

SunChain 2024: Wolken, stralingsvariabiliteit, en de impact op netbeheer

Chiel van Heerwaarden, Mirjam Tijhuis, Menno Veerman, Wouter Mol, Bart van Stratum, Frank Kreuwel
Sunchain 2024, Utrecht, 1 oktober 2024



Een korte introductie in wolken

Welke fractie van de totale zonnestraling wordt in Nederland tegengehouden door wolken?

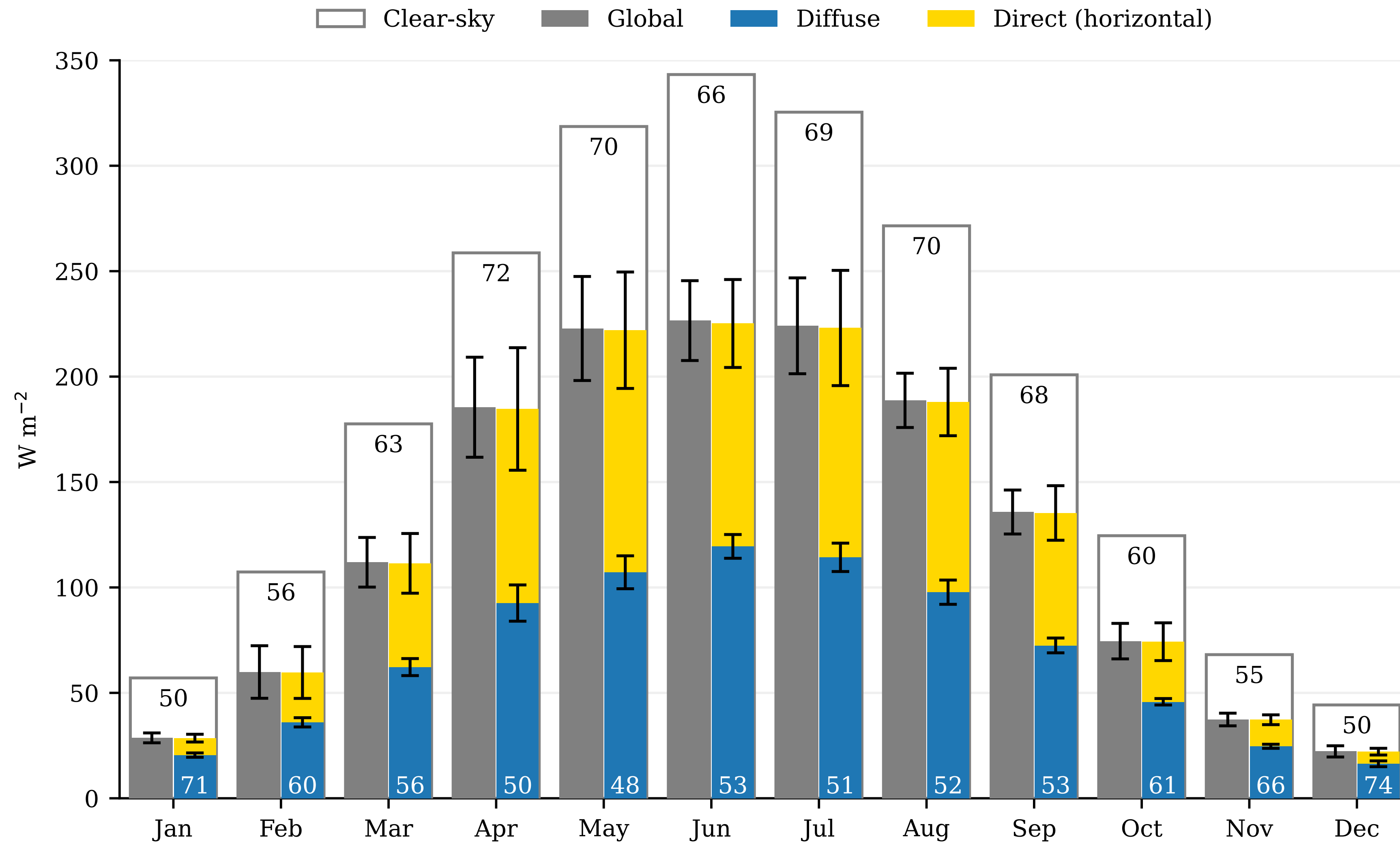
A) 0 - 25 %

B) 25 - 50 %

C) 50 - 75 %

D) 75 - 100 %

Gemiddeld genomen wordt 30 tot 40 % van de straling tegengehouden door wolken



Hoeveel wolken komen er over je hoofd als je een jaar lang buiten gaat staan?

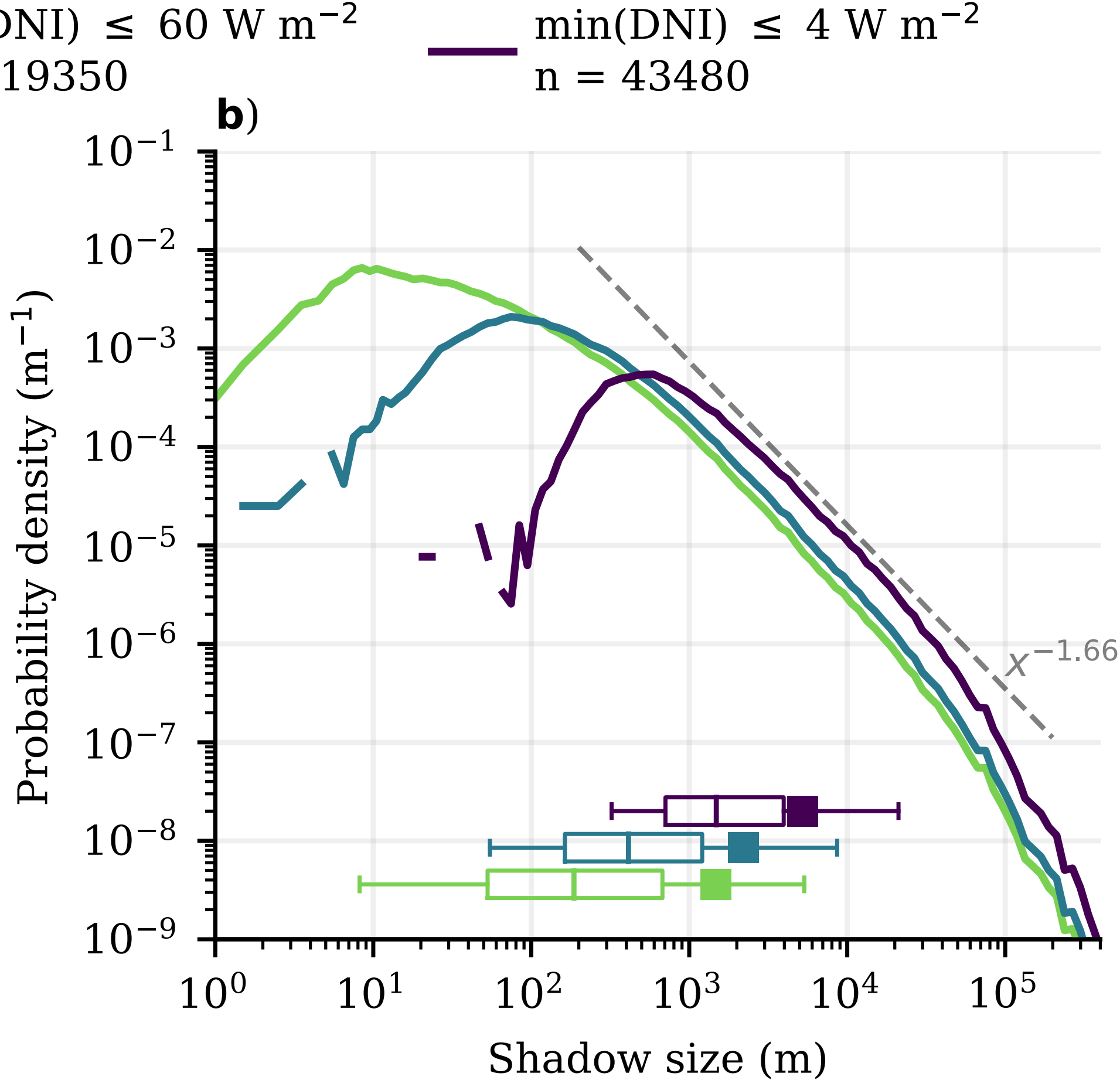
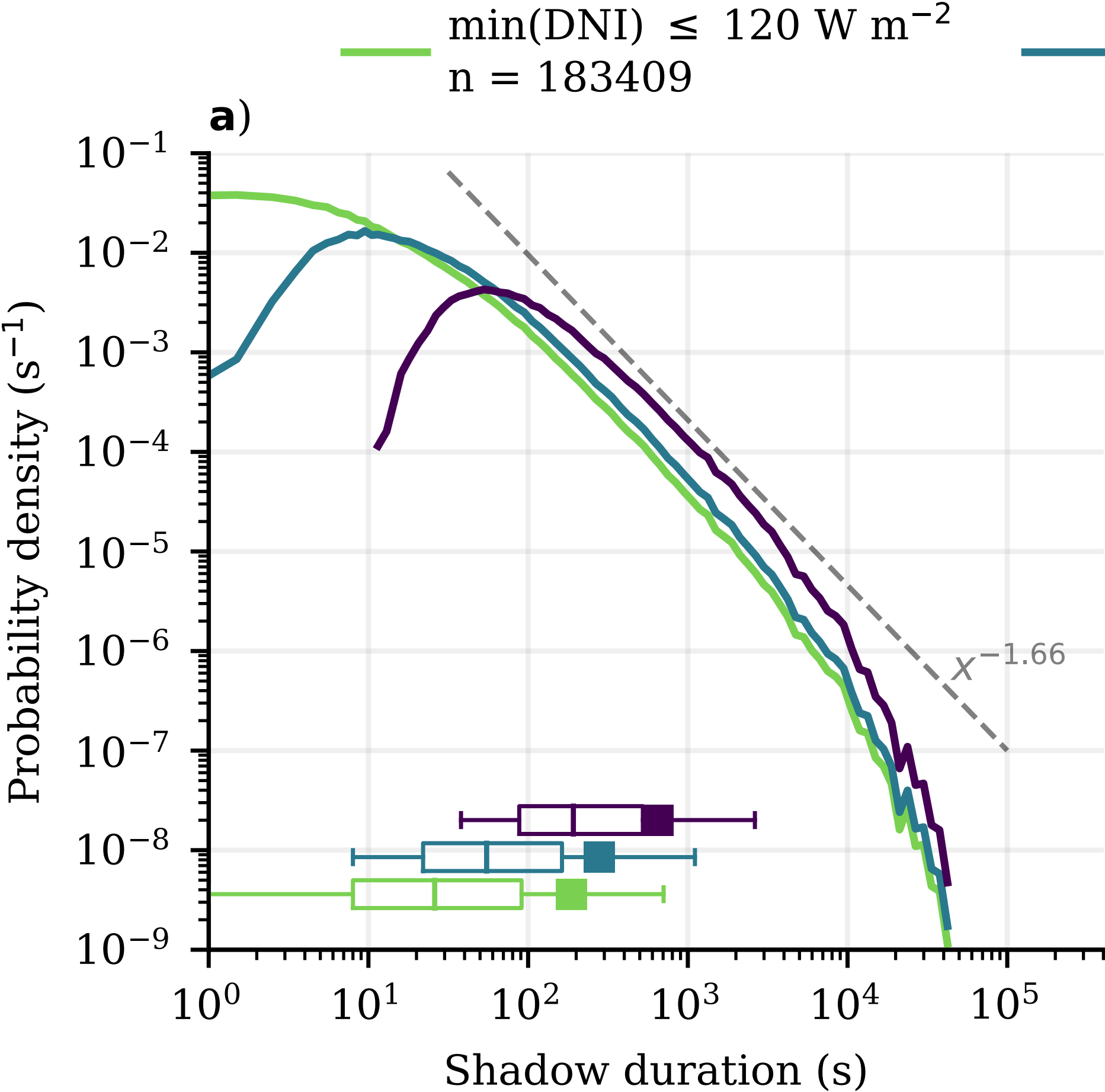
A) 0 - 100

B) 100 - 1.000

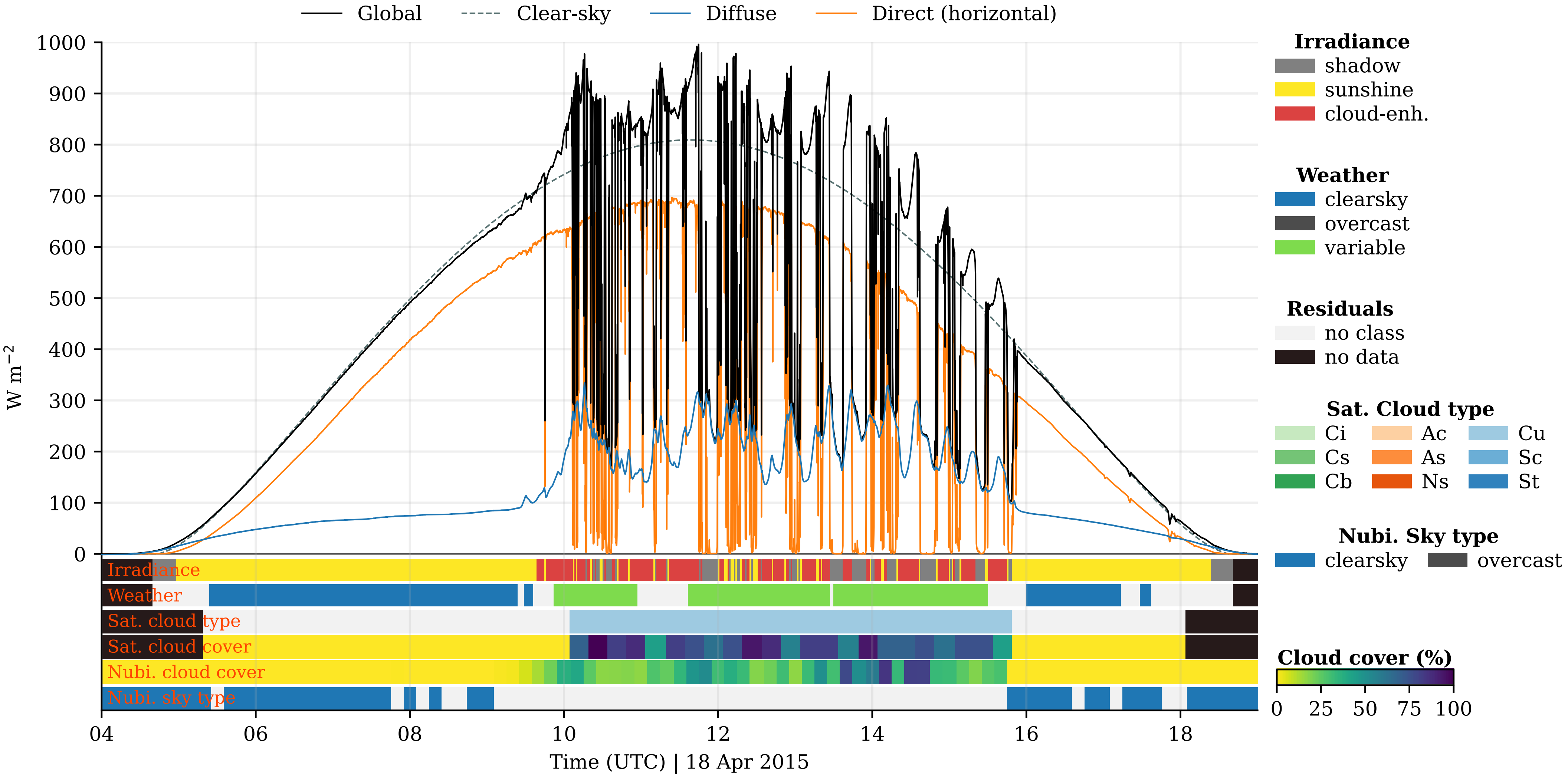
C) 1.000 - 10.000

D) 10.000 - 100.000

Er zijn ongeveer 18.000 wolken per jaar volgens de WMO standaard



Dit getal komt uit de analyse van 10 jaar aan stralingsdata van het KNMI BSRN station

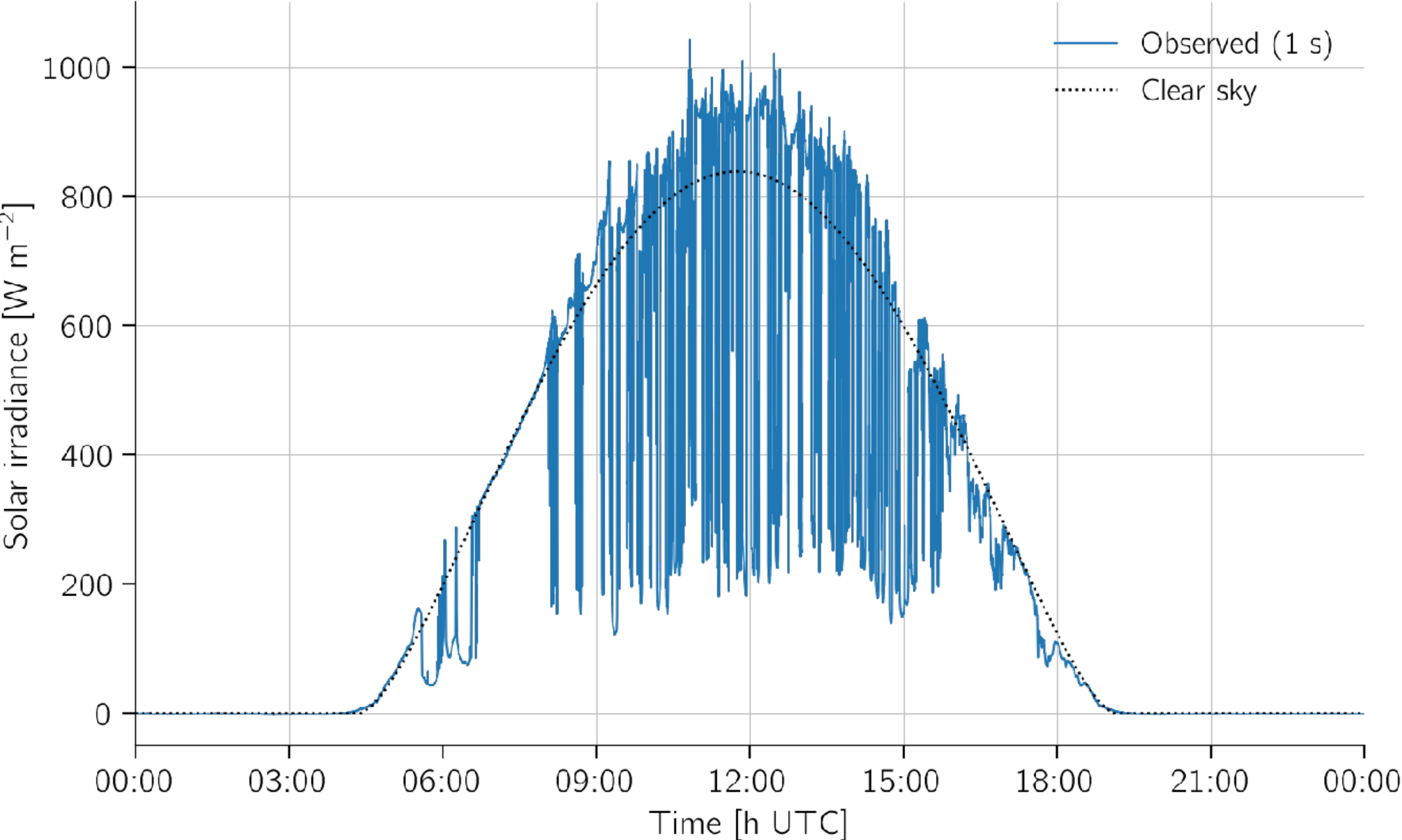


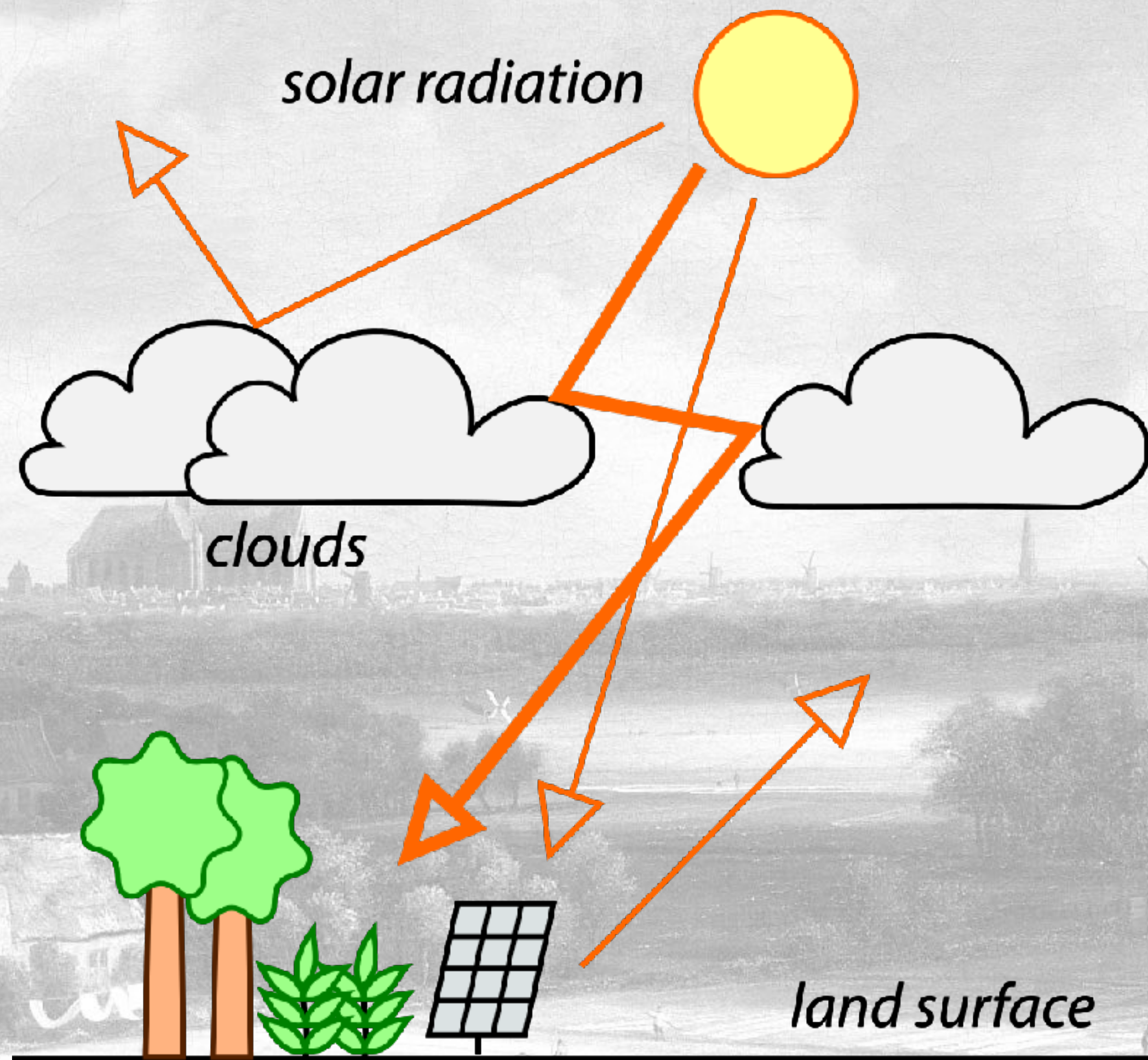
De maximale straling op een dag met cumulus wolken is

- A) ... ongeveer 50 % van die onder een geheel blauwe lucht
- B) ... ongeveer 75 % van die onder een geheel blauwe lucht
- C) ... ongeveer 100 % van die onder een geheel blauwe lucht
- D) ... ongeveer 125 % van die onder een geheel blauwe lucht

Dagen met cumuluswolken hebben pieken die ~ 25 % meer zijn dan onder blauwe lucht

11 augustus 2018, Cabauw, NL (BSRN KNMI)

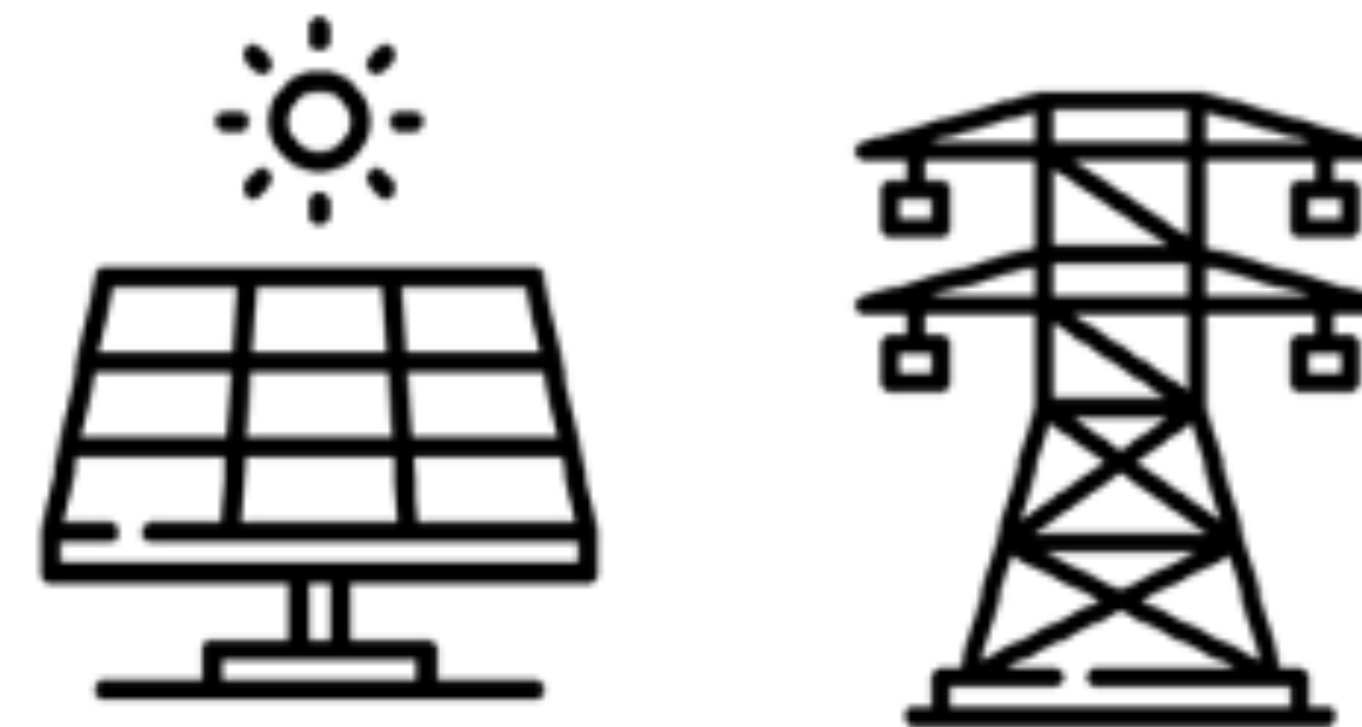




Het *Every Ray Counts*-project heeft de impact van variabiliteit op netbeheer in kaart gebracht

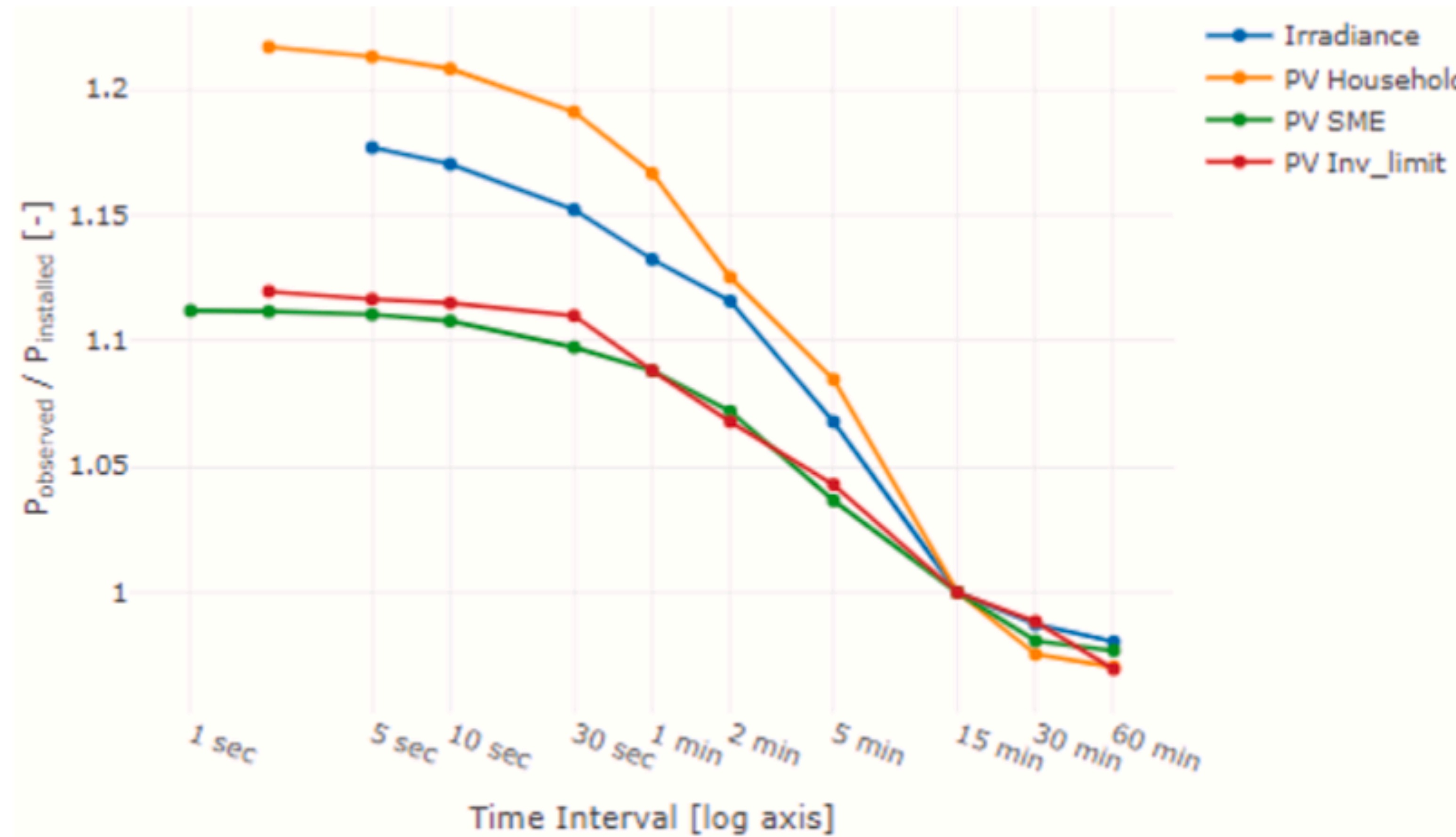


weather modeling



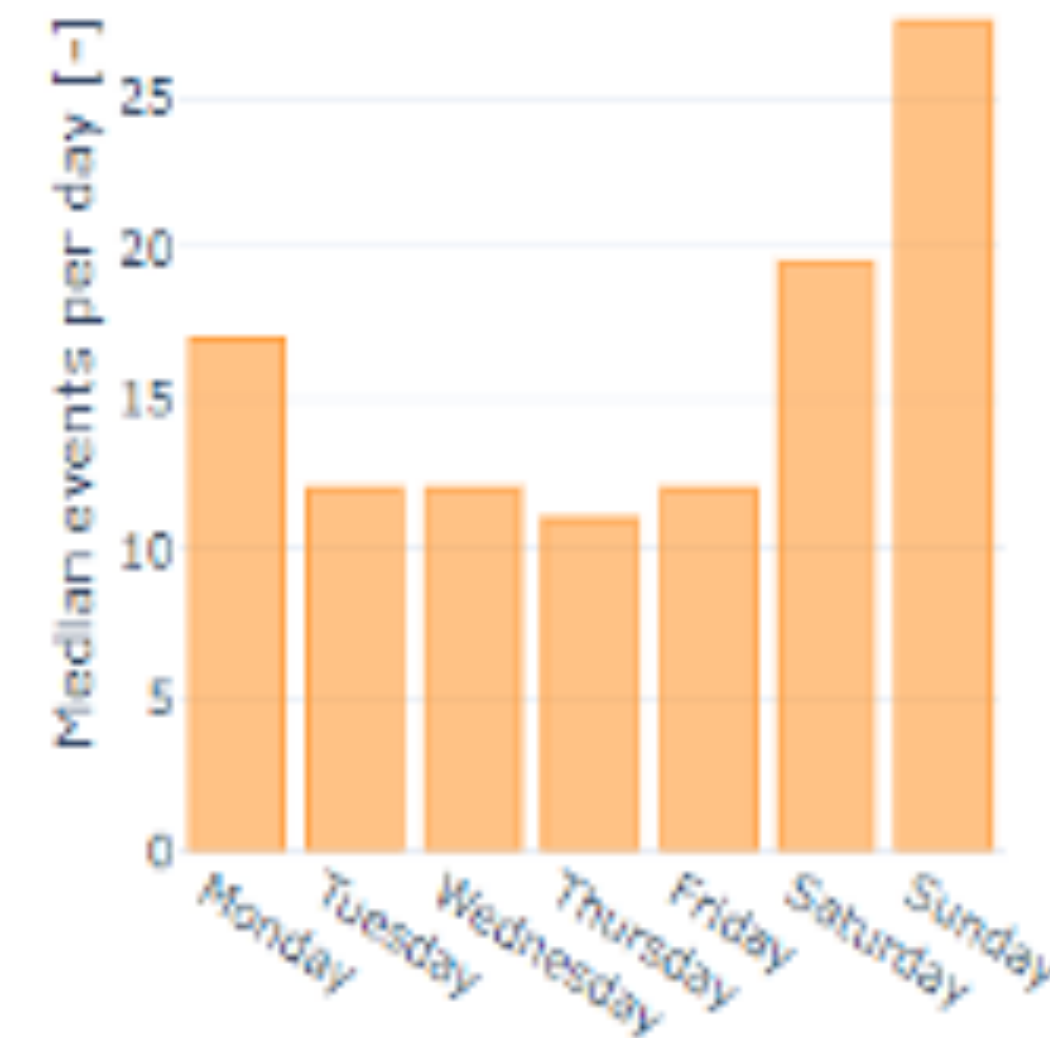
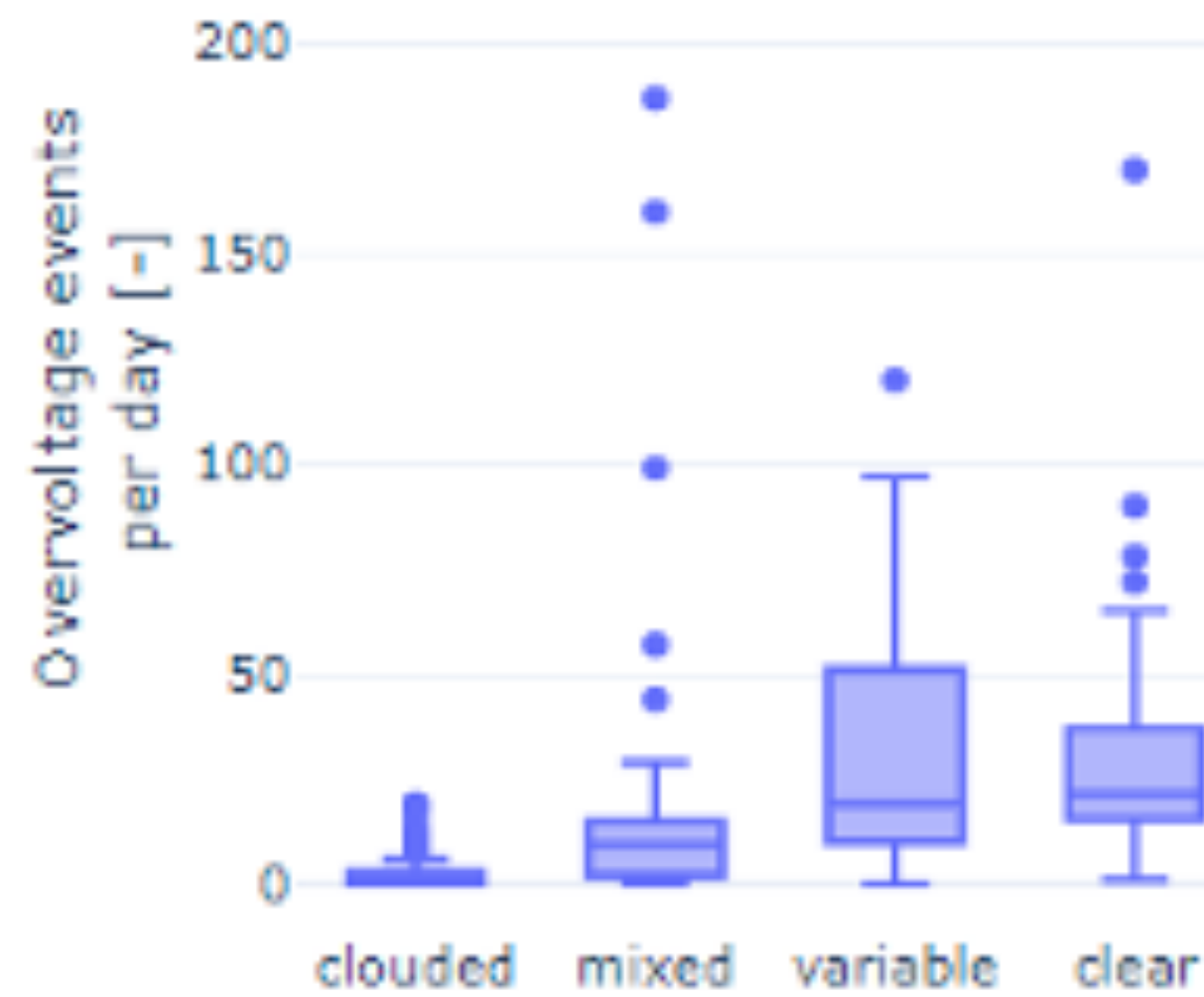
solar power

Grote productiepieken op korte tijdsintervallen (minder dan 15 min) onder wolken

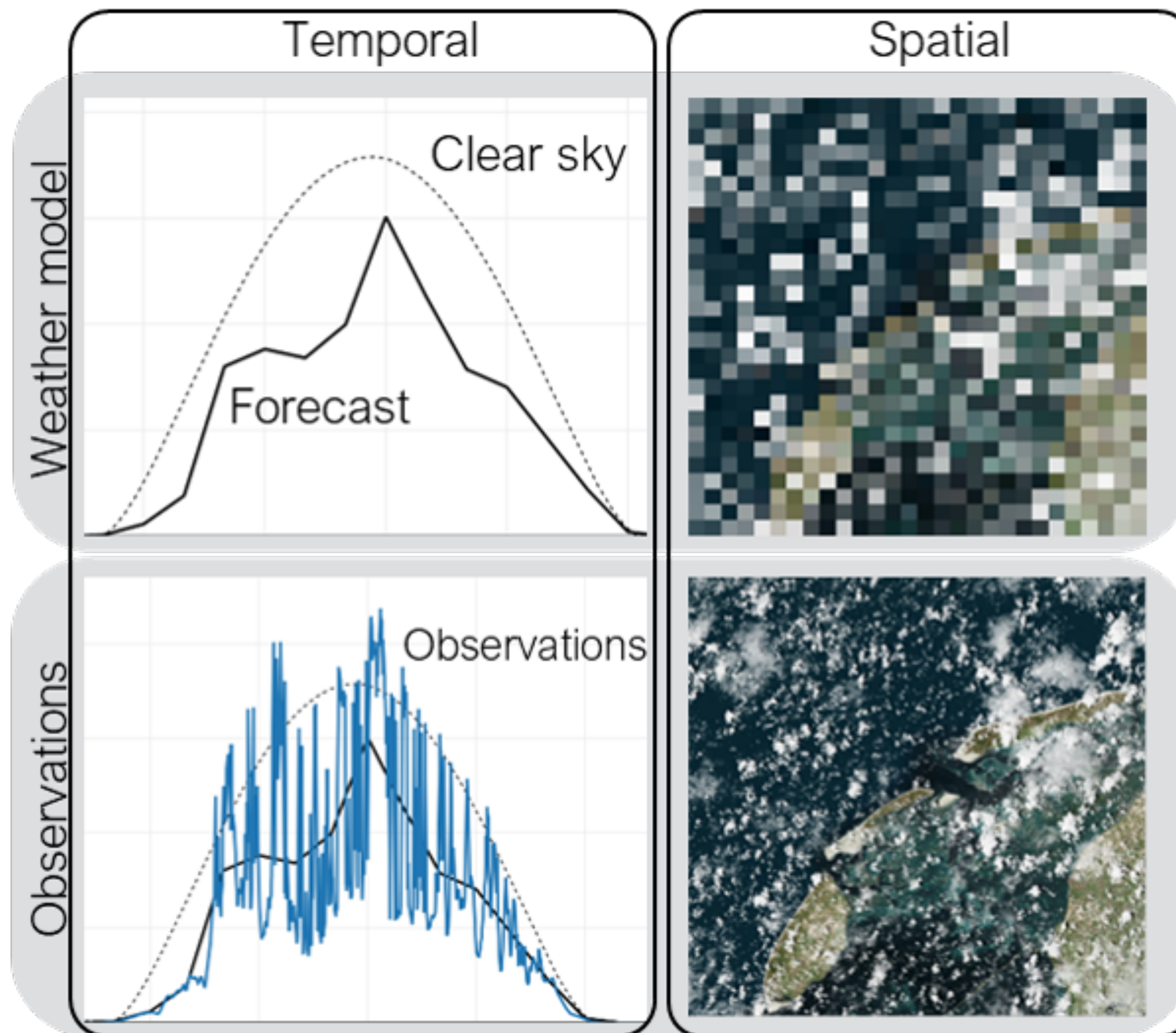


Kreuwel et al., 2020: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.093>

Zichtbaar in overspanningsevents, maar vraagvariaties zijn belangrijker



Onze huidige generatie weermodellen kunnen deze variabiliteit niet reproduceren



Een nieuwe generatie weermodellen: large-eddy simulatie

De virtual reality van een nieuwe-generatie-weermodel



SURF Snellius supercomputer in Amsterdam

$$\frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0 \tilde{u}_i \tilde{u}_j}{\partial x_j} - \frac{\partial \pi}{\partial x_i} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0 \tau_{ij}}{\partial x_j} + \delta_{i3} g \frac{\tilde{\theta}'_v}{\theta_{v0}} + F_i.$$

In this equation, a tensor τ_{ij} is defined as

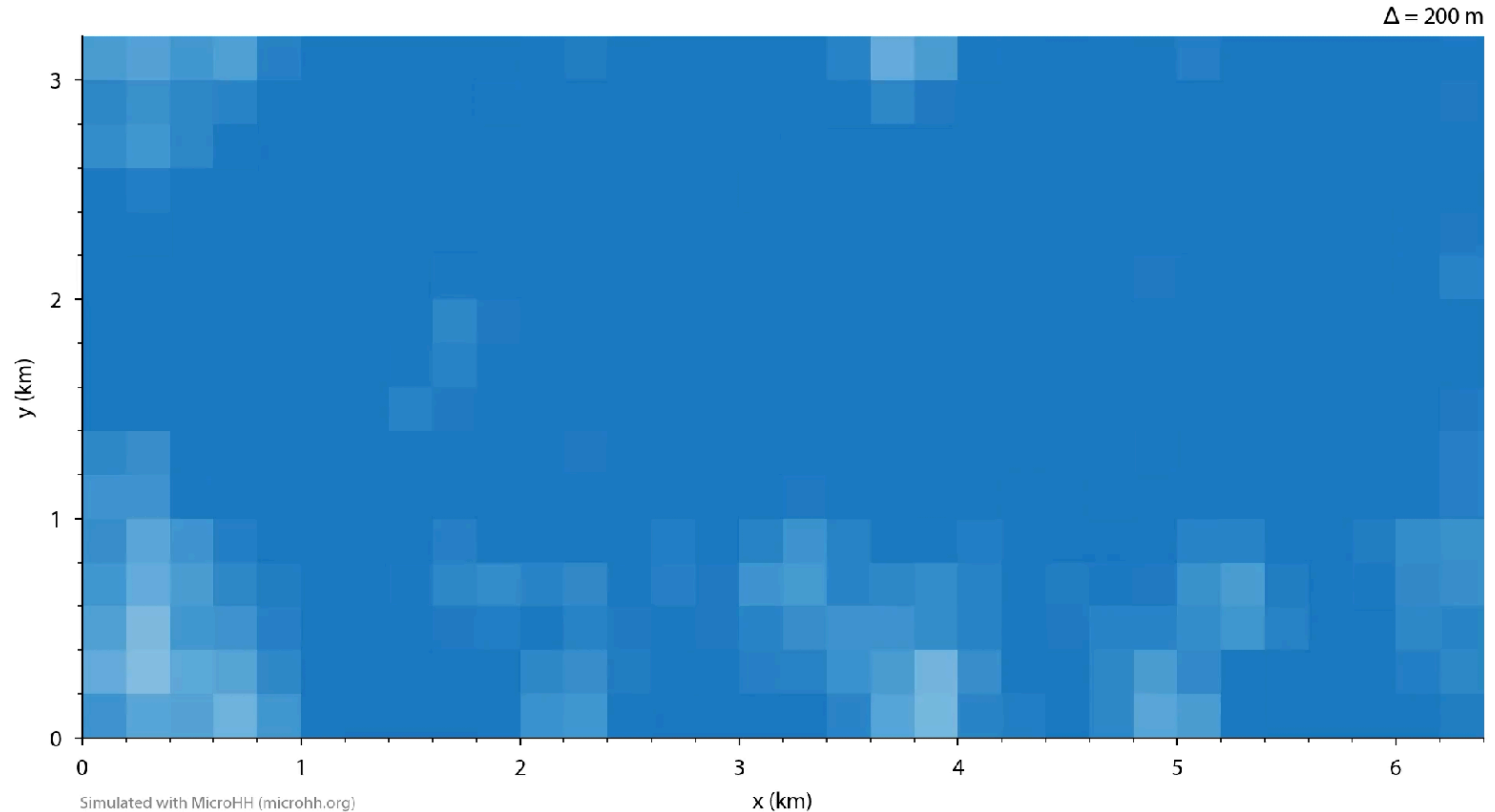
$$\tau_{ij} \equiv \widetilde{u_i u_j} - \tilde{u}_i \tilde{u}_j - \frac{1}{3} (\widetilde{u_i u_i} - \tilde{u}_i \tilde{u}_i).$$

Complexe vergelijkingen



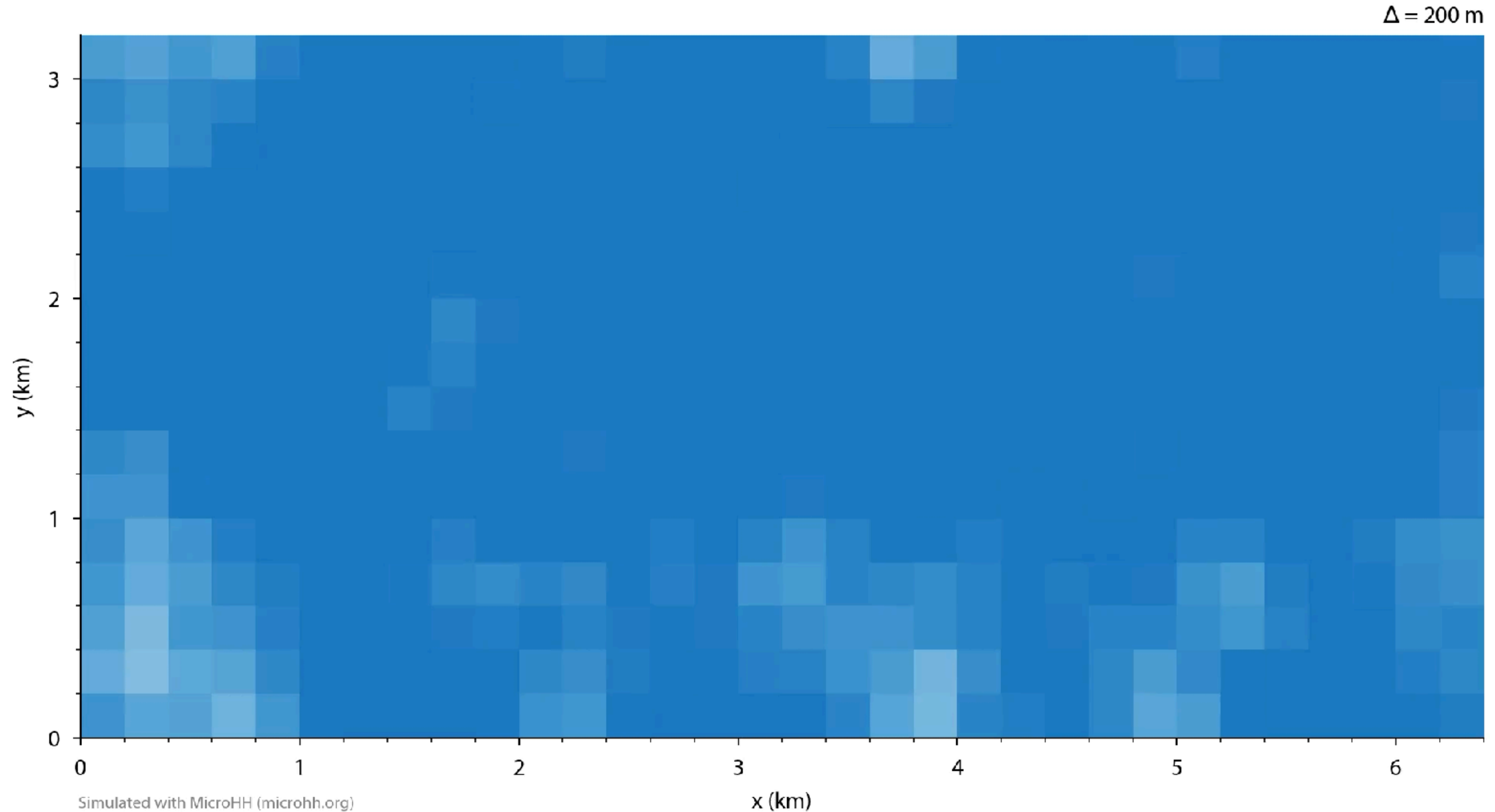
De wereld gevangen in een 3D-grid

Van de eerste wolksimulaties in 1976 tot het detailniveau van vandaag...



Bovenaanzicht van wolken, een simulatie seconde is 3 minuten in werkelijkheid. Zie <https://vimeo.com/channels/microhh>

Van de eerste wolksimulaties in 1976 tot het detailniveau van vandaag...

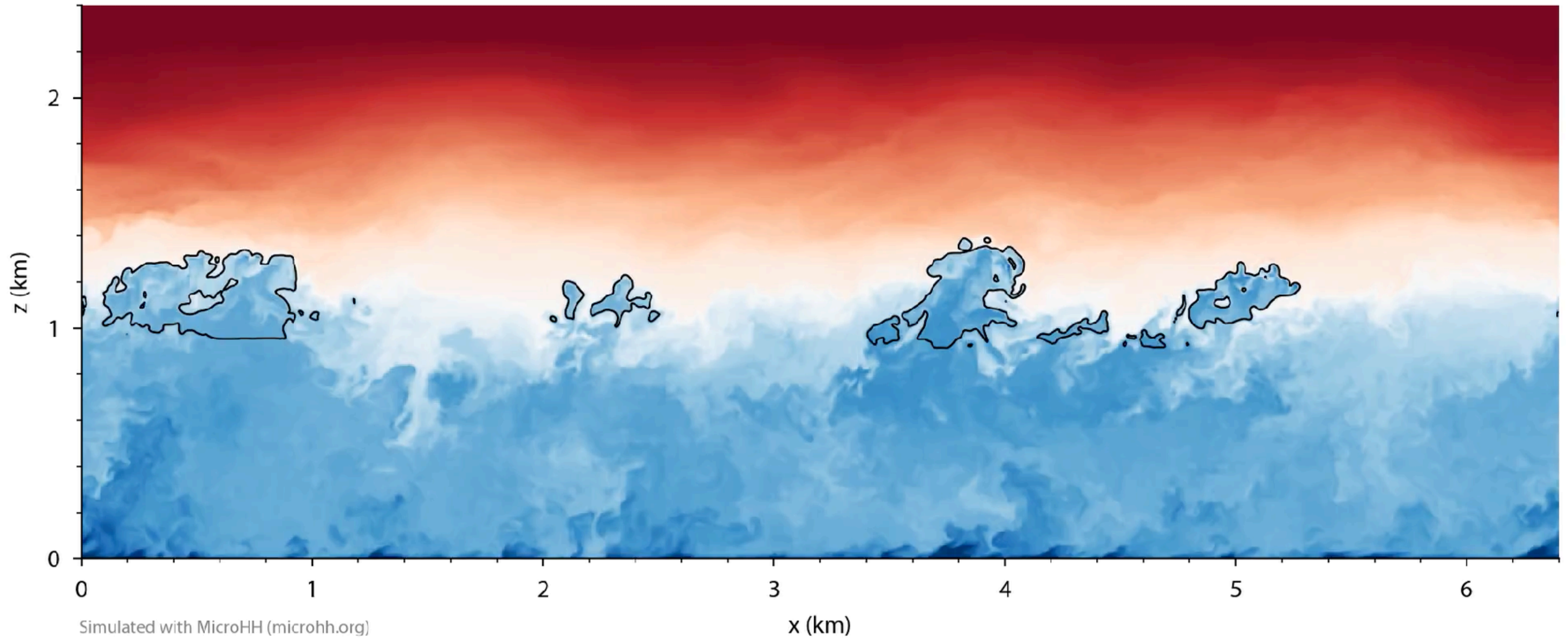


Bovenaanzicht van wolken, een simulatie seconde is 3 minuten in werkelijkheid. Zie <https://vimeo.com/channels/microhh>

Hoe hoog zweeft een typische cumuluswolk boven het landoppervlak in Nederland?

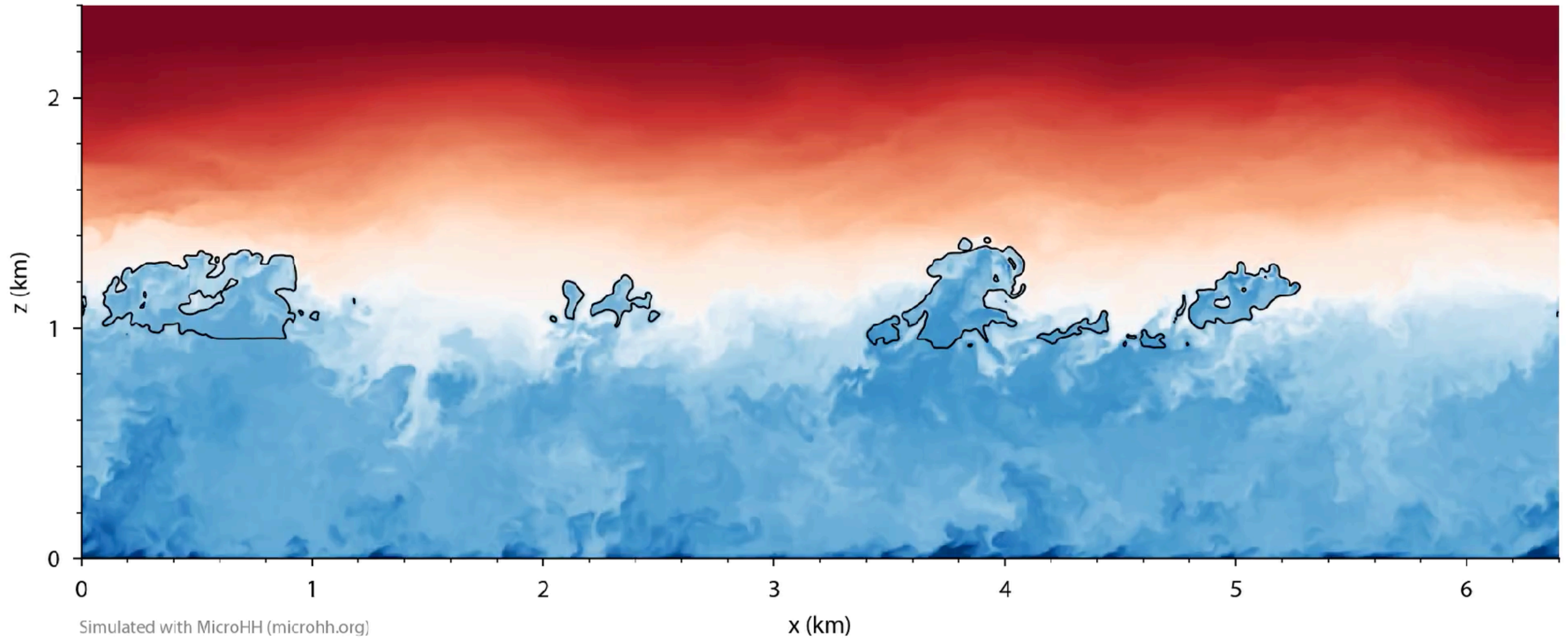
- A) ... ongeveer 100 m
- B) ... ongeveer 1.000 m
- C) ... ongeveer 5.000 m
- D) ... ongeveer 10.000 m

Wolken zitten op ongeveer een kilometer boven de grond



Blauw is natte lucht, *rood* is droge lucht. Wolkencontouren zijn **zwart**.

Wolken zitten op ongeveer een kilometer boven de grond

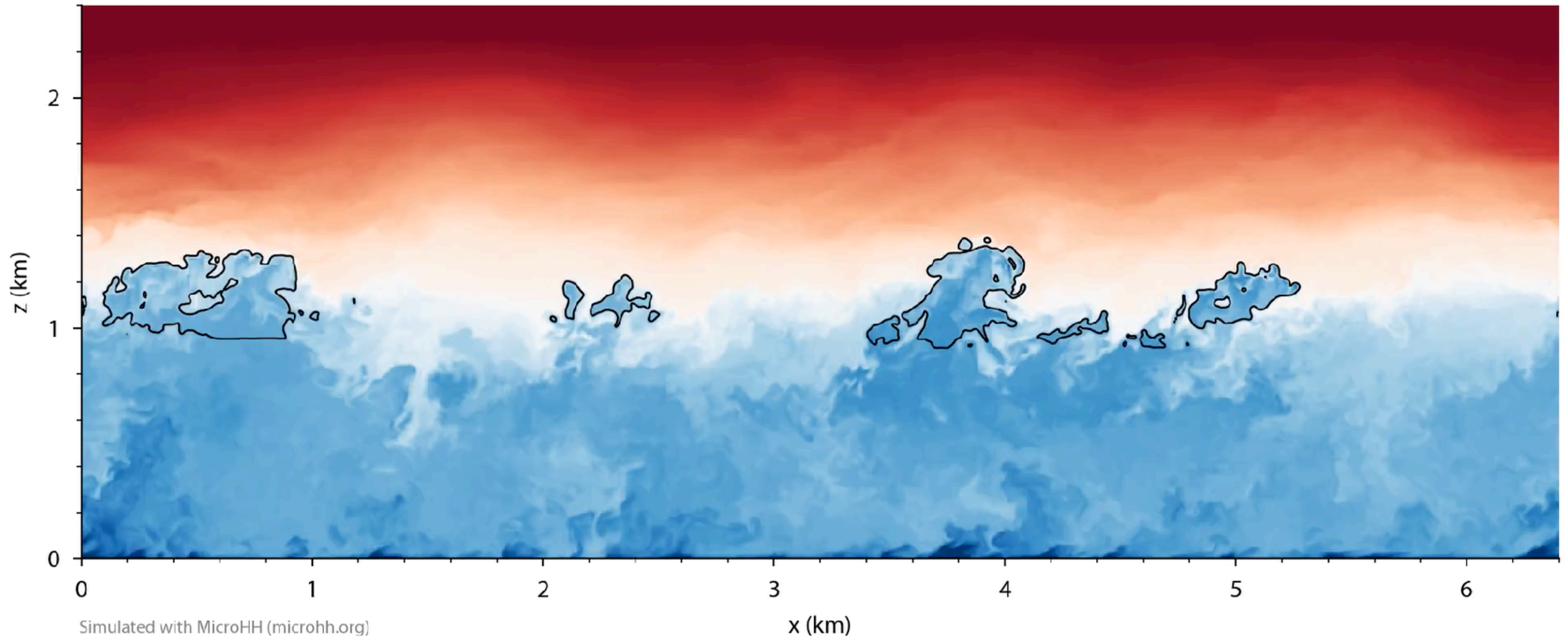


Blauw is natte lucht, *rood* is droge lucht. Wolkencontouren zijn **zwart**.

Hoe lang leeft een typische cumuluswolk?

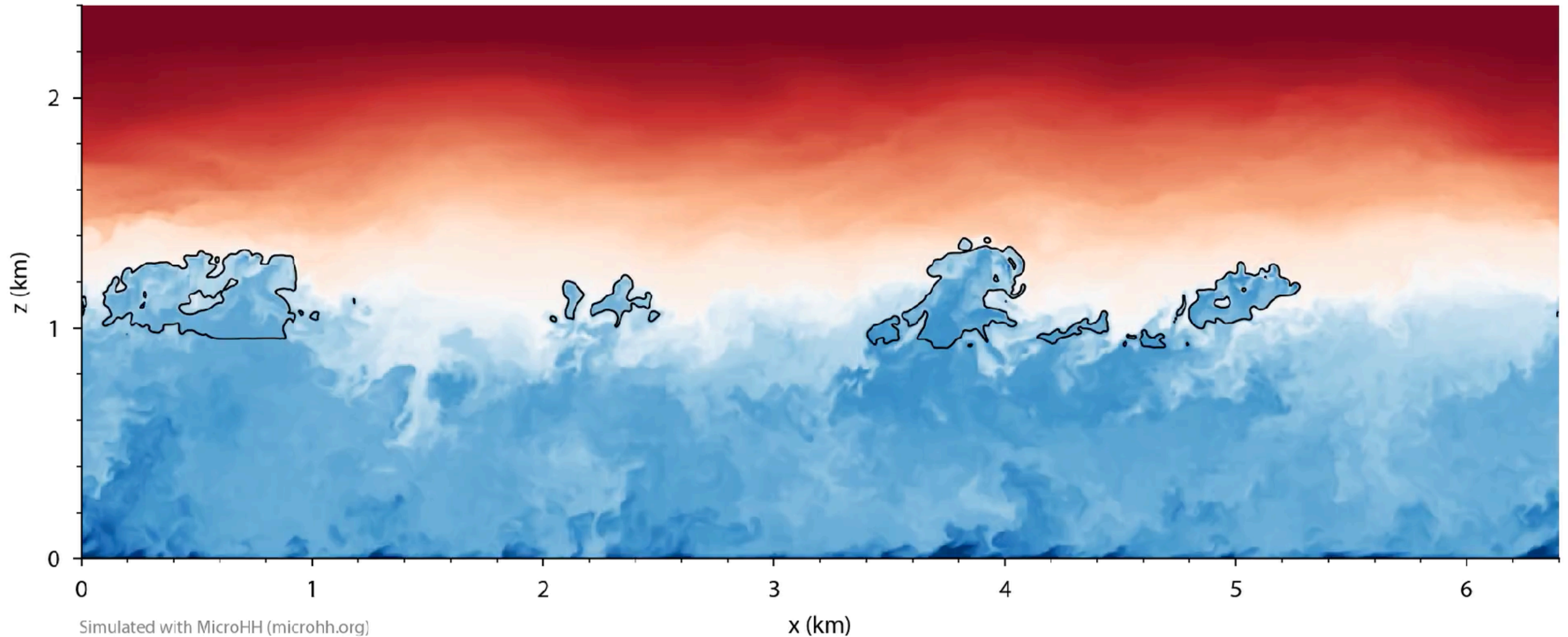
- A) ... ongeveer 10 seconden
- B) ... ongeveer 100 seconden
- C) ... ongeveer 1.000 seconden
- D) ... ongeveer 10.000 seconden

Wolken zijn het zichtbare deel van een vochtstructuur die ongeveer een kwartier leeft



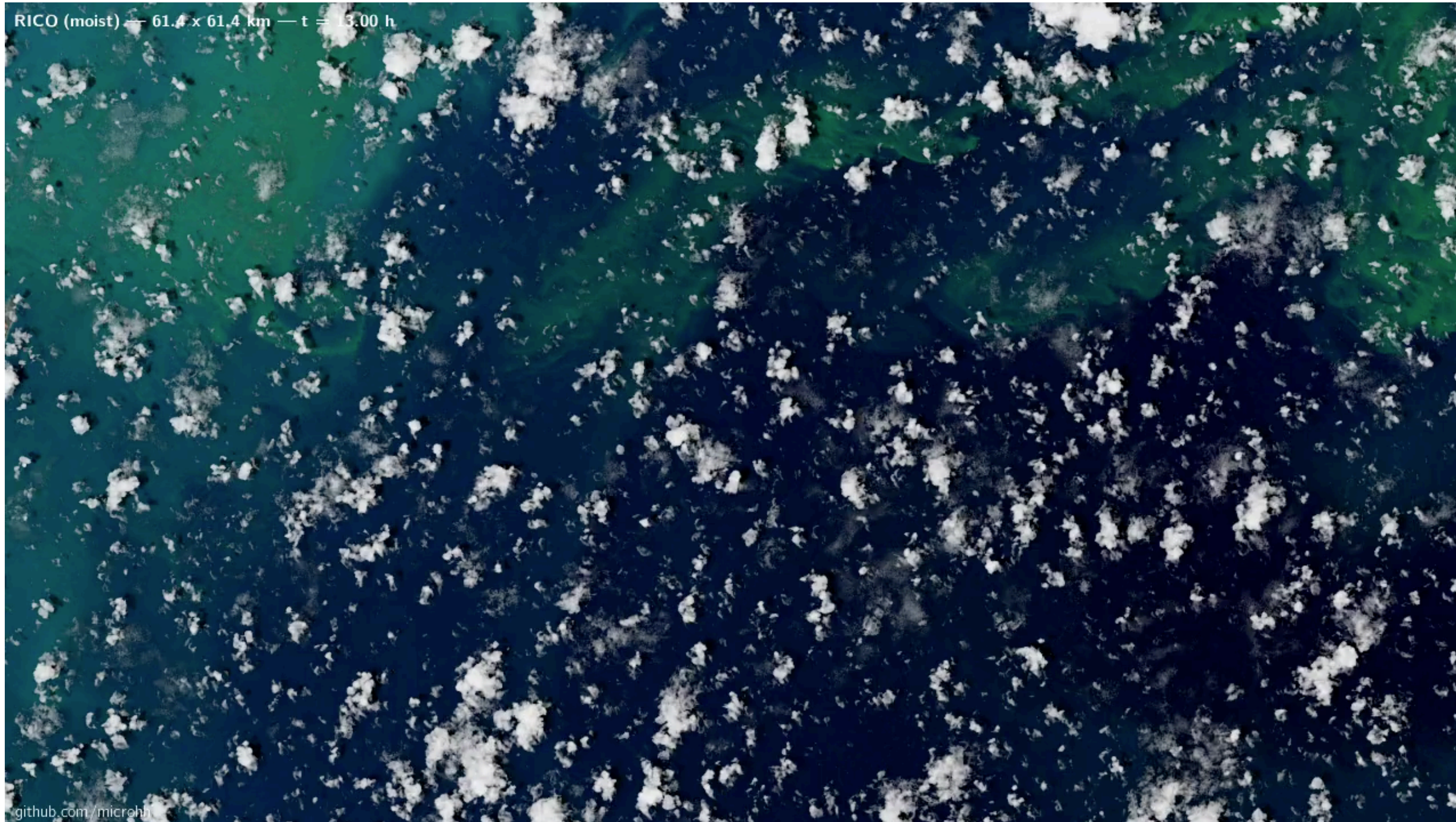
Blauw is natte lucht, *rood* is droge lucht. Wolkencontouren zijn **zwart**. Een seconde is 3 minuten in werkelijkheid.

Wolken zijn het zichtbare deel van een vochtstructuur die ongeveer een kwartier leeft



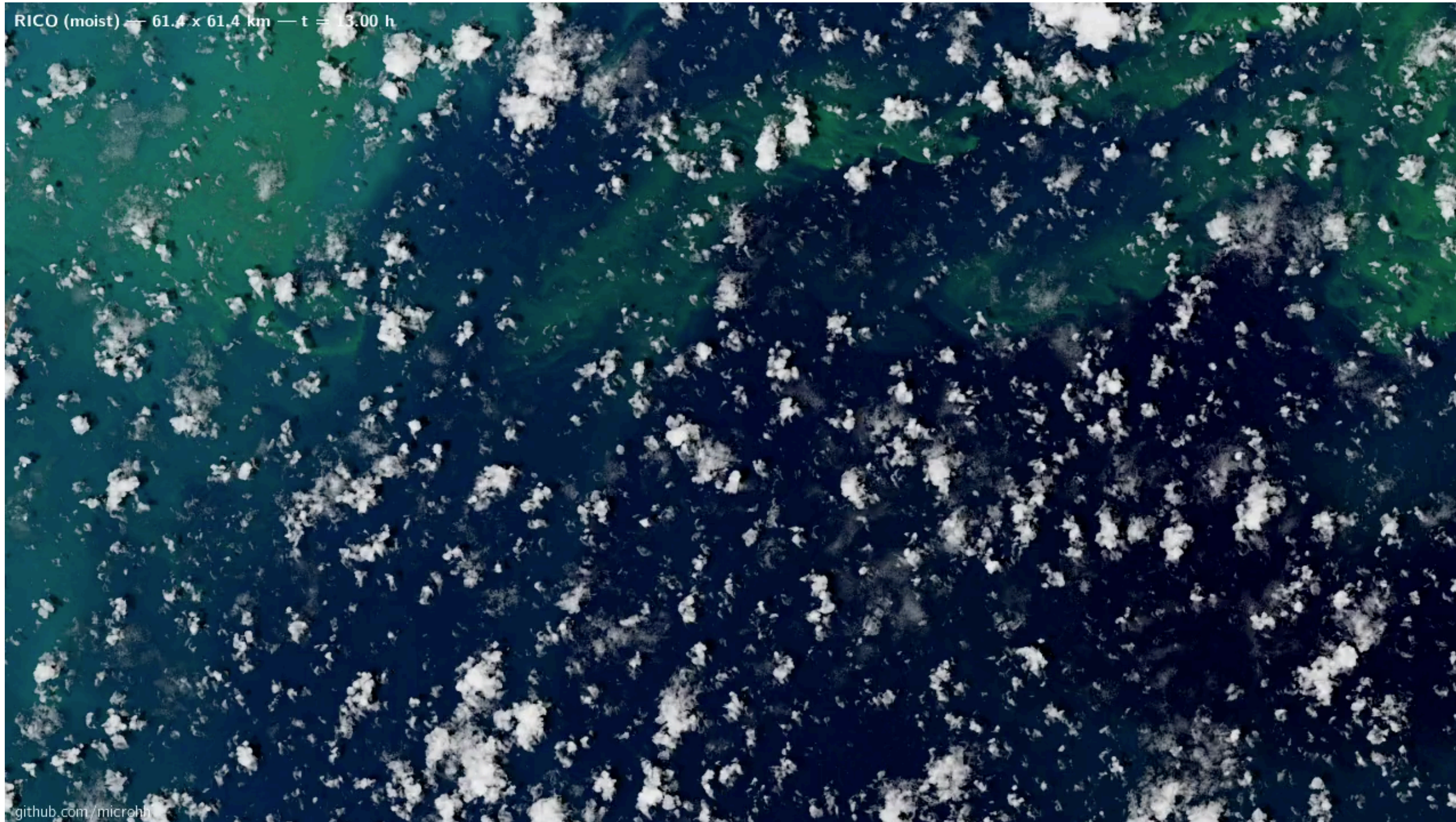
Blauw is natte lucht, *rood* is droge lucht. Wolkencontouren zijn **zwart**. Een seconde is 3 minuten in werkelijkheid.

Regen zorgt voor veel complexere en grotere wolkenpatronen



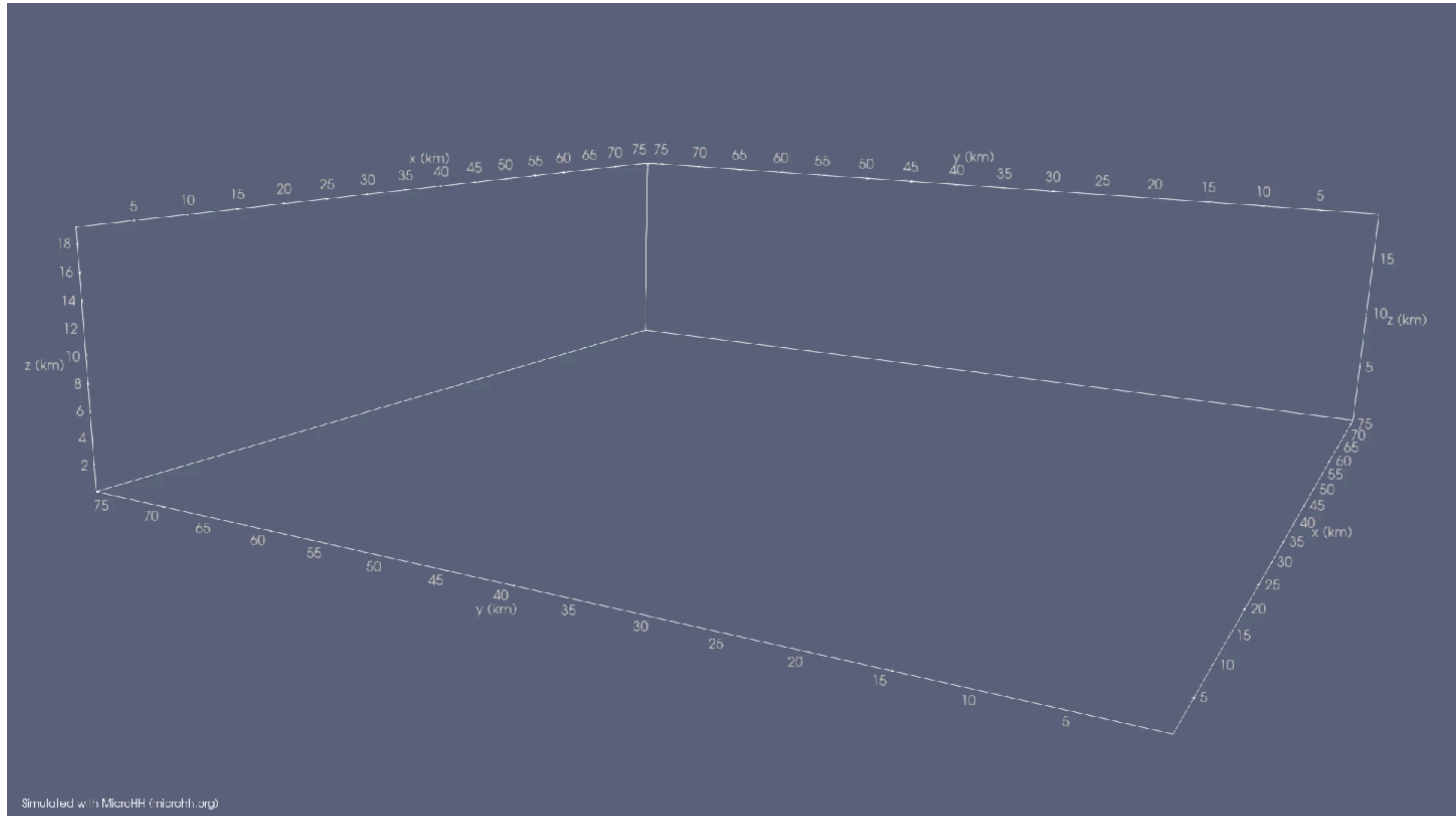
*Regenende wolken in de passaatwinden van de subtropen. Domein is 61.4 km breed.
Visualisatie door Bart van Stratum (vimeo.com/channels/microhh).*

Regen zorgt voor veel complexere en grotere wolkenpatronen



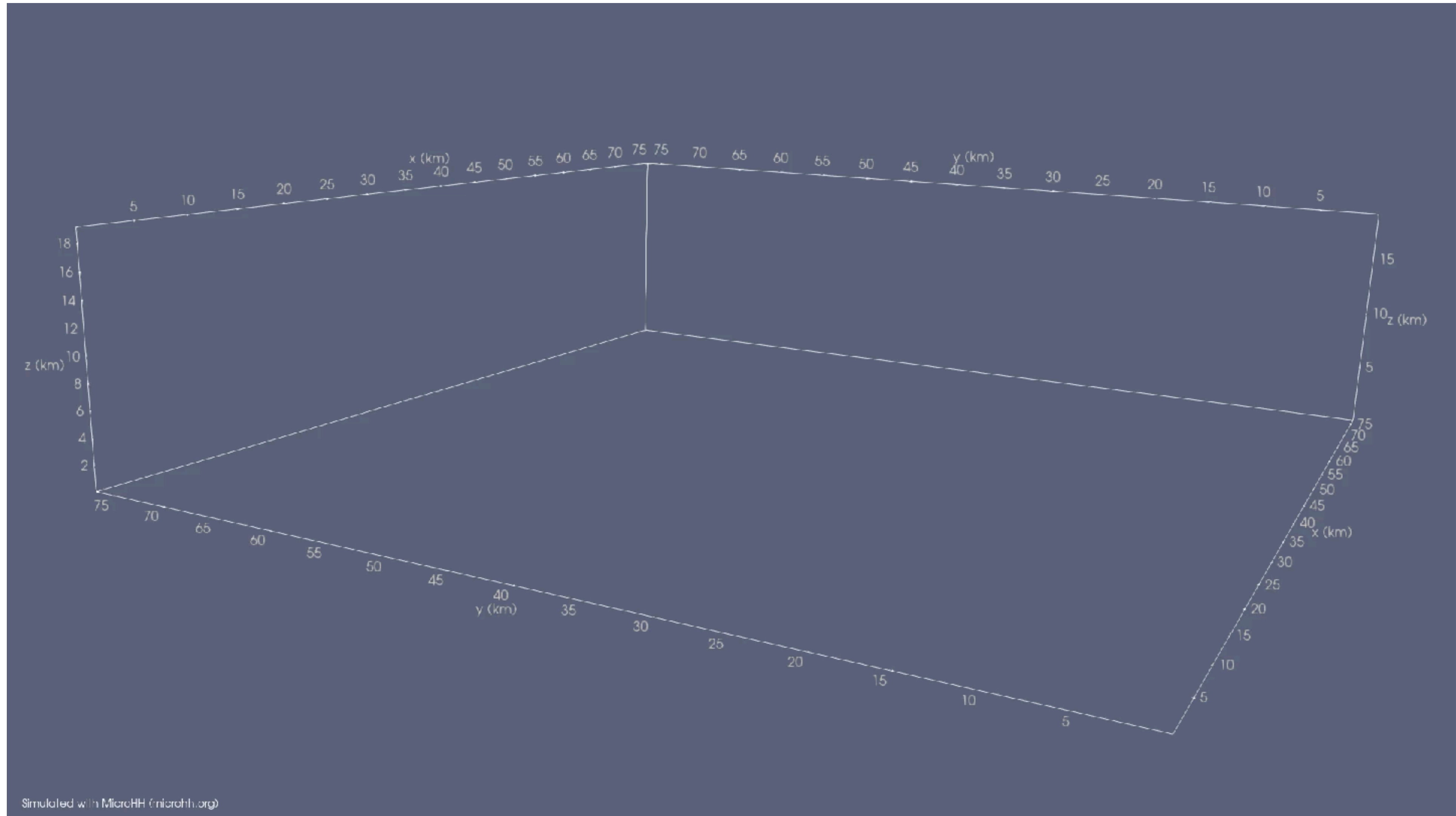
*Regenende wolken in de passaatwinden van de subtropen. Domein is 61.4 km breed.
Visualisatie door Bart van Stratum (vimeo.com/channels/microhh).*

En met wat ijs erbij wordt het nog complexer...



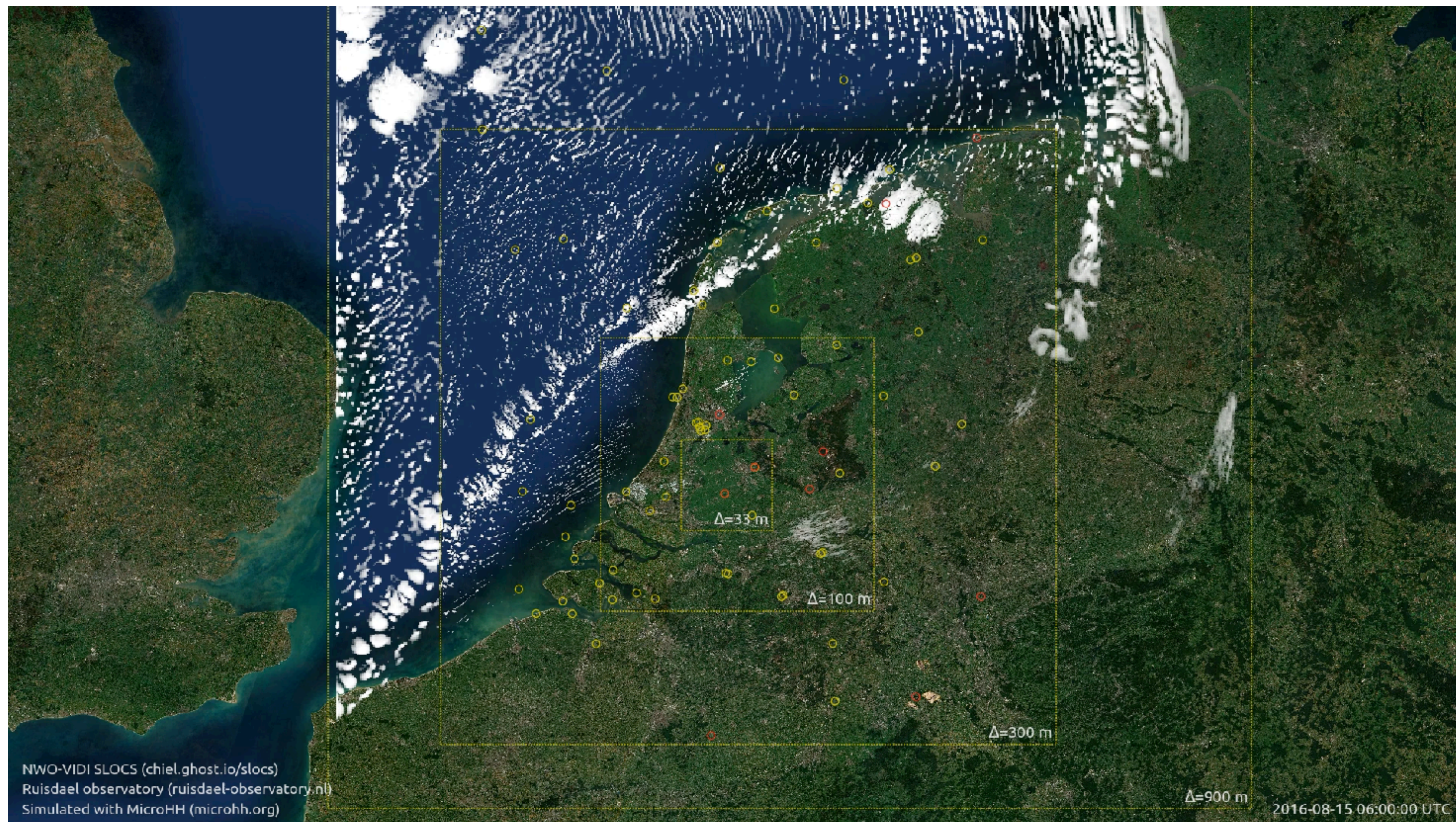
Een warme bubbel eindigt in een supercell-onweersbui
vimeo.com/channels/microhh.

En met wat ijs erbij wordt het nog complexer...



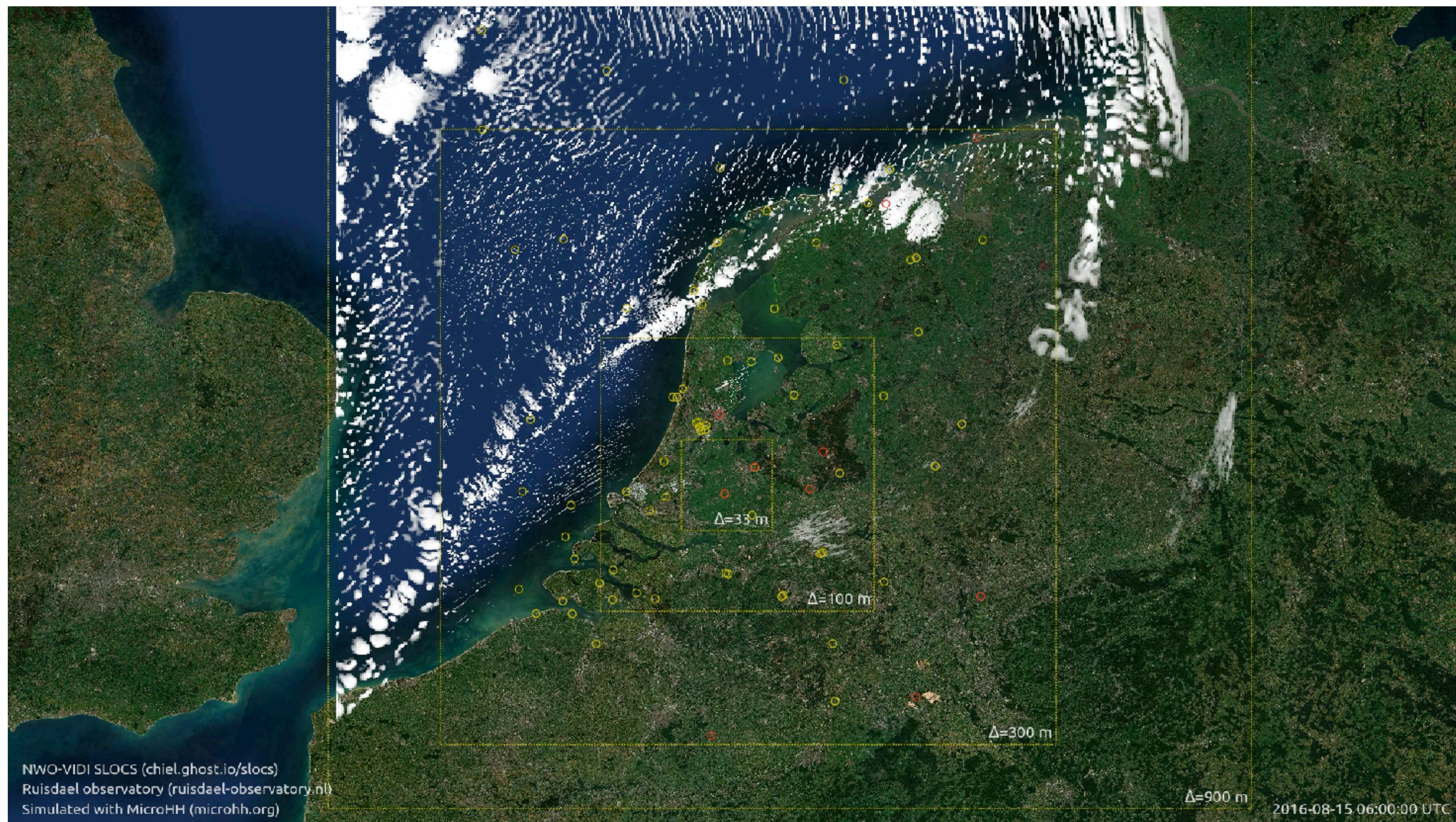
Een warme bubbel eindigt in een supercell-onweersbui
vimeo.com/channels/microhh.

Het detailniveau van de volgende generatie weermodellen



Bekijk nogmaals op vimeo.com/channels/microhh (Visualisatie gemaakt door Bart van Stratum)

Het detailniveau van de volgende generatie weermodellen



Bekijk nogmaals op vimeo.com/channels/microhh (Visualisatie gemaakt door Bart van Stratum)

Ultieme weersvoorspelling voorspelt de eigenschappen van schaduwen correct



Image by Oleksandr Ryzhkov on Freepik

Naar realistische straling

Het meten, simuleren, en begrijpen van
variabiliteit in zonnestraling
veroorzaakt door wolken

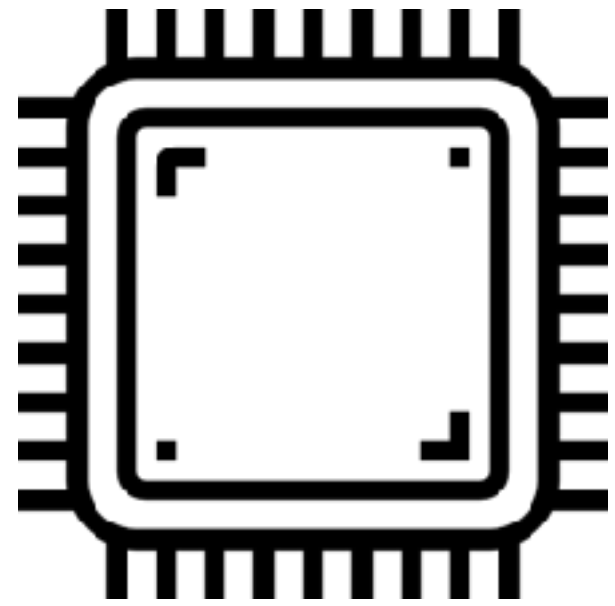
1. Observeren van variabiliteit

2. Simuleren van variabiliteit

3. Voorspellen van variabiliteit

Zie chiel.cloud voor een overzicht

Observeren: een nieuw goedkoop instrument om straling te meten



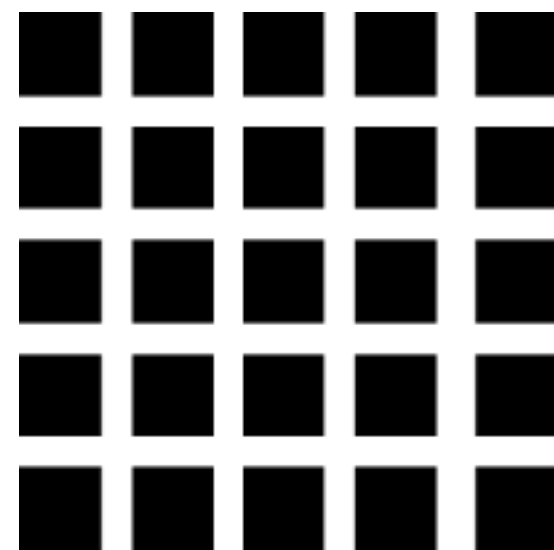
nieuwe sensortechnieken



18 golflengtes
UV - zichtbaar - nabij-infrarood



10 metingen per seconde



50 m afstand

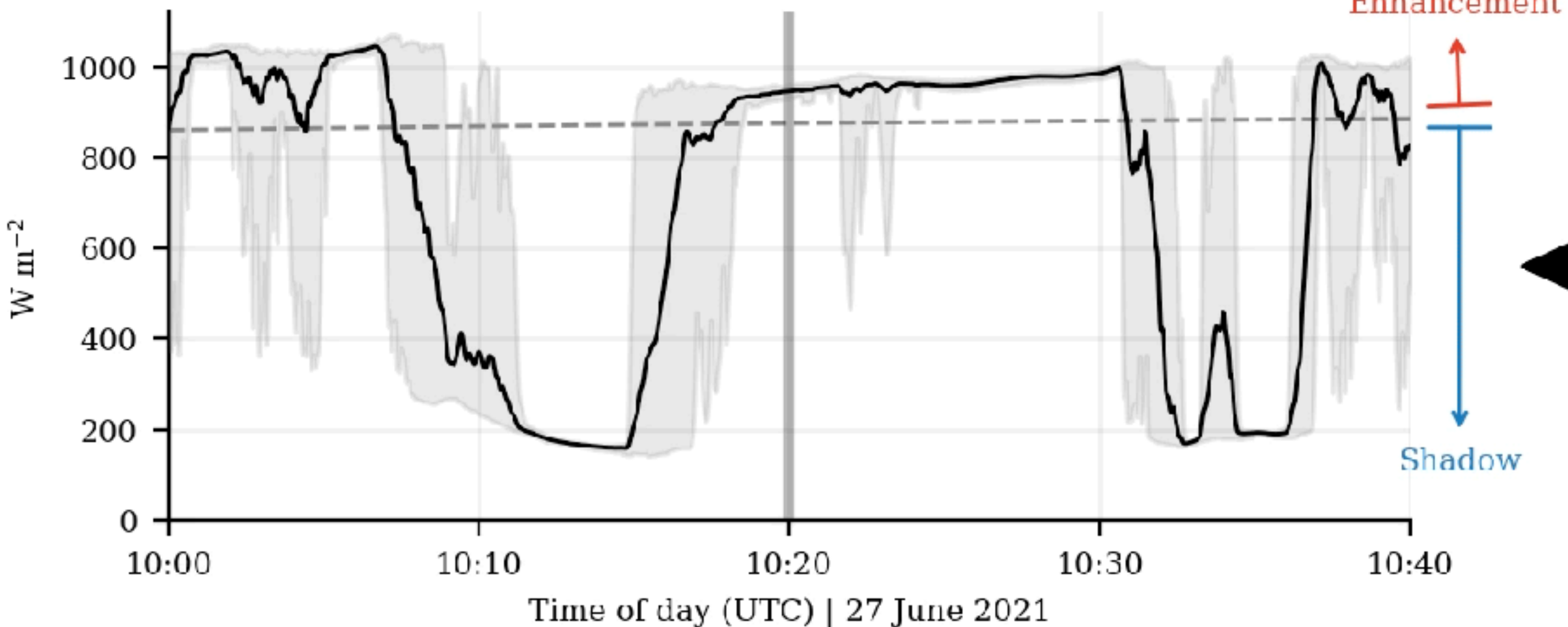


Wolkenschaduwen meten tijdens de FESSTVaL meetcampagne

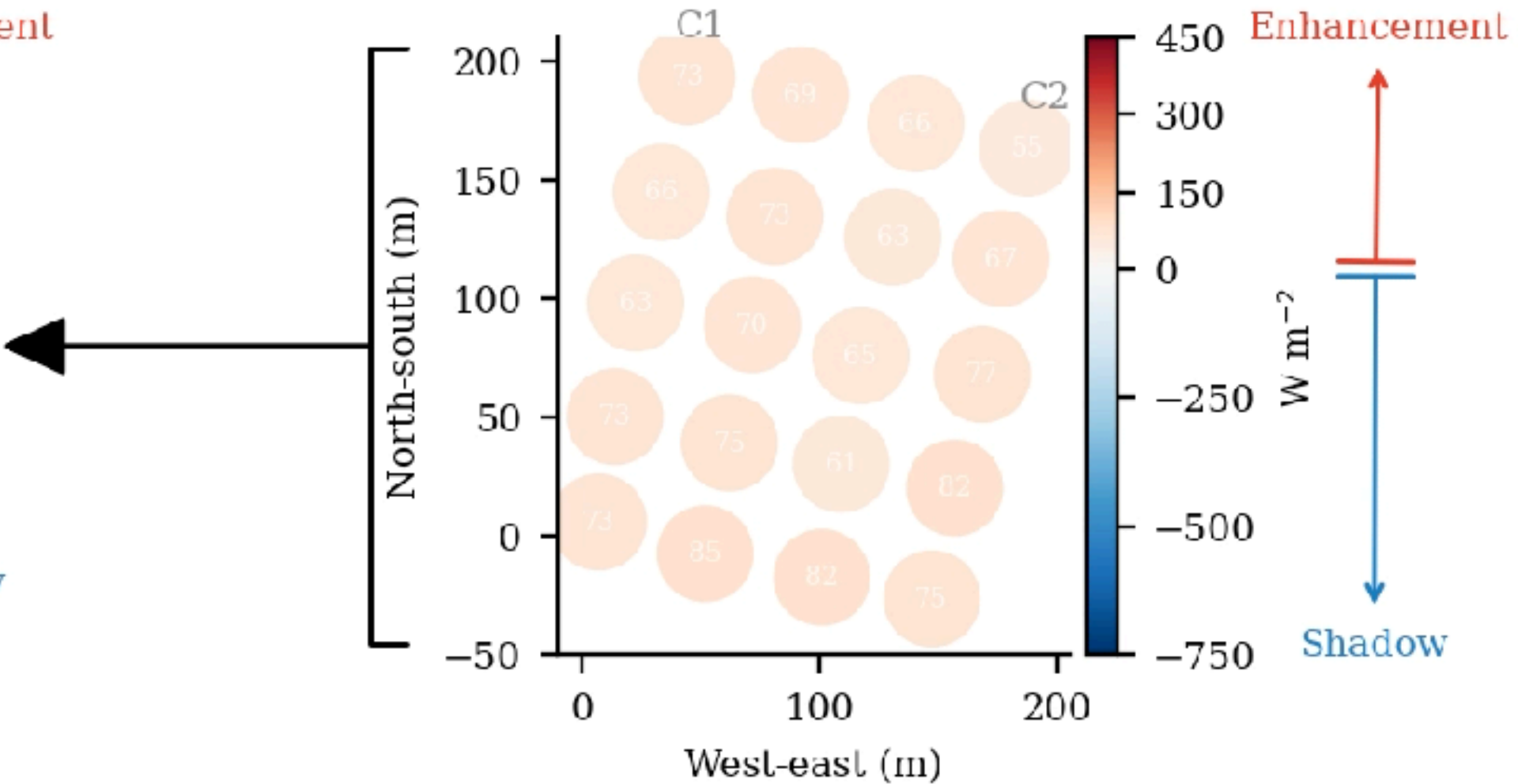


Visualisatie gemaakt door Wouter Mol

Time series measurements
10:20



Network measurements

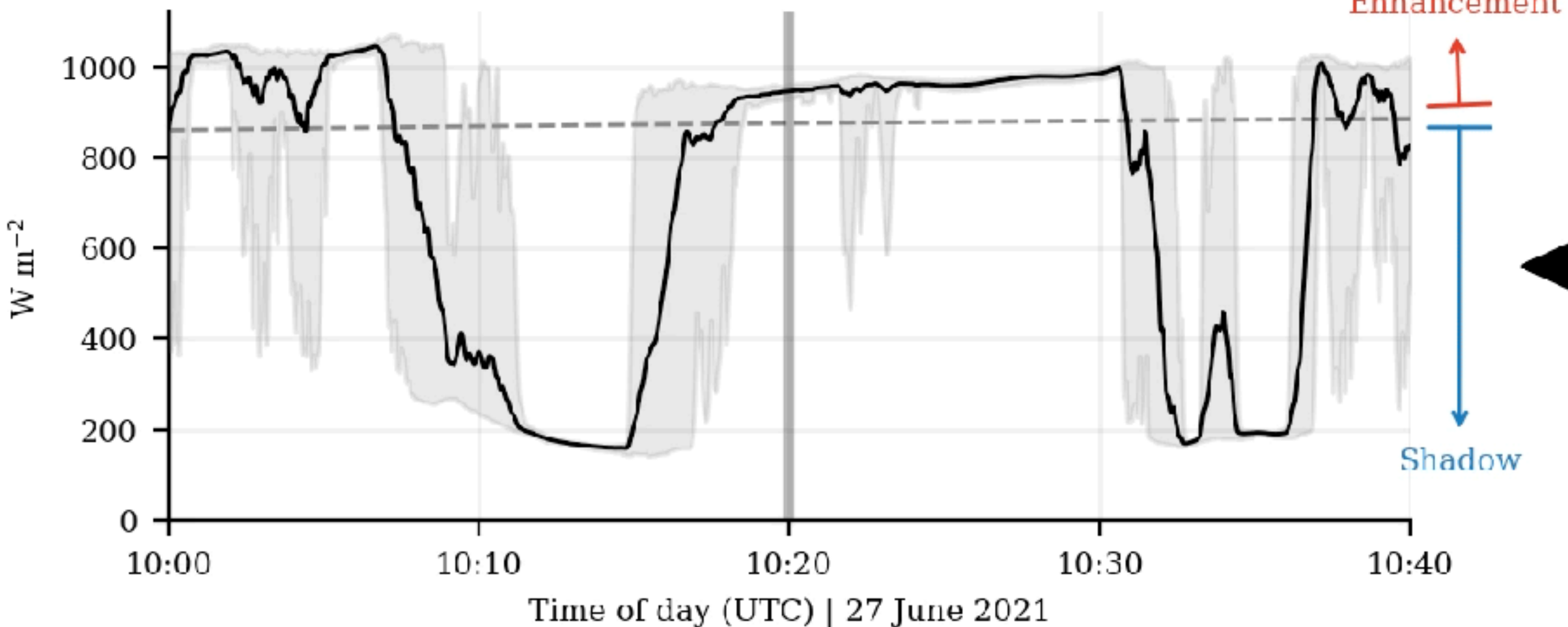


Wolkenschaduwen meten tijdens de FESSTVaL meetcampagne

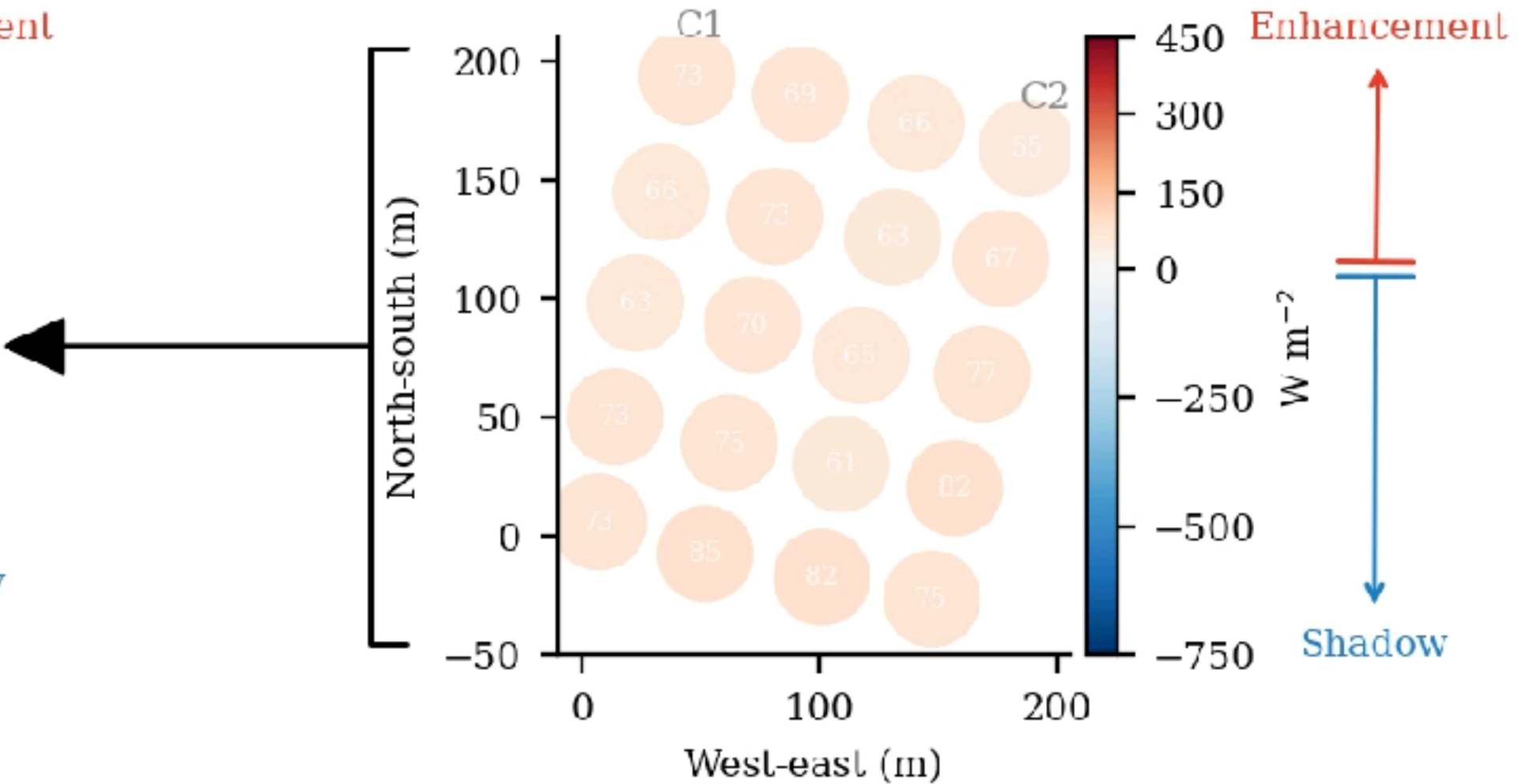


Visualisatie gemaakt door Wouter Mol

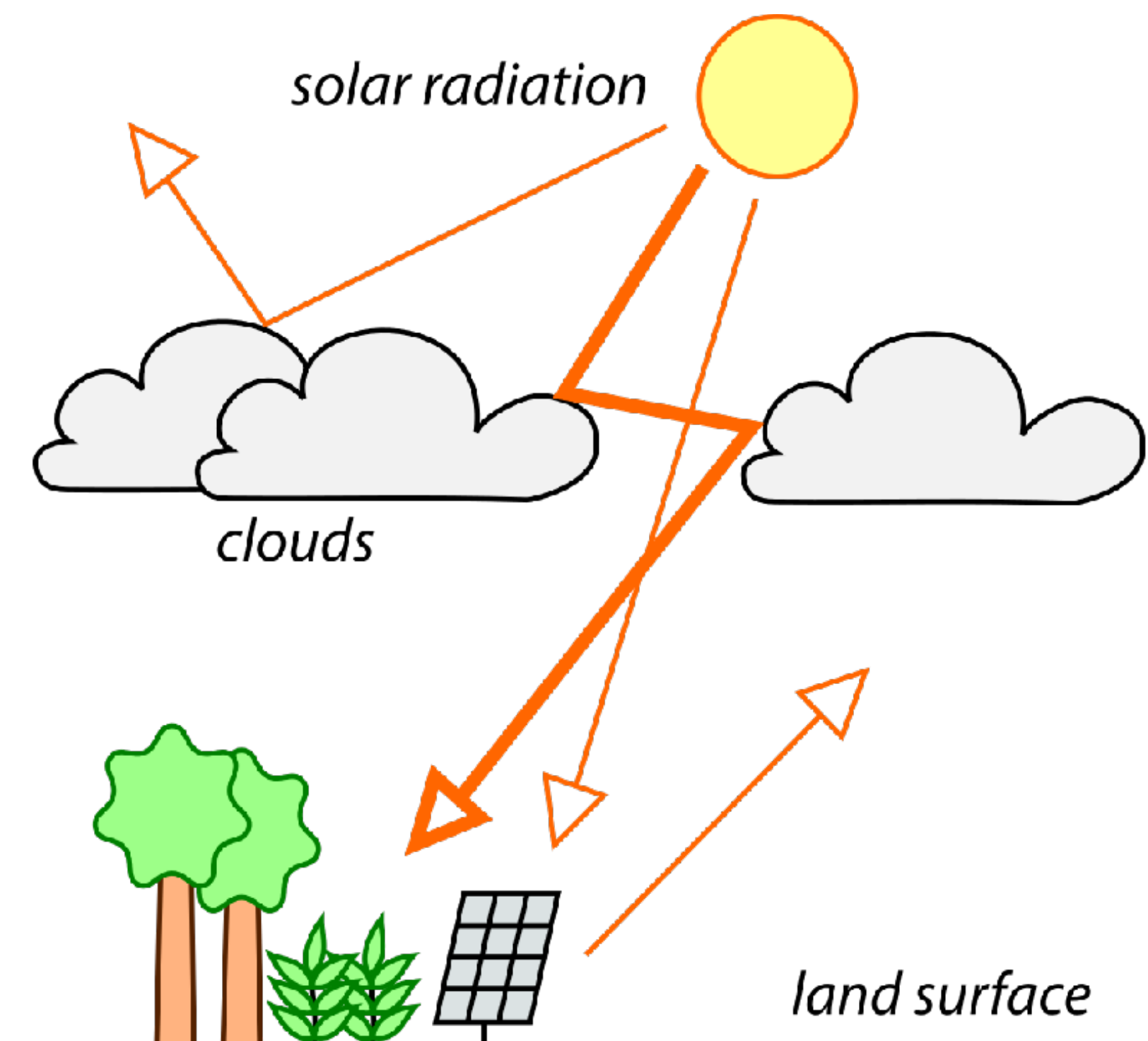
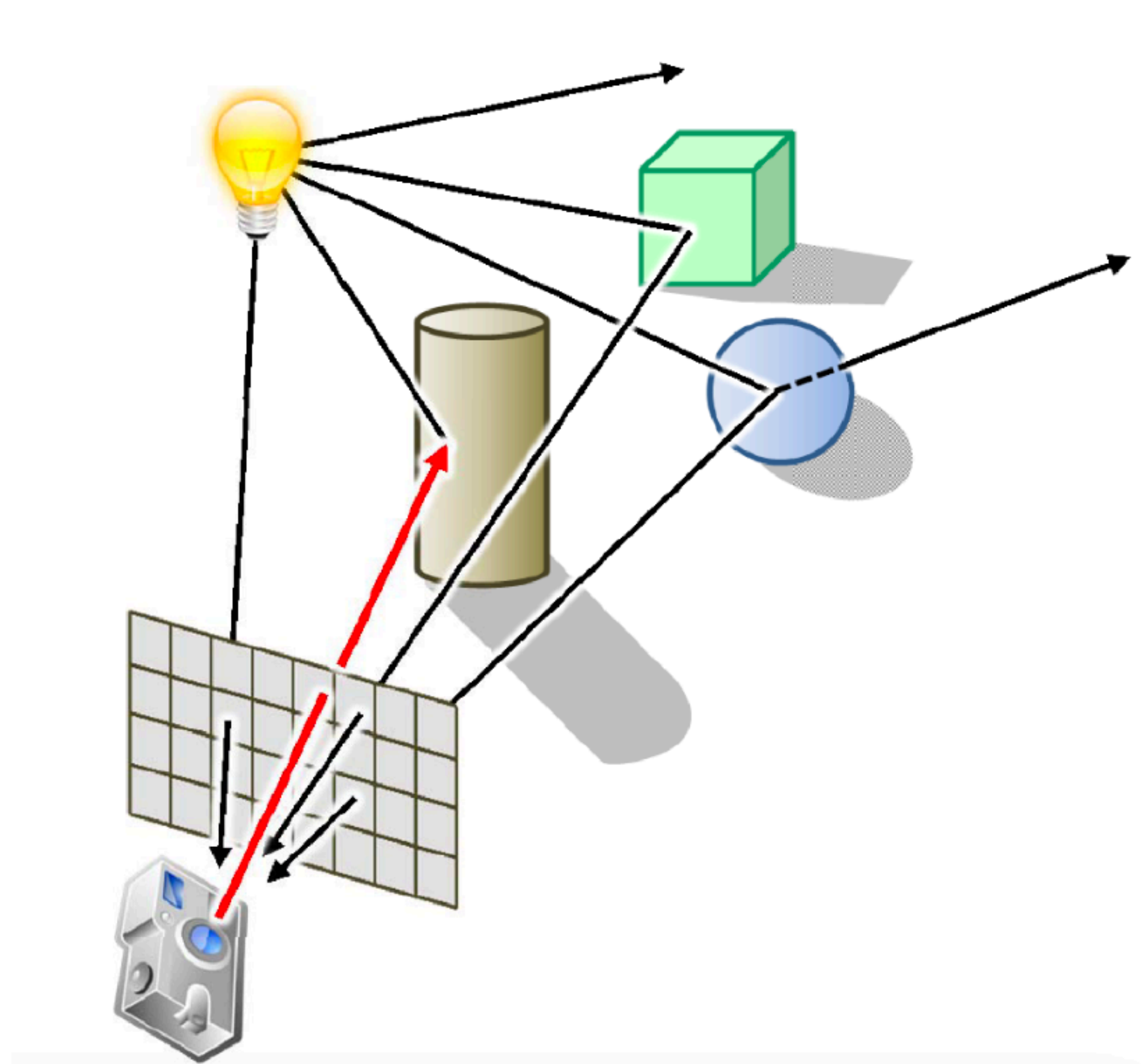
Time series measurements
10:20



Network measurements



Simuleren: het volgen van fotonen door een wolkenveld met ray tracing



Figuur uit Retzlaff et al. (2017)



netherlands

eScience center

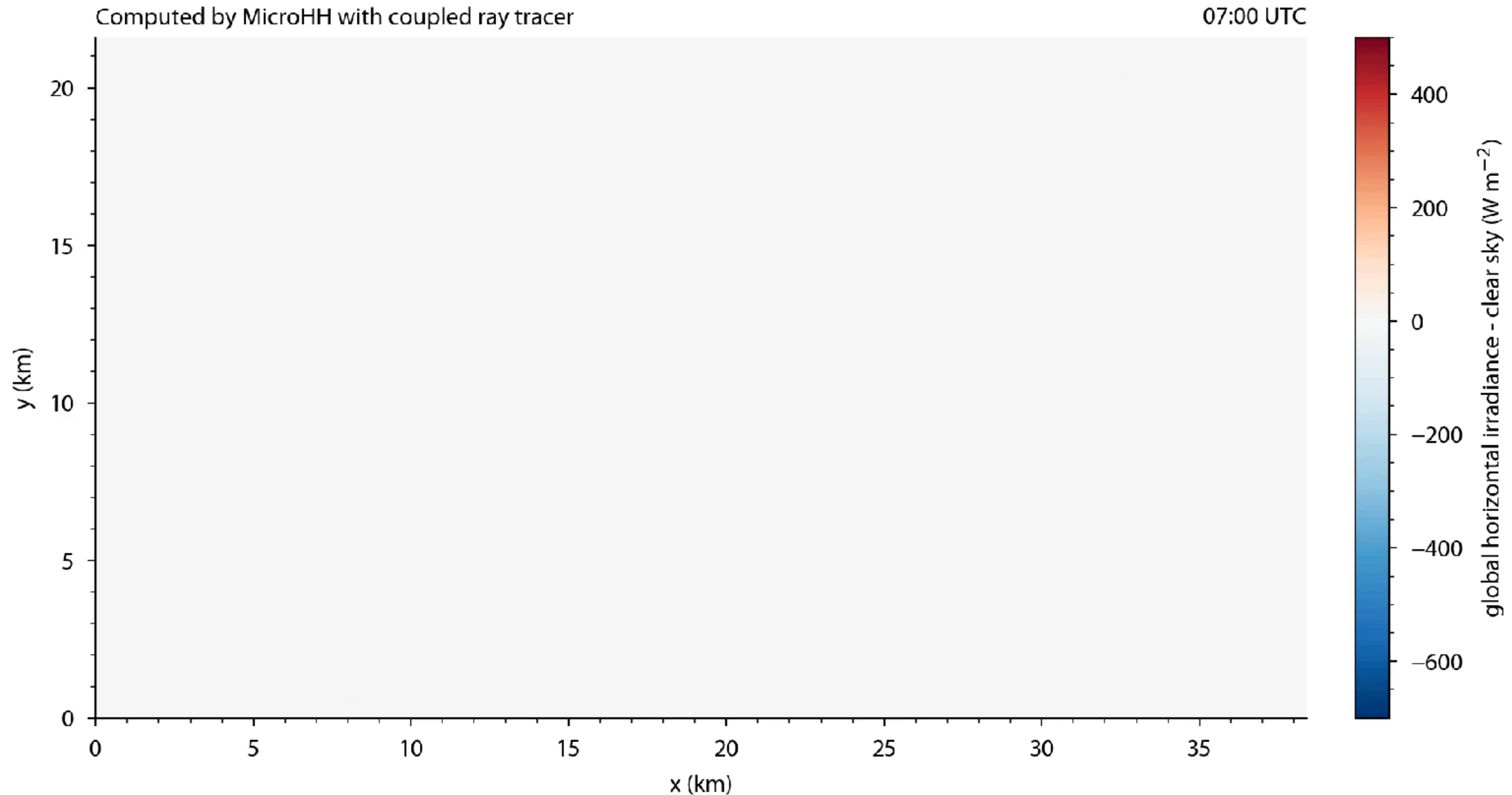


Visualisatie gemaakt door Menno Veerman (vimeo.com/channels/microhh)



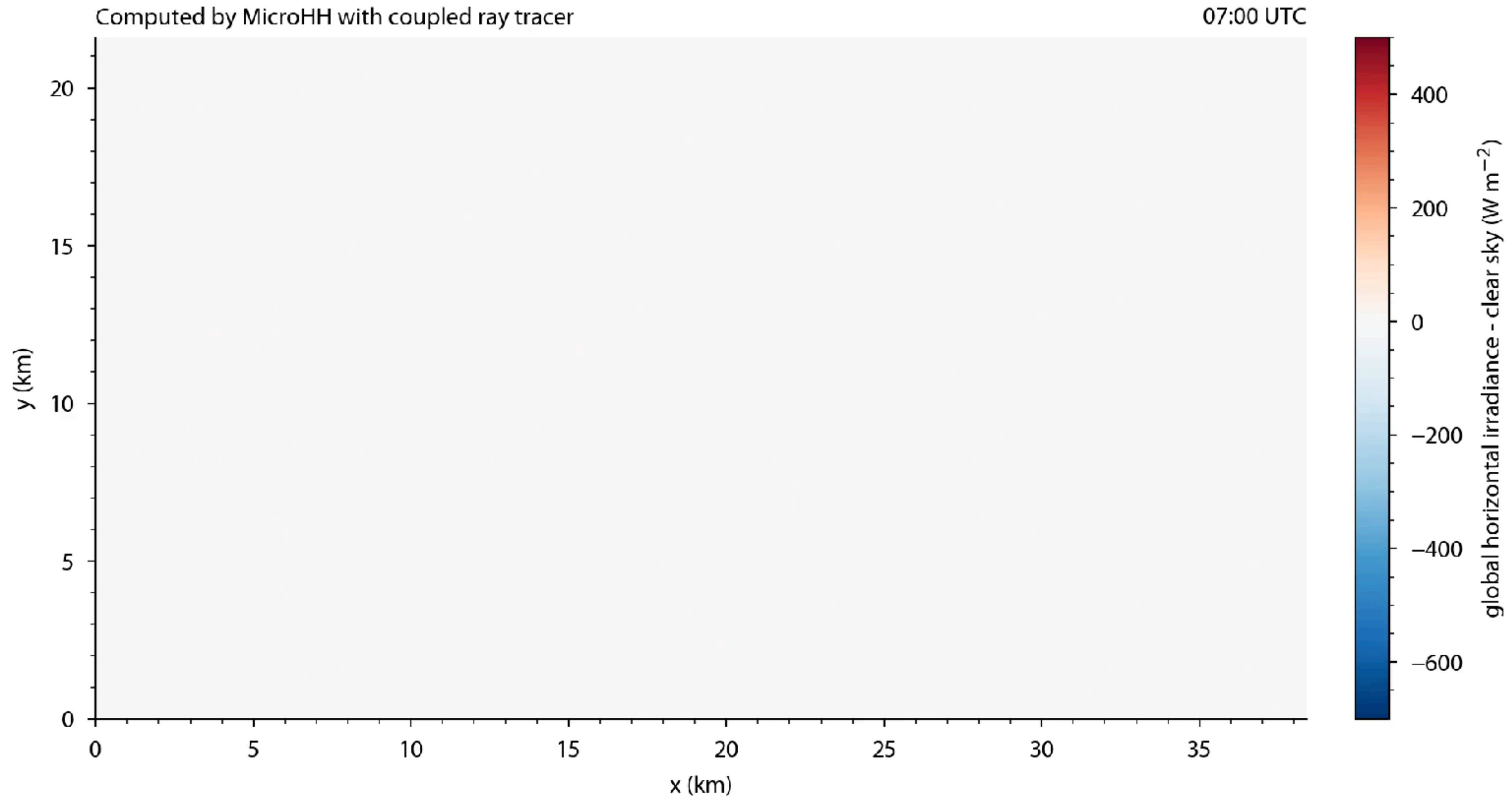
Visualisatie gemaakt door Menno Veerman (vimeo.com/channels/microhh)

Wolkenschaduwen met realistische patronen van zonnestraling



Blauw is minder zonnestraling dan onder een blauwe lucht, *rood* is meer straling. Wolkenprojecties zijn **zwart**.

Wolvenschaduwen met realistische patronen van zonnestraling



Blauw is minder zonnestraling dan onder een blauwe lucht, *rood* is meer straling. Wolkenprojecties zijn **zwart**.

SunChain 2024: Wolken, stralingsvariabiliteit, en de impact op netbeheer

Email: chiel.vanheerwaarden@wur.nl

Website: chiel.cloud

