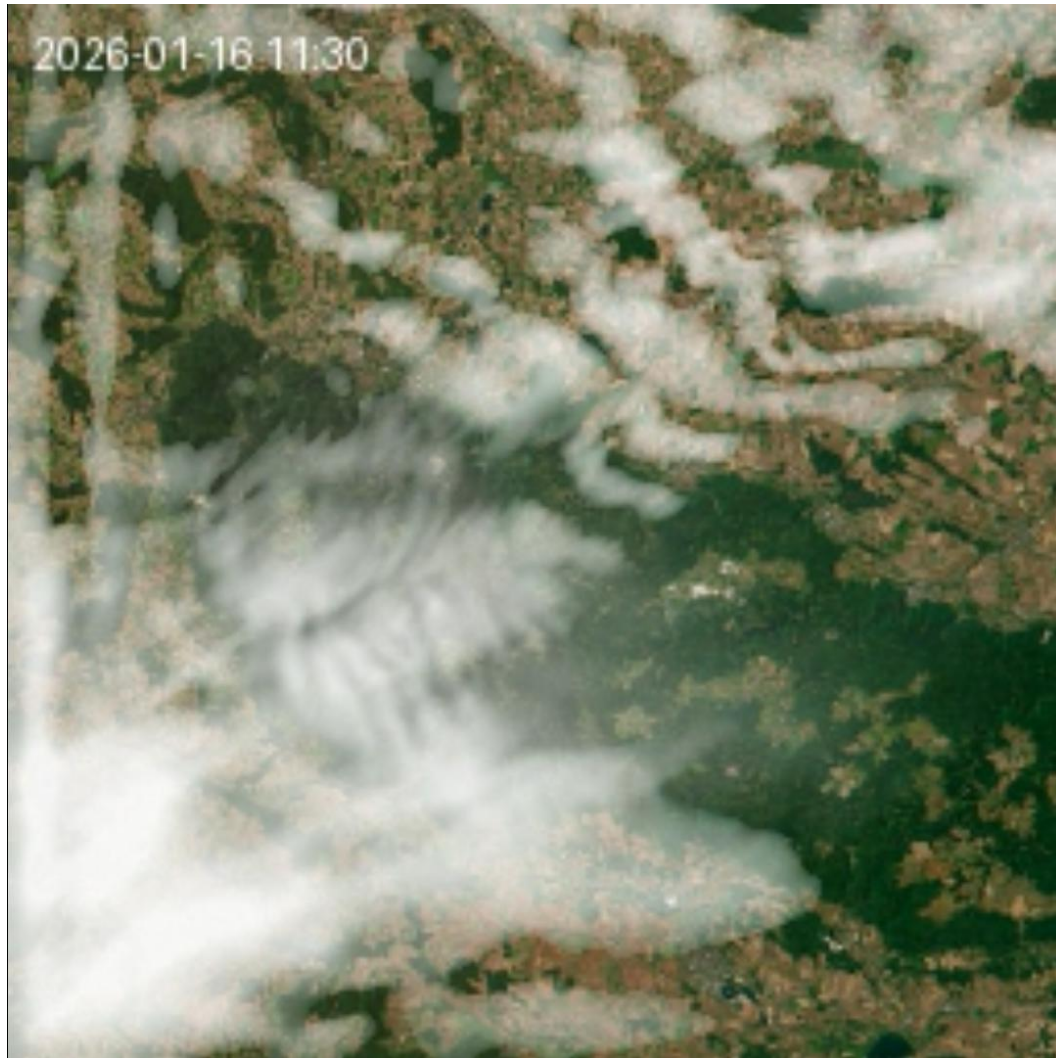
Bild entfernt. Topmeteo zeigte nur
ein Abwindgebiet und ein
Aufwindgebiet im Lee des Harzes



Validierung mit Flügen



Validierung mit Satellitenbild



Aktueller Stand und Ausblick

- Privates Projekt
 - Bisher noch nicht operationell
 - Beschränkt auf kleine Modellgebiete
 - Noch relativ teuer
 - Mehr Automatisierung
 - Besseres Post-Processing der Ergebnisse
 - Webseite
-
- Vergleich mit RASP wäre interessant (Ergebnisse als auch Kosten)
 - Fragen und Anregungen an: oliver.maas@posteo.de