

Wolkenfysica Simulatie

- Onderwerpen uit:
 - Aardrijkskunde
 - Natuurkunde
 - Biologie
 - Wiskunde
- Link met NLT-module 'Summer in the City'
- Andere simulaties:
 - Papegaaien populatie
 - Redox reacties voor bodemsanering



Wolkenfysica Simulatie

- Beta steunpunt: onderzoekend leren via simulaties
 - (Jeroen Sijbers, Guido Linssen, Durk Veenstra)
- Meteorologie en Luchtkwaliteit
 - (Jordi Vila, Arnold Moene)
- Qlvr

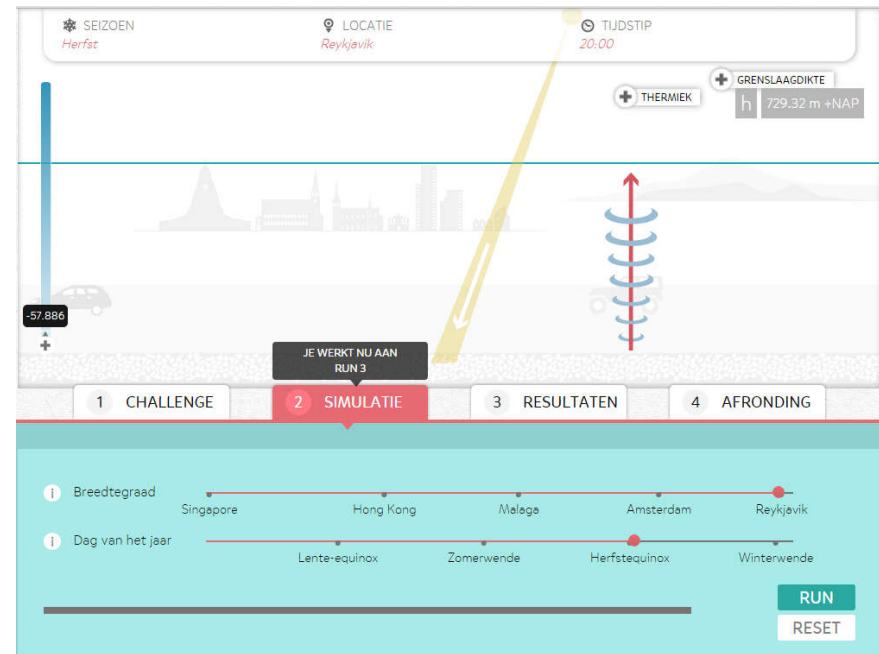
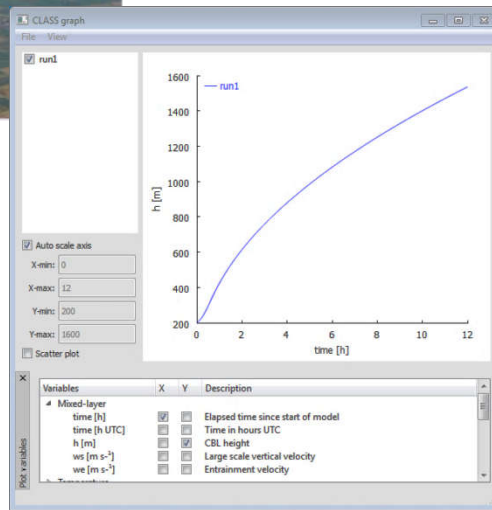
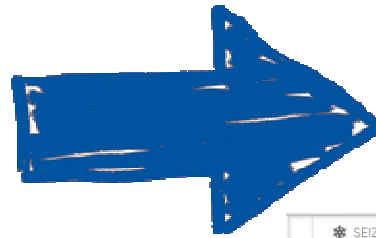
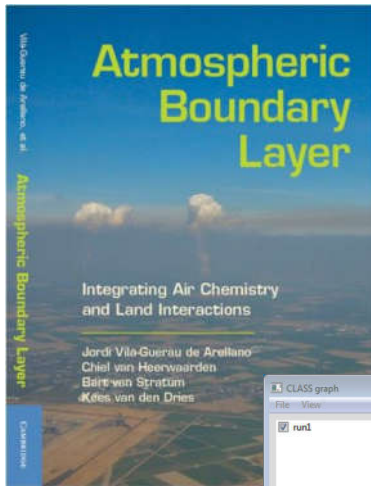


Wolkenfysica Simulatie



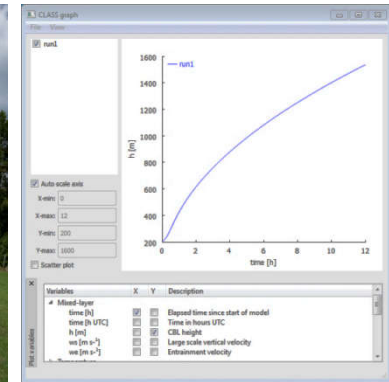
Arnold Moene, Guido Linssen en Tim Voskamp

CLASS → Wolkenfysica Simulatie



CLASS:
Chemistry Land-surface Atmosphere Soil Slab Model

Doelstellingen CLASS



■ Inhoudelijk:

- Begrijpen van het systeem bodem-vegetatie-atmosfeer (incl. chemie en wolken)

■ Pedagogisch:

- Ontwikkeling van wetenschappelijke methode
- Formuleren van onderzoeksvraag of werk-hypothese
- Ontwerp van numerieke experimenten
- Systematiseren

CLASS gebruikt in onderzoek

nature geoscience PUBLISHED ONLINE: 2 SEPTEMBER 2012 | DOI: 10.1038/NNGEO1554 **LETTERS**
Modelled suppression of boundary-layer clouds by plants in a CO₂-rich atmosphere
Jordi Vilà-Guerau de Arellano^{1*}, Chiel C. van Heerwaarden² and Jos Lelieveld^{3,4}

ROYAL METEOROLOGICAL SOCIETY **RMetS**
JOURNAL OF THE ROYAL METEOROLOGICAL SOCIETY
Metrol. Soc. 135: 1277–1291 (2009)
doi:10.1002/qj.431
(online 3 June 2009 in Wiley InterScience
(www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/qj.431)
Interactions between dry-air entrainment, surface evaporation and convective boundary-layer development
Chiel C. van Heerwaarden*, Jordi Vilà-Guerau de Arellano, Arnold F. Moene
and Albert A. M. Holtslag
Meteorology and Air Quality Section, Wageningen University, The Netherlands

JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 113, D12119, doi:10.1029/2007JD009583, 2008
Diurnal and vertical variability of the sensible heat and carbon dioxide budgets in the atmospheric surface layer
Pau Casso-Torralba,^{1,2} Jordi Vilà-Guerau de Arellano,² Fred Bosveld,³ Maria Rosa Alex Vermeulen,⁴ Cindv Werner,⁵ and Eddy Moors⁶

Atmos. Chem. Phys., 12, 9335–9353, 2012
www.atmos-chem-phys.net/12/9335/2012/
doi:10.5194/acp-12-9335-2012
© Author(s) 2012. CC Attribution 3.0 License.
Characterization of a boreal convective boundary layer and its impact on atmospheric chemistry during HUMPPA-COPEC-2010
H. G. Ouwersloot^{1,2}, J. Vilà-Guerau de Arellano¹, A. C. Nölscher², M. C. Krol¹, L. N. Ganzeveld³, C. Breitenberger²,
I. Mammarella⁴, J. Williams², and J. Lelieveld²

Atmospheric Chemistry and Physics





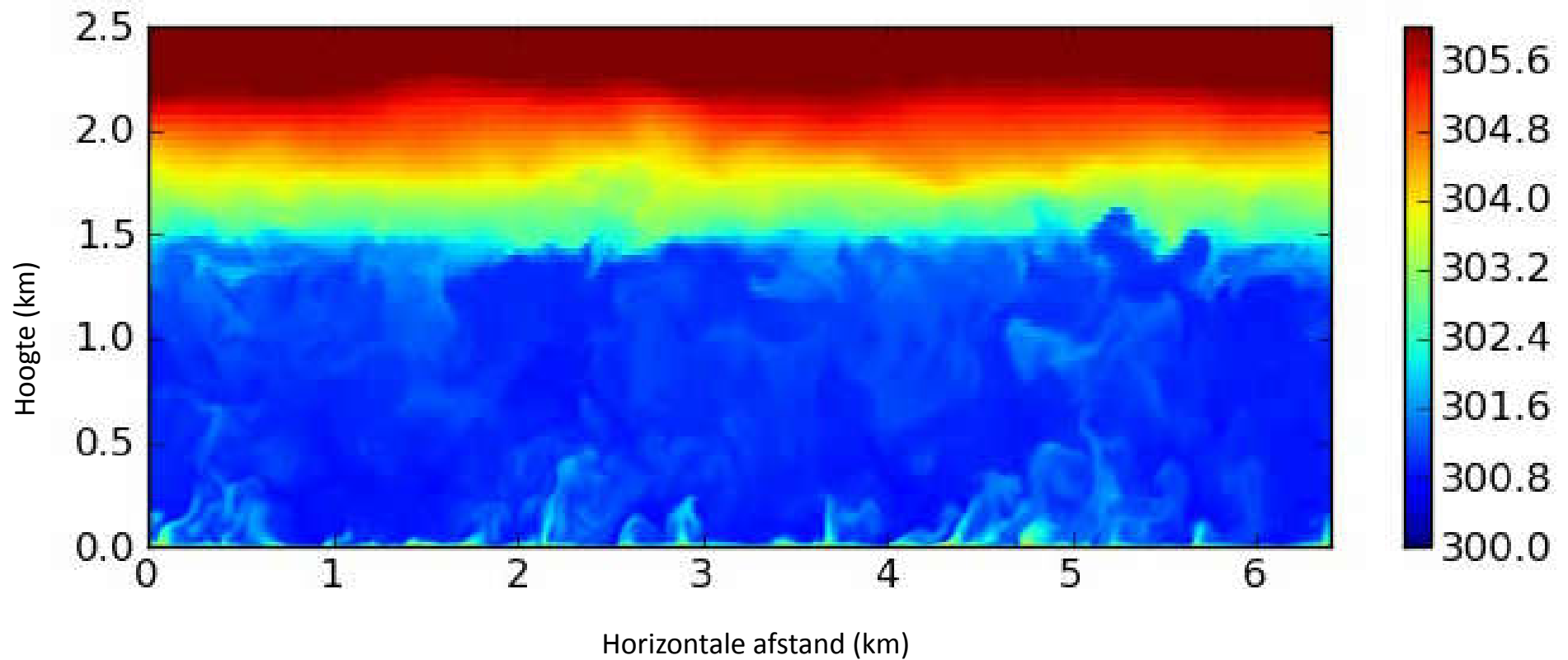
De grenslaag : een doos met hoogte h

'Vrije' troposfeer



Land: vegetatie en bodem

Potentiële temperatuur (K)



Wolkenfysica Simulatie

Vak: Natuurkunde



De leerling onderzoekt onder welke omstandigheden wolken worden gevormd in de atmosferische grenslaag.

[Docenten Info](#)

[Leerlingen Info](#)

[START DE SIMULATIE](#)

[NAAR BESTELFORMULIER](#)

WOLKENFYSICA SIMULATIE

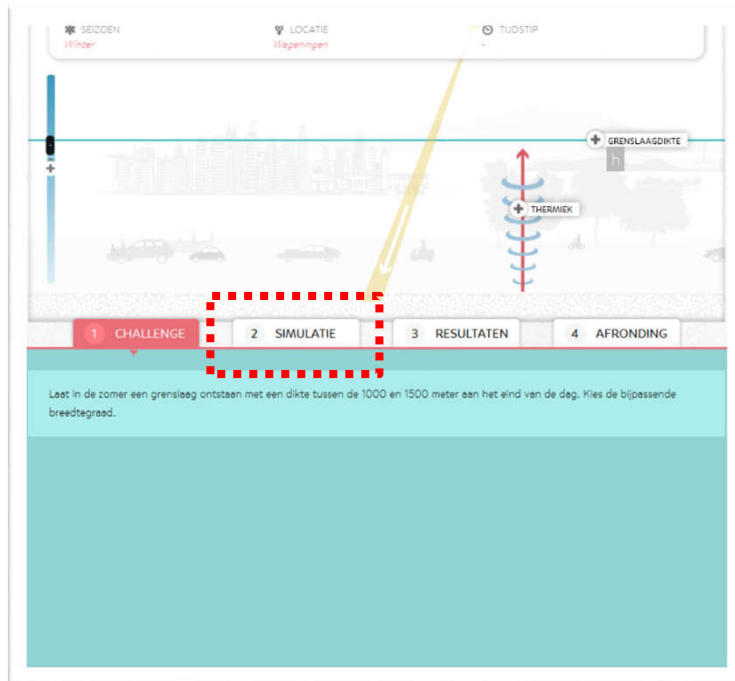
In de Wolkenfysica Simulatie krijg je in de huid van een meteorologisch onderzoeker, zoals op de universiteit of het ANMI. In deze simulatie gebruik je natuurkundekennis om de basisprincipes van het weer te leren. Je ontdekt de in- en uitgaande bronnen van energie en luchtvochtigheid en hoe de verhouding tussen de twee ervoor zorgt voor verschillende weerslagen.

De natuur legt daarbij het temperatuur, luchtvochtigheid en wolkenvorming, en de focus op de grenslaag, de onderste twee kilometer van de atmosfeer. Een beetje te generaliseren!

1a Introductie grenslaag (spelen). Onderzoek de veranderingen in de grenslaag die veroorzaken langere verschillende weerslagen. START	1b Introductie grenslaag (onderzoek). Onderzoek welke rol de grenslaag in de atmosfeer speelt, en hoe de grenslaag de veranderingen tussen verschillende seizoenen en lange veranderende weerslagen. START	2a Oppervlaktefluxen (spelen). Leer hoe straling wordt omgezet naar warmte en verdamping en ontdek hoe je een ruim beeld van een hete dag. START	2b Oppervlaktefluxen (onderzoek). Onderzoek welke rol bodemvocht speelt in de energie-uitwisseling tussen verdamping en opwarming. START
3a Luchtvochtigheid (spelen). Onderzoek hoe de relatie tussen de verdamping en het vochtgehalte van atmosfeer tijdens verschillende seizoenen werkt. START	5 Toepassing en verandering (onderzoek). Leer de effecten van verschillende weerslagen op de veranderingen in het weer en ontdek hoe effect van dit alles samen met op wolkenvorming. START	3b Luchtvochtigheid (onderzoek). Leer de factoren van de vochttoename van de atmosfeer en ontdek hoe verdamping en vochtige wind bijdragen aan het vochtgehalte. START	4 Wolkenvorming (onderzoek). Leer de begrippen relatieve vochtigheid en wolkdruppels kennen en ontdek hoe wolkdruppels in de grenslaag vormen. START
Z Zaakboek START			

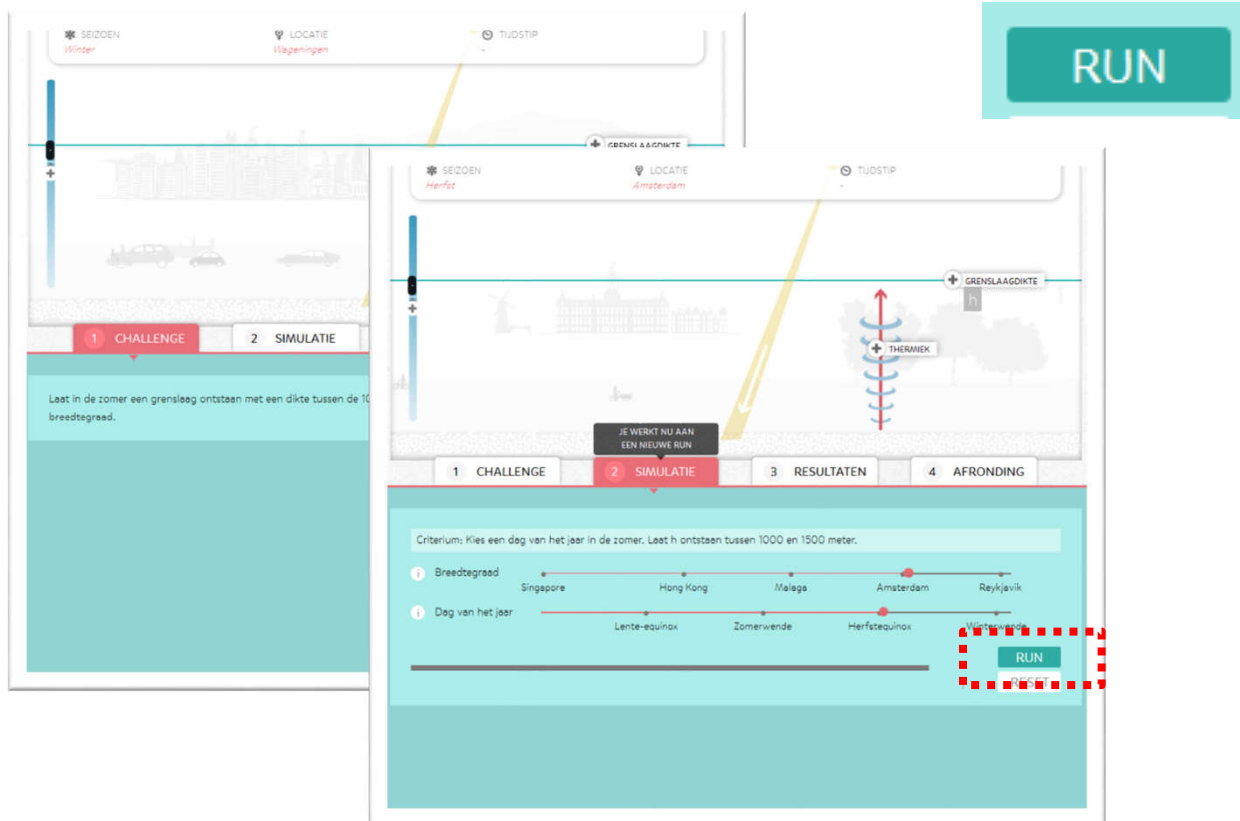


Interface



2 SIMULATIE

Interface



Interface

The interface consists of several panels:

- Challenge Panel:** Shows 'SEIZOEN: Winter', 'LOCATIE: Wageningen', and 'TUDSTIP'. It includes a '1 CHALLENGE' and '2 SIMULATIE' tab. Text: 'Laat in de zomer een grensloag ontstaan met een dikte tussen de 1000 en 1500 meter.' and 'Breedtegraad:'. A '1' icon is next to 'Breedtegraad'.
- Simulation Panel:** Shows 'SEIZOEN: Herfst', 'LOCATIE: Amsterdam', and 'TUDSTIP'. It includes a '1 CHALLENGE' and '2 SIMULATIE' tab. Text: 'Criterium: Kies een dag van het jaar in de zomer. Laat h ontstaan t...'. A '1' icon is next to 'Dag van het jaar'. A notification says 'JE WERKT NU AAN EEN NIEUWE RUN'.
- Results Panel:** Shows 'SEIZOEN: Herfst', 'LOCATIE: Amsterdam', and 'TUDSTIP: 20:00'. It includes tabs '1 CHALLENGE', '2 SIMULATIE', '3 RESULTATEN', and '4 AFRONDING'. Text: 'Let op: de schalen op de assen zijn per grafiek verschillend en passen zich automatisch aan. Klik op een grafiek om hem uit te vergroten.' and 'Criterium: Kies een dag van het jaar in de zomer. Laat h ontstaan tussen 1000 en 1500 meter.' A table shows:

RUN 1	AAN	START NIEUWE RUN	START NIEUWE RUN	START NIEUWE RUN
		(kopieert laatste run)	(kopieert laatste run)	(kopieert laatste run)
	criterium niet gehaald			

 Below the table are buttons 'BEKIJK', 'EDIT', and 'WIS'. Three graphs are shown:
 - Nettostraling:** Y-axis: nettostraling Q [W/m²], X-axis: tijdstrip. Values range from -150 to 450.
 - Grenslaagdikte:** Y-axis: grenslaagdikte [m], X-axis: tijdstrip. Values range from 0 to 1200.
 - Verticale thermiekbelsnelheid:** Y-axis: snelheid w [m/s], X-axis: tijdstrip. Values range from -0.6 to 1.8.

Interface

The interface consists of several panels and controls:

- Top Panel:** Includes 'SEIZOEN' (Season), 'LOCATIE' (Location), and 'TIJDSTIP' (Time of Day).
- Navigation:** Buttons for '1 CHALLENGE', '2 SIMULATIE', '3 RESULTATEN', and '4 AFRONDING'.
- Challenge Panel (Screenshot 1):**
 - Season: Winter, Location: Wageningen.
 - Text: "Laet in de zomer een grensloag ontstaan met een dikte tussen de 100 en 150 cm." (Let in the summer a boundary layer form with a thickness between 100 and 150 cm).
- Simulation Panel (Screenshot 2):**
 - Season: Herfst, Location: Amsterdam.
 - Text: "Criterium: Kies een dag van het jaar in de zomer. Laet h ontstaan tussn 1000 en 1500 meter." (Criterion: Choose a day of the year in the summer. Let h occur between 1000 and 1500 meters).
 - Graphs: "Nettostraling" (Net radiation) and "Grenslaagdikte" (Boundary layer thickness).
- Results Panel (Screenshot 3):**
 - Season: Herfst, Location: Amsterdam, Time: 20:00.
 - Text: "Let op: de schalen op de assen zijn per grafiek verschillend en passen zich automatisch aan." (Note: the scales on the axes are different per graph and adjust automatically).
 - Graphs: "Nettostraling" and "Grenslaagdikte".
- Results Panel (Screenshot 4):**
 - Season: Herfst, Location: Malaga, Time: 19:00.
 - Text: "Let op: de schalen op de assen zijn per grafiek verschillend en passen zich automatisch aan." (Note: the scales on the axes are different per graph and adjust automatically).
 - Graphs: "Nettostraling", "Grenslaagdikte", and "Verticale thermiekbelsnelheid" (Vertical thermal velocity).

Time to play

- Doel: grenslaag in zomer 1000-1500 meter
- Challenge 1a
- Variabelen: datum (neem 'zomer' letterlijk) + breedtegraad

Grenslaag

Oppervlak

Wolken

Challenge
1a

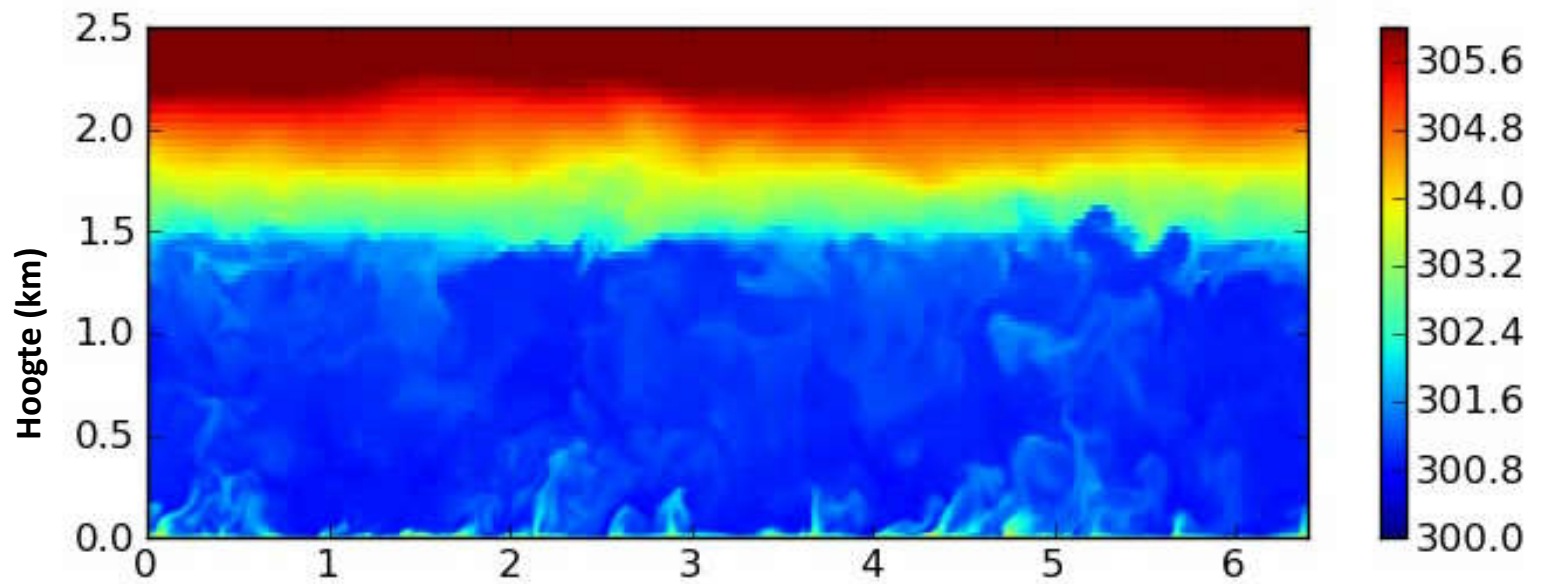
Challenge
2a

Challenge
4

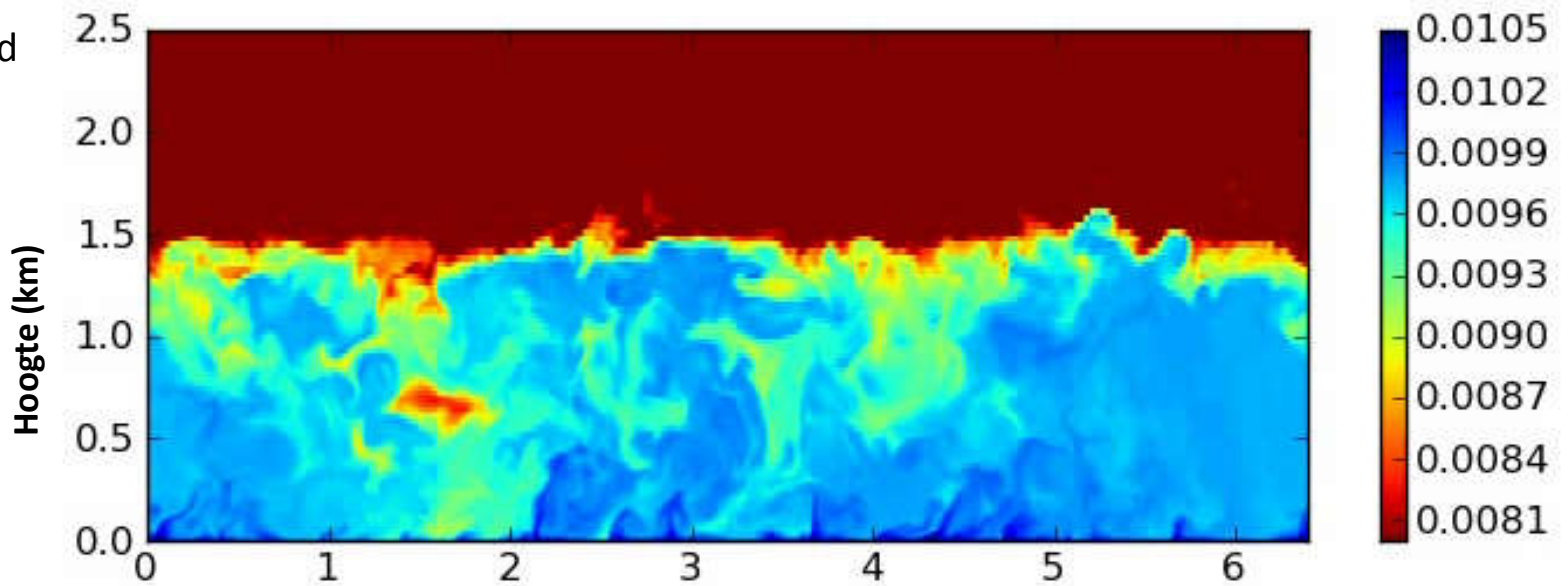




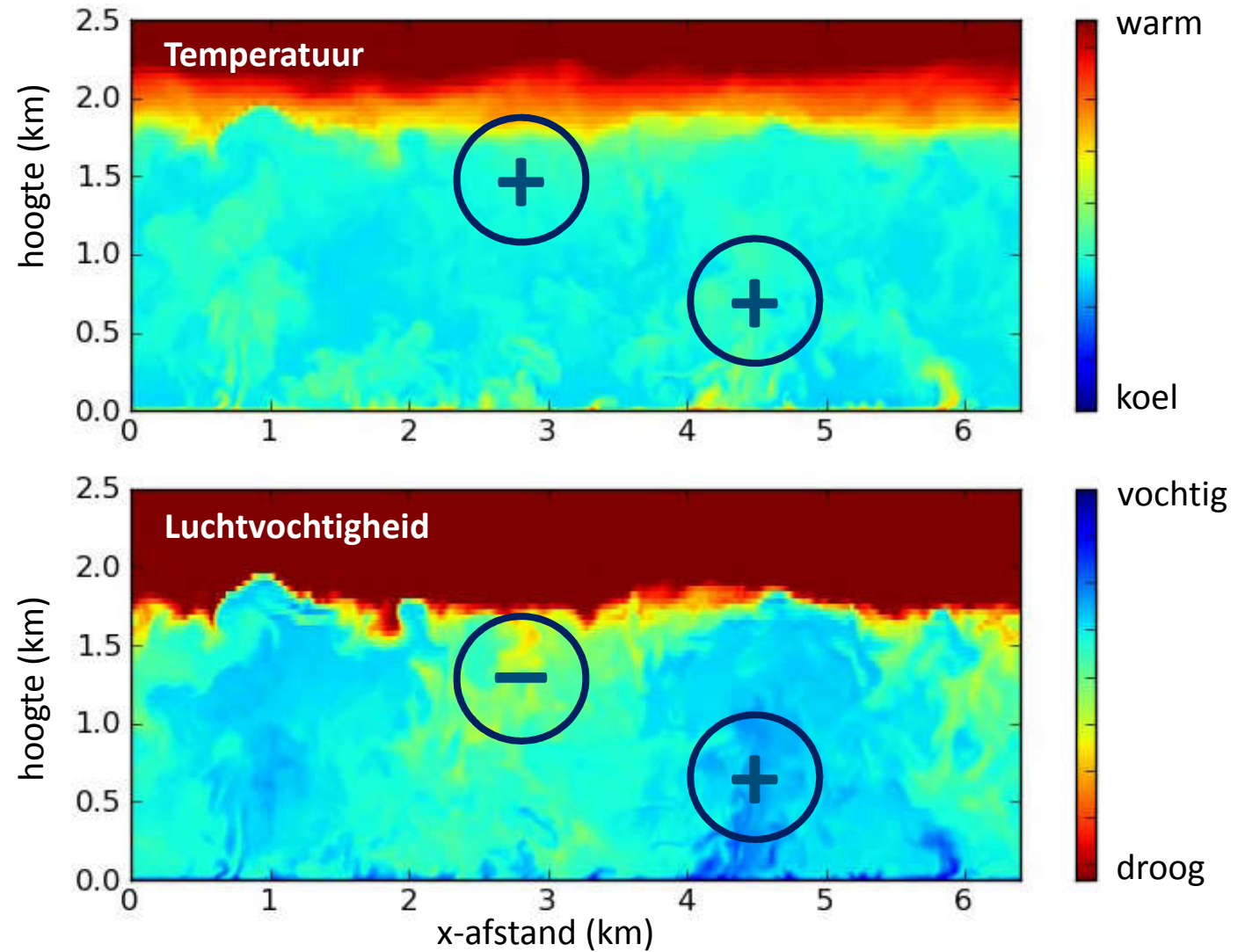
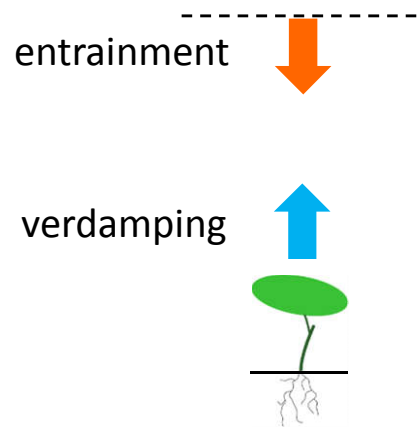
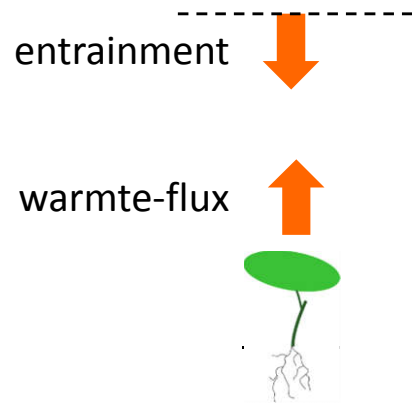
Potentiële
temperatuur
(K)



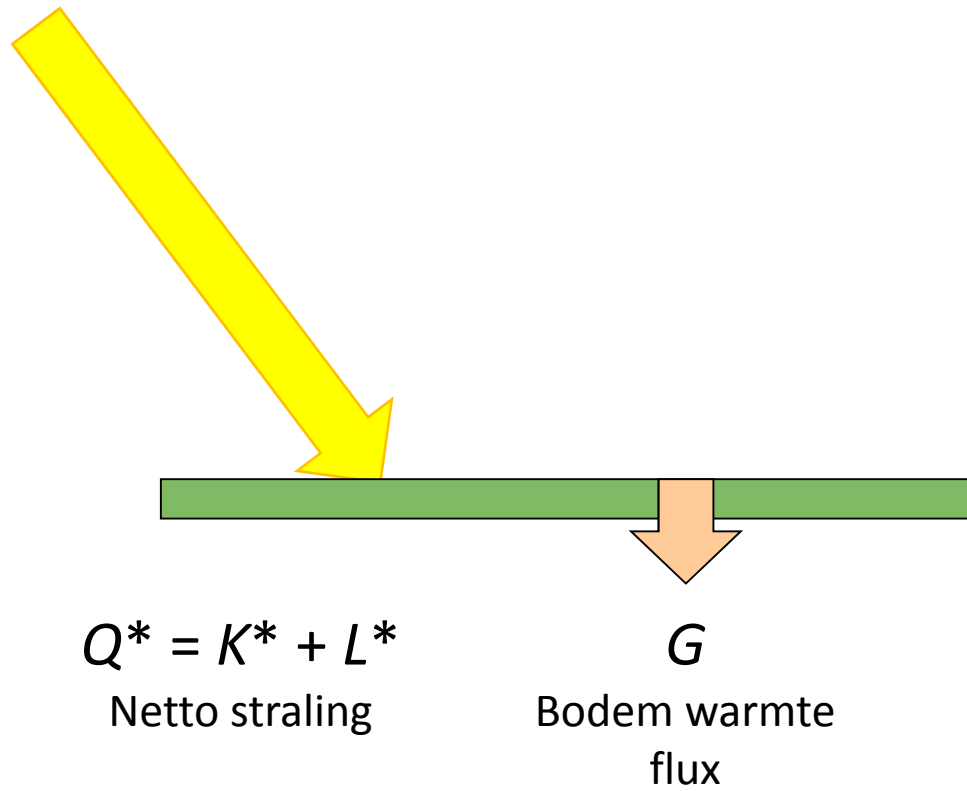
Luchtvochtigheid
(kg/kg)



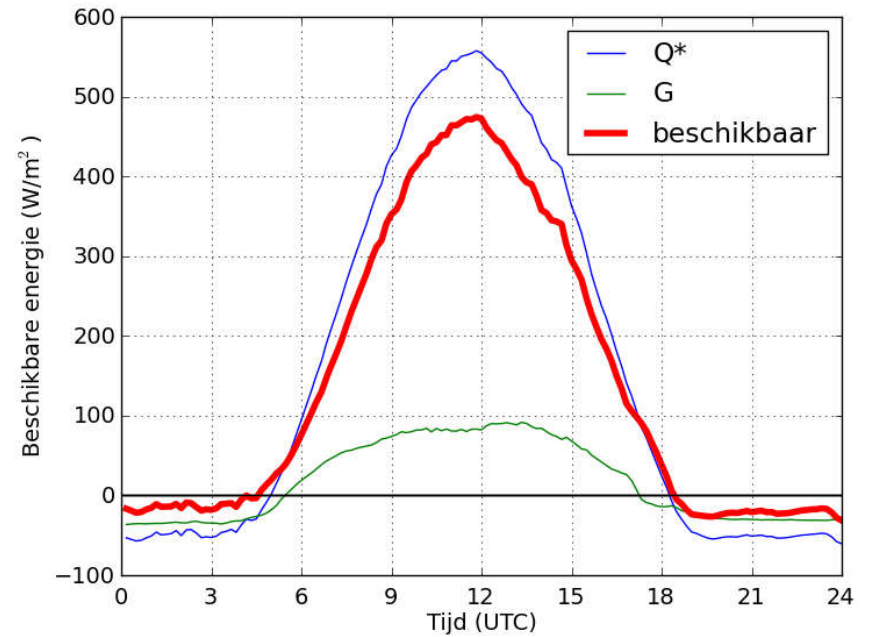
Temperatuur en vocht: bijdrages aan balans



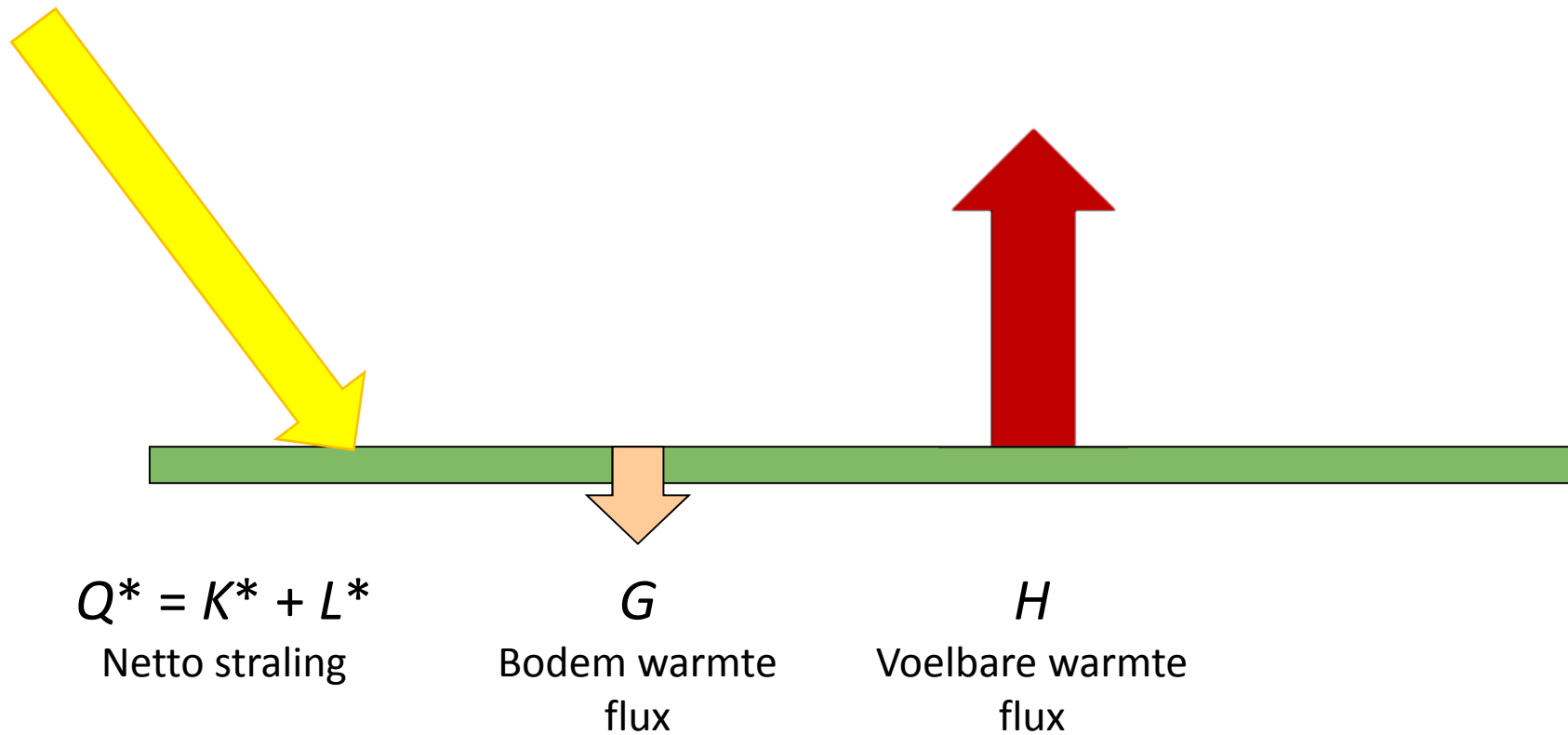
Beschikbare energie



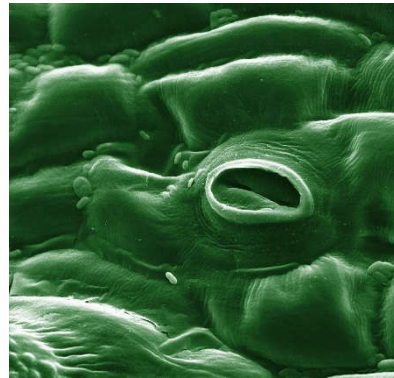
$Q^* - G$
Beschikbare energie



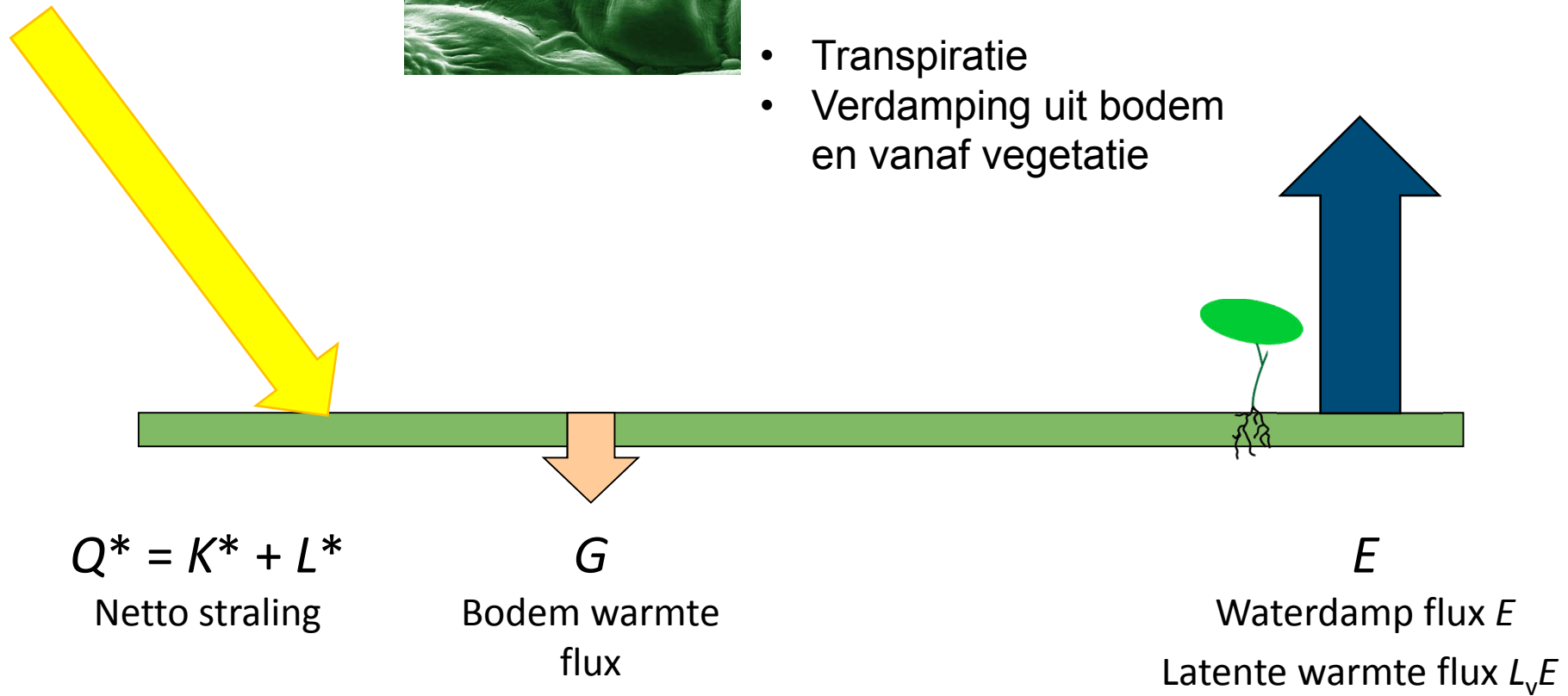
Gebruikt voor opwarming lucht



Gebruikt voor verdampen water



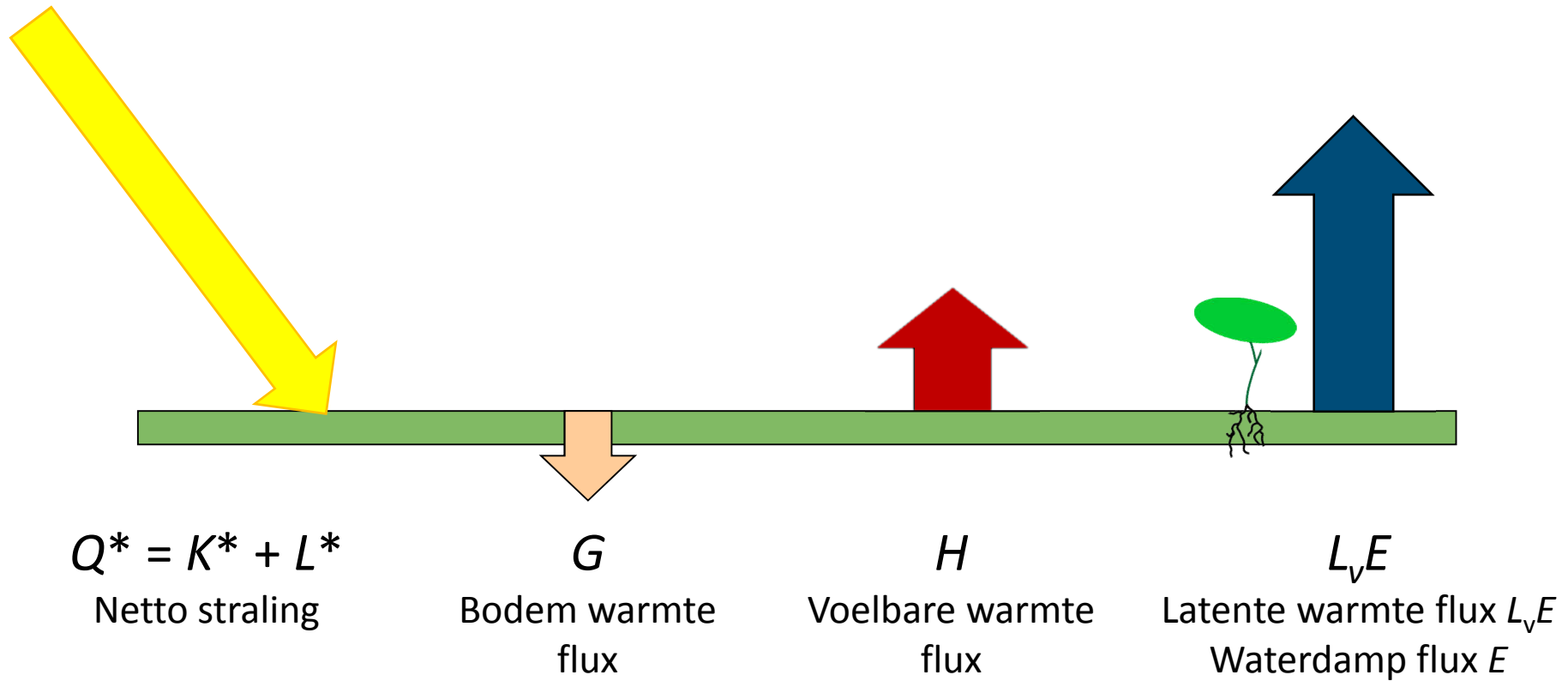
- Transpiratie
- Verdamping uit bodem en vanaf vegetatie



H vs. $L_v E$: beschikbaarheid water



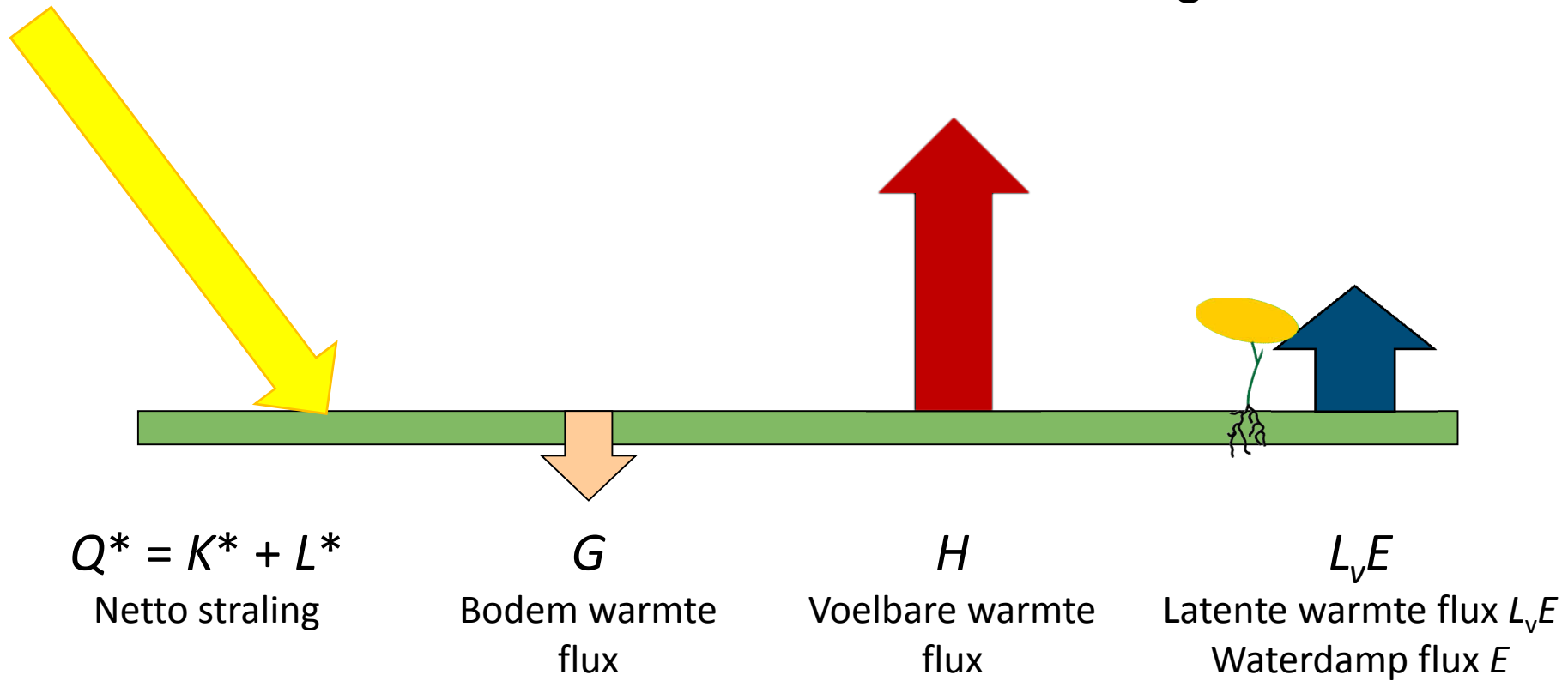
Voldoende water



H vs. $L_v E$: beschikbaarheid water

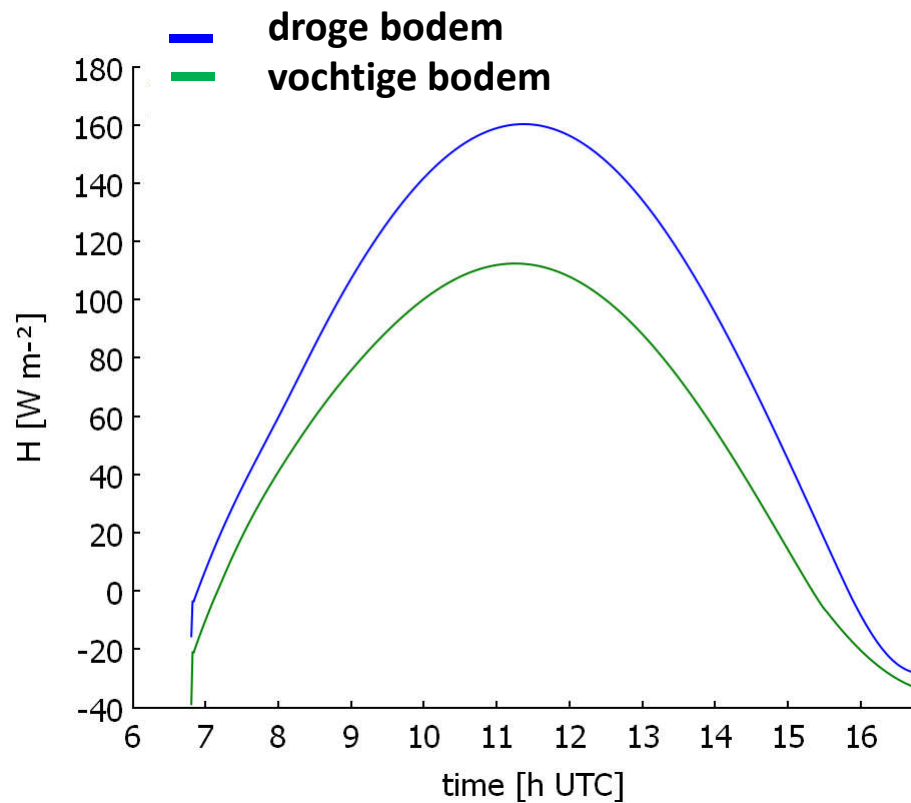


Droog

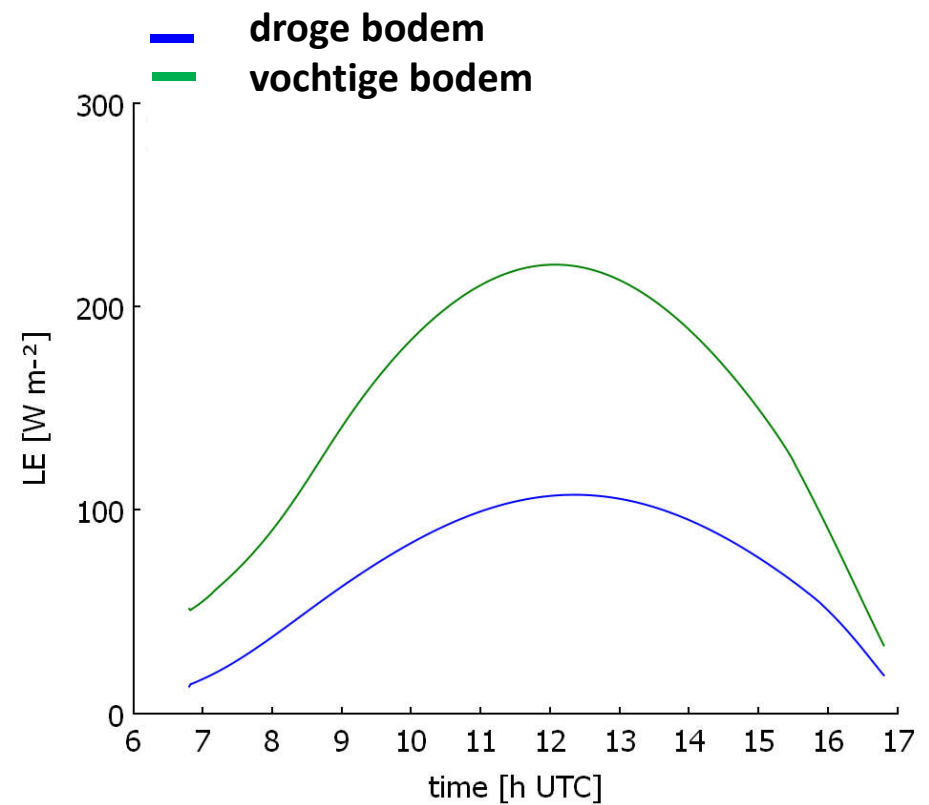


Dagelijkse variatie: opwarming \leftrightarrow verdamping

Warmte-flux



Verdamping



Time to play

- Doel: hete dag met
 - latente warmtestroom/verdamping $> 50 \text{ W/m}^2$
 - voelbare warmte stroom $> 300 \text{ W/m}^2$
 - extra eis: nettostraling $< 450 \text{ W/m}^2$
- Challenge 2a
- Variabelen: datum + breedtegraad + bodemvocht

Grenslaag

Oppervlak

Wolken

Challenge

1a

Challenge

2a

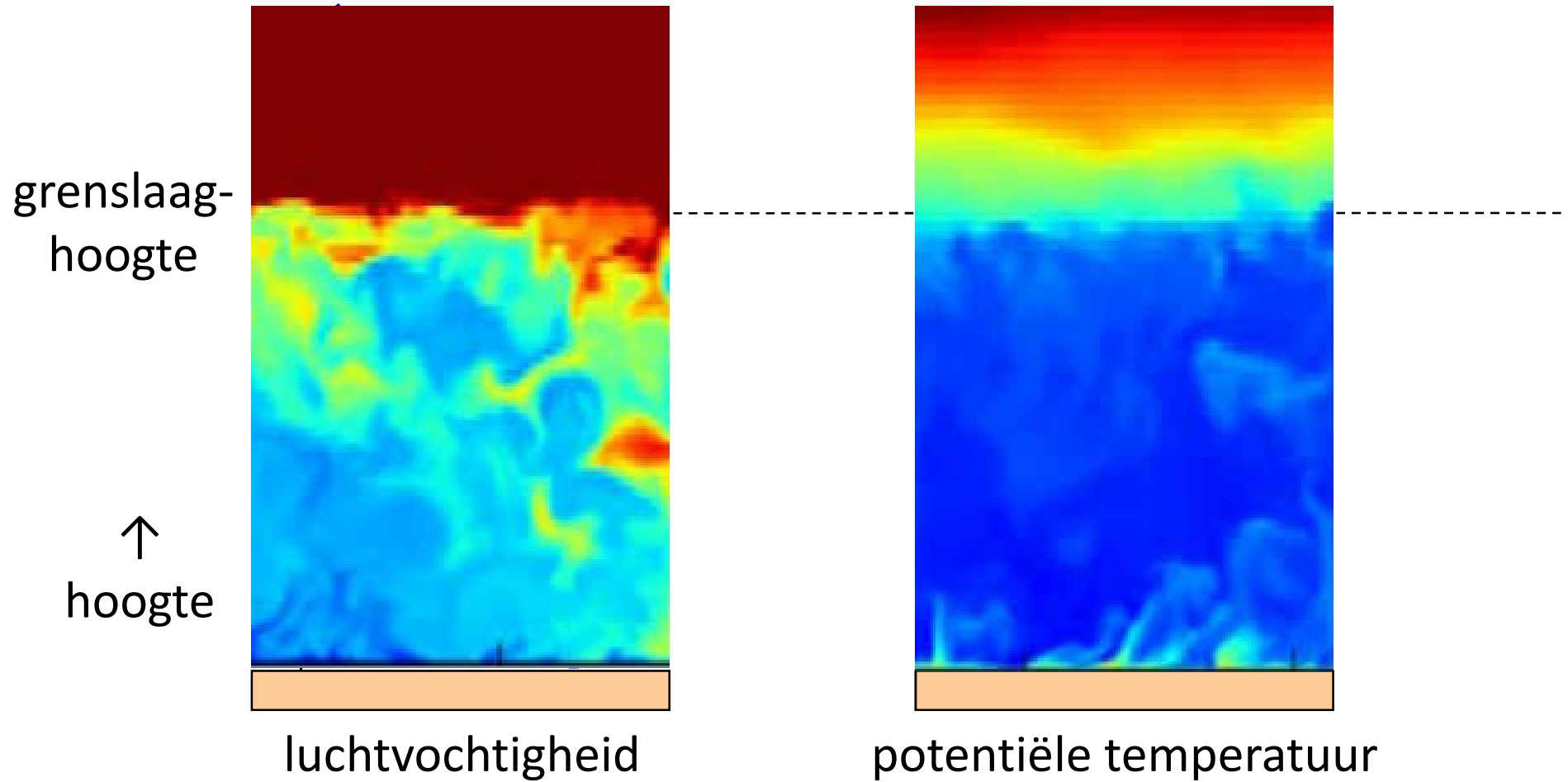
Challenge

4

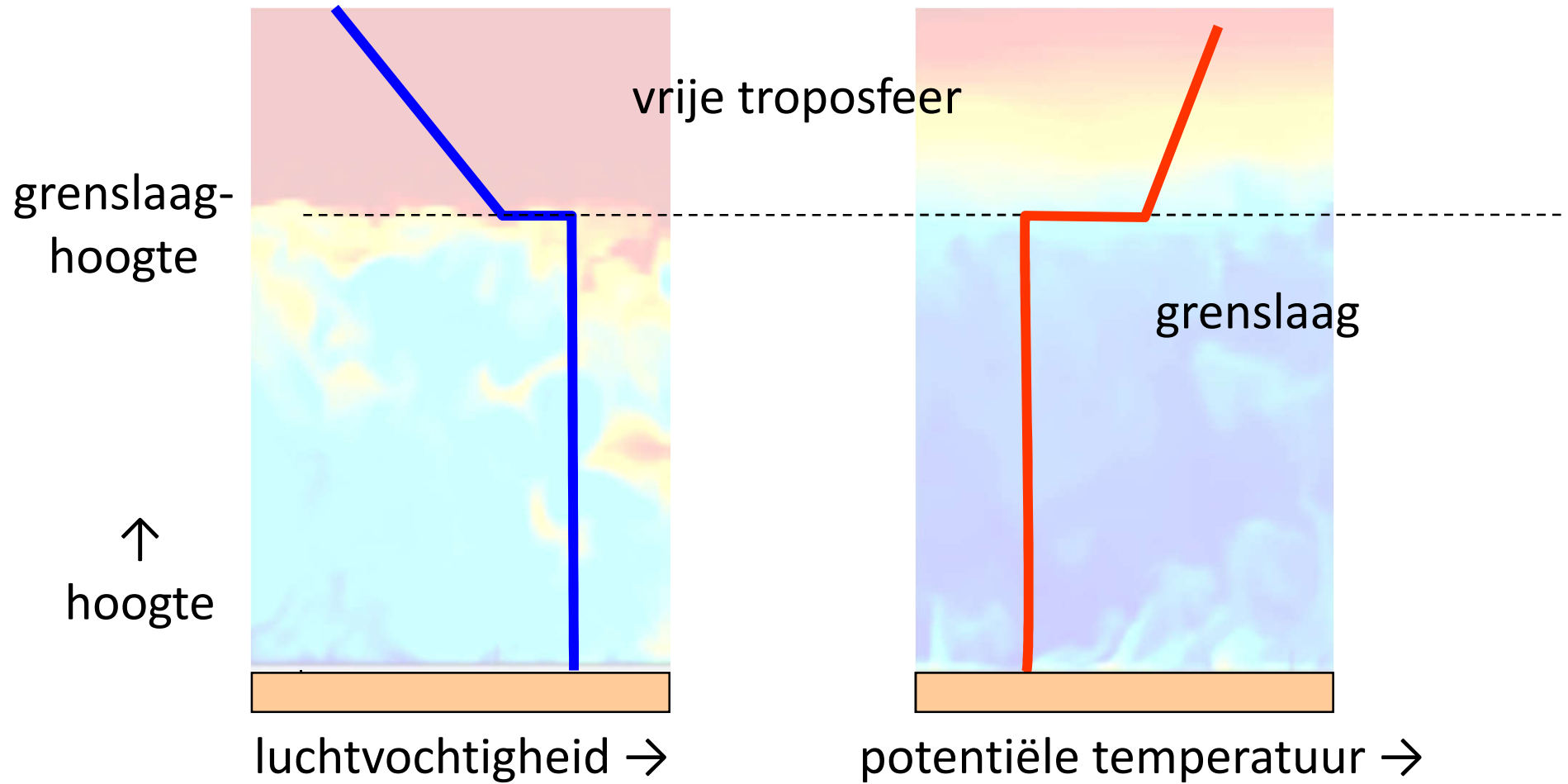




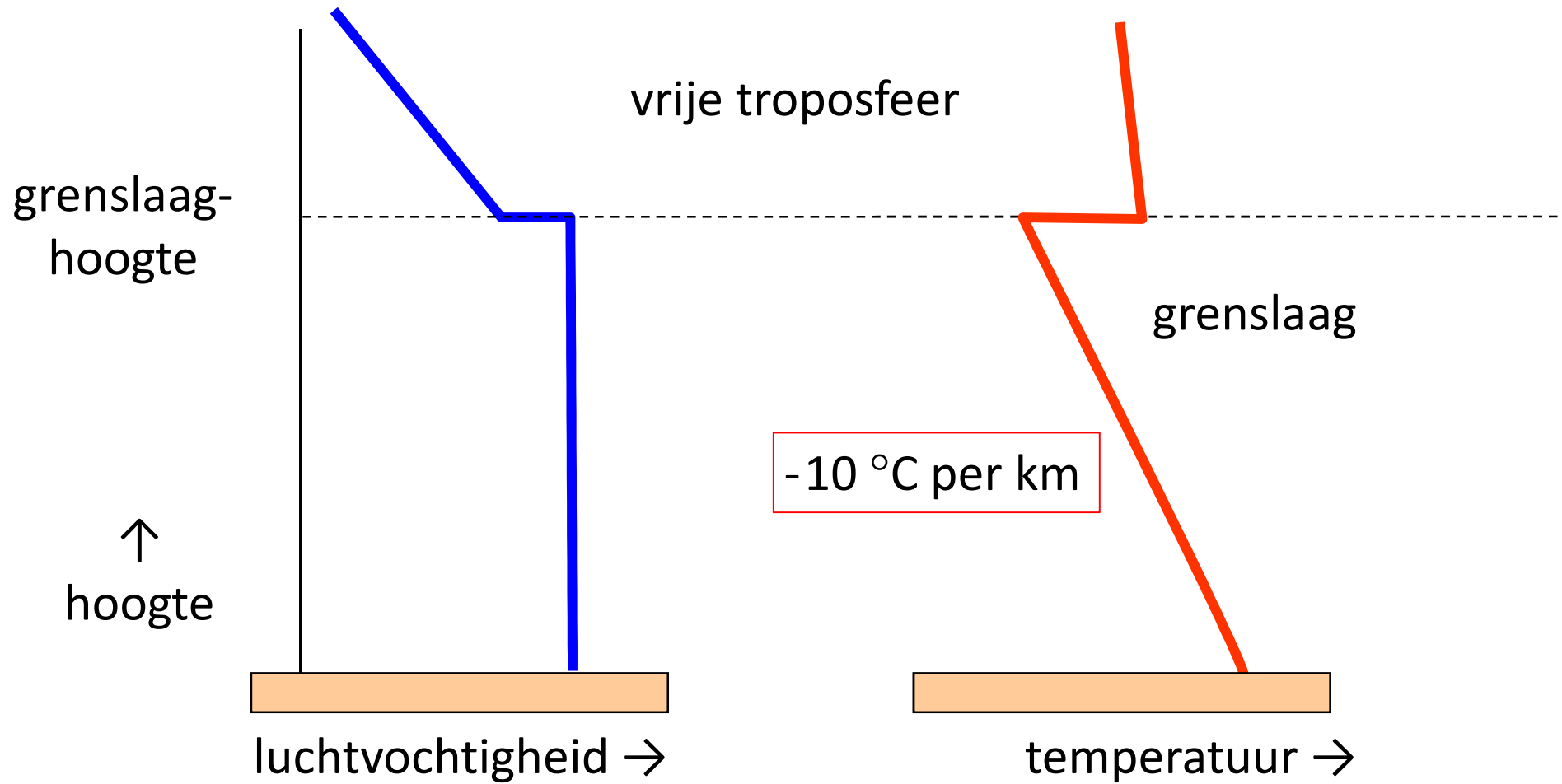
Opbouw grenslaag: vocht en temperatuur



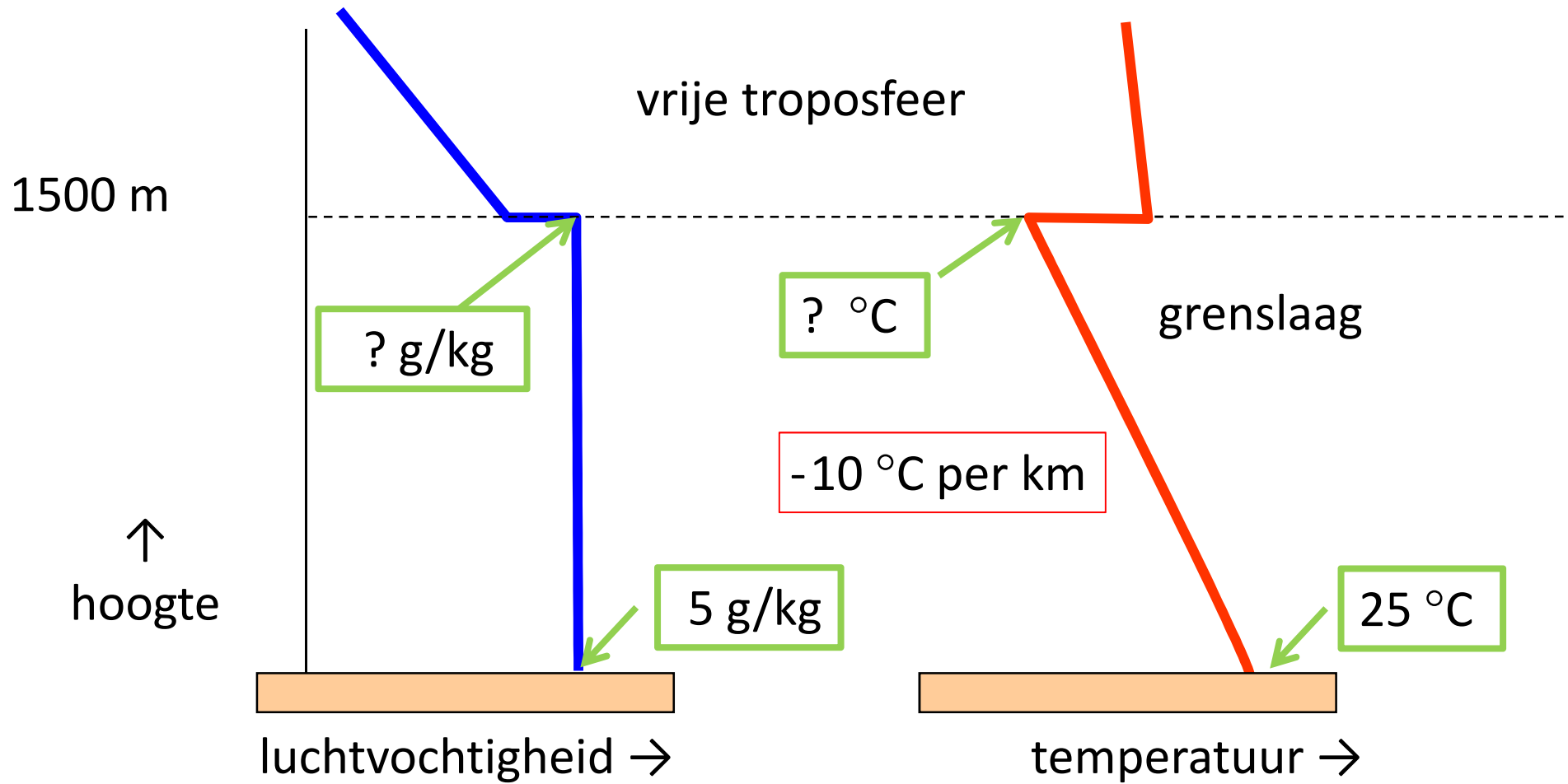
Verticale profielen: vocht en temperatuur



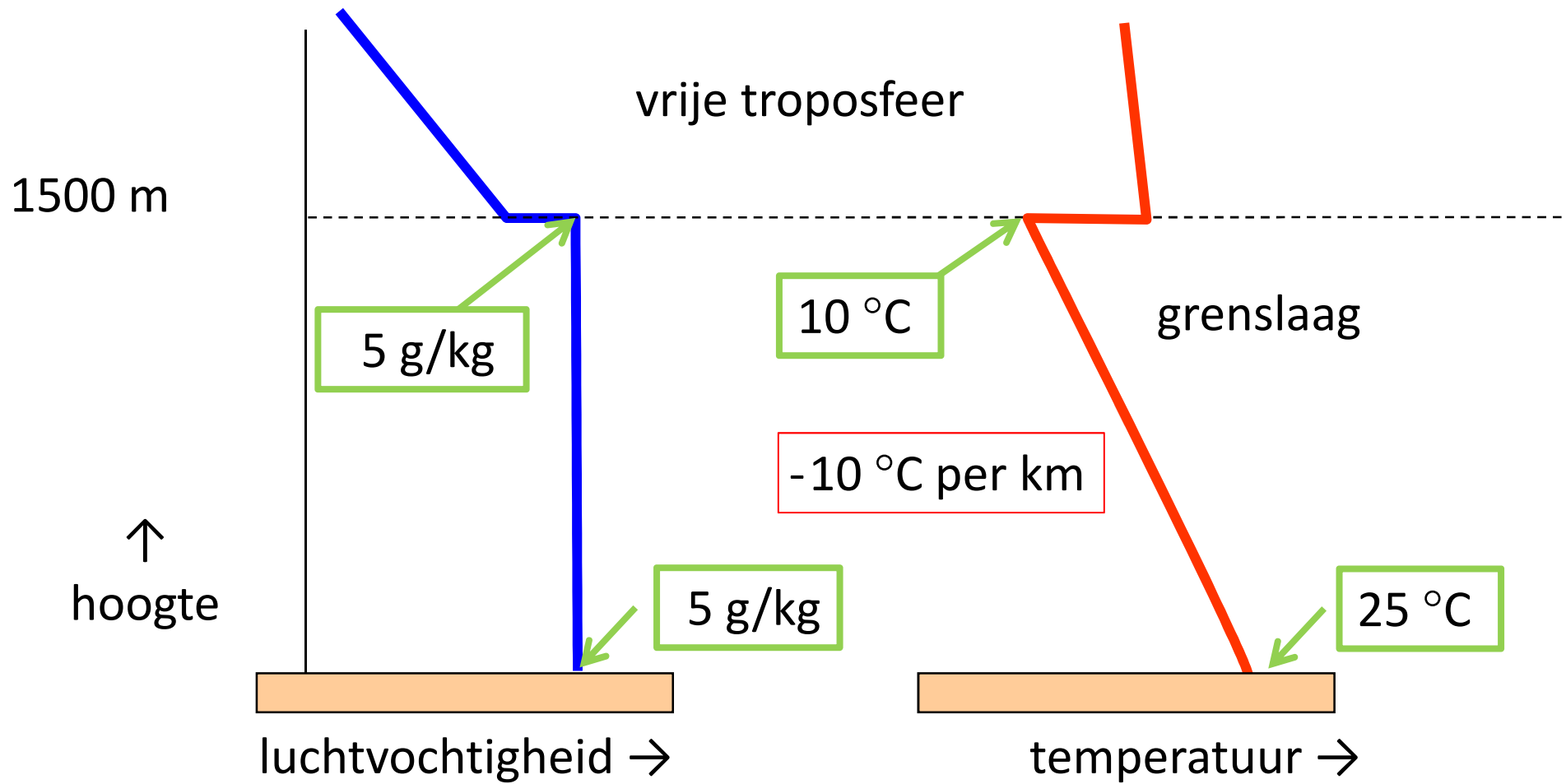
Verticale profielen: vocht en temperatuur



Verticale profielen: waarden op 1500 m?



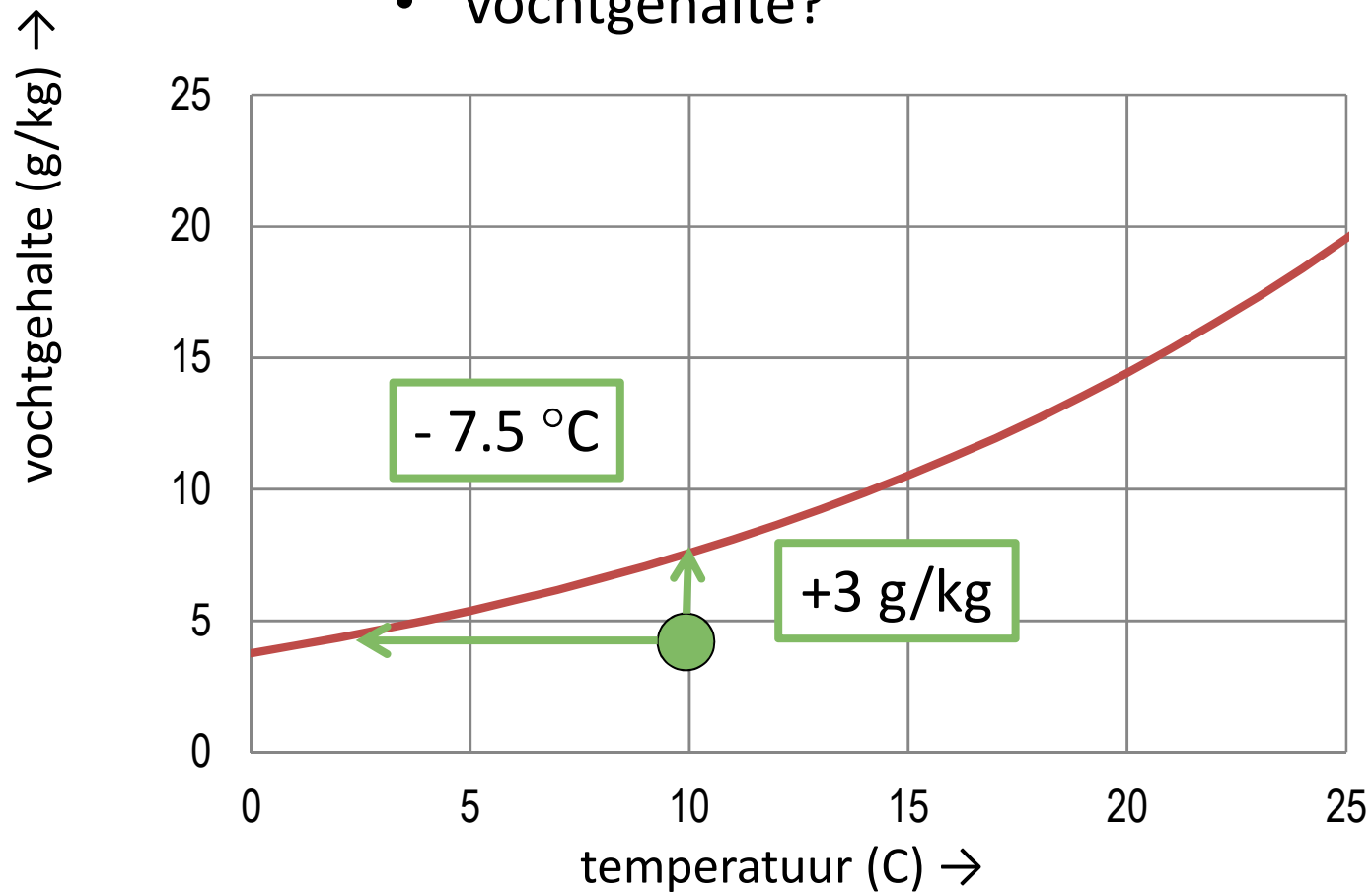
Verticale profielen: waarden op 1500 m?



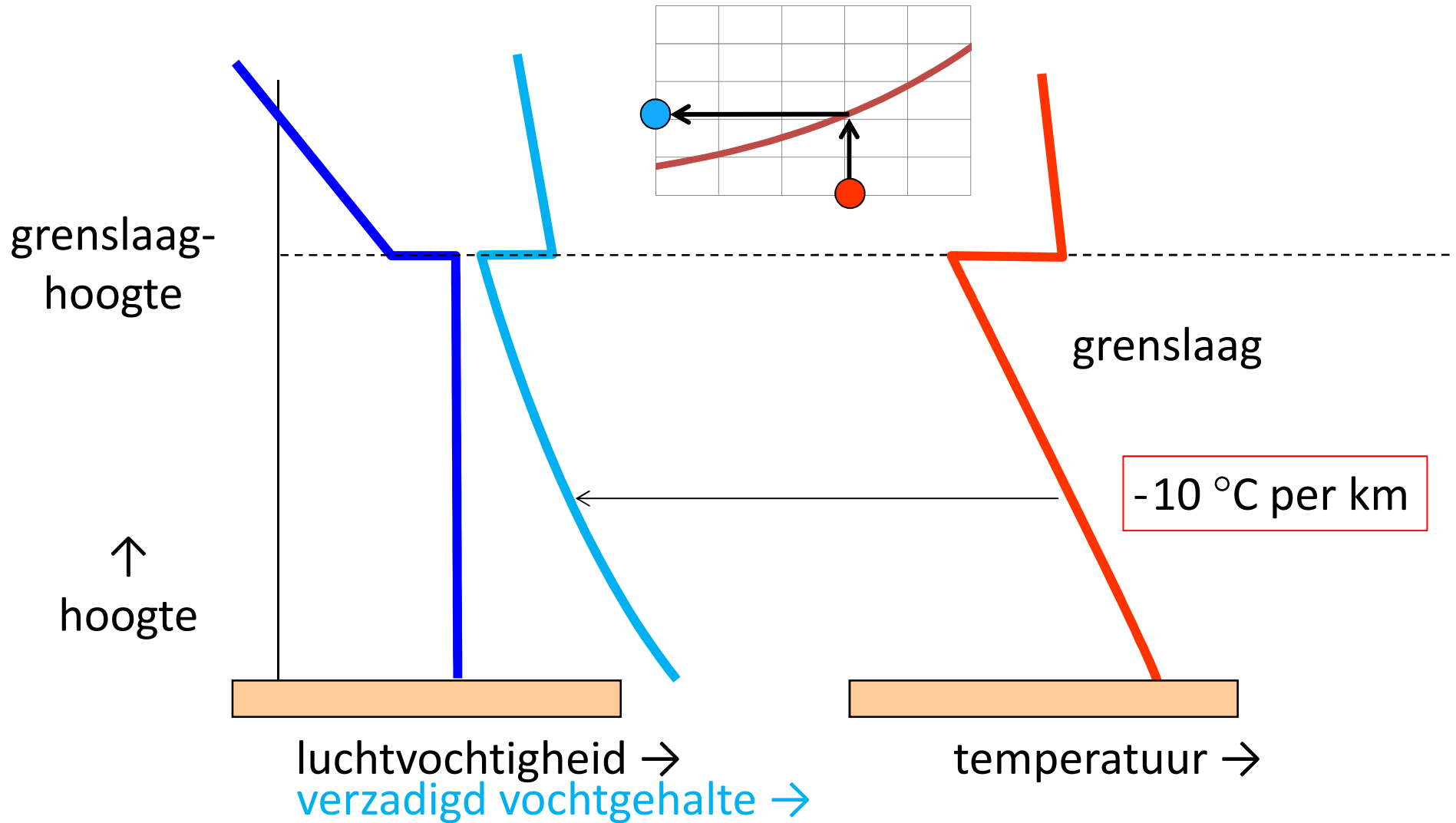
Verzadigd vochtgehalte van lucht

Verzadiging door verandering van:

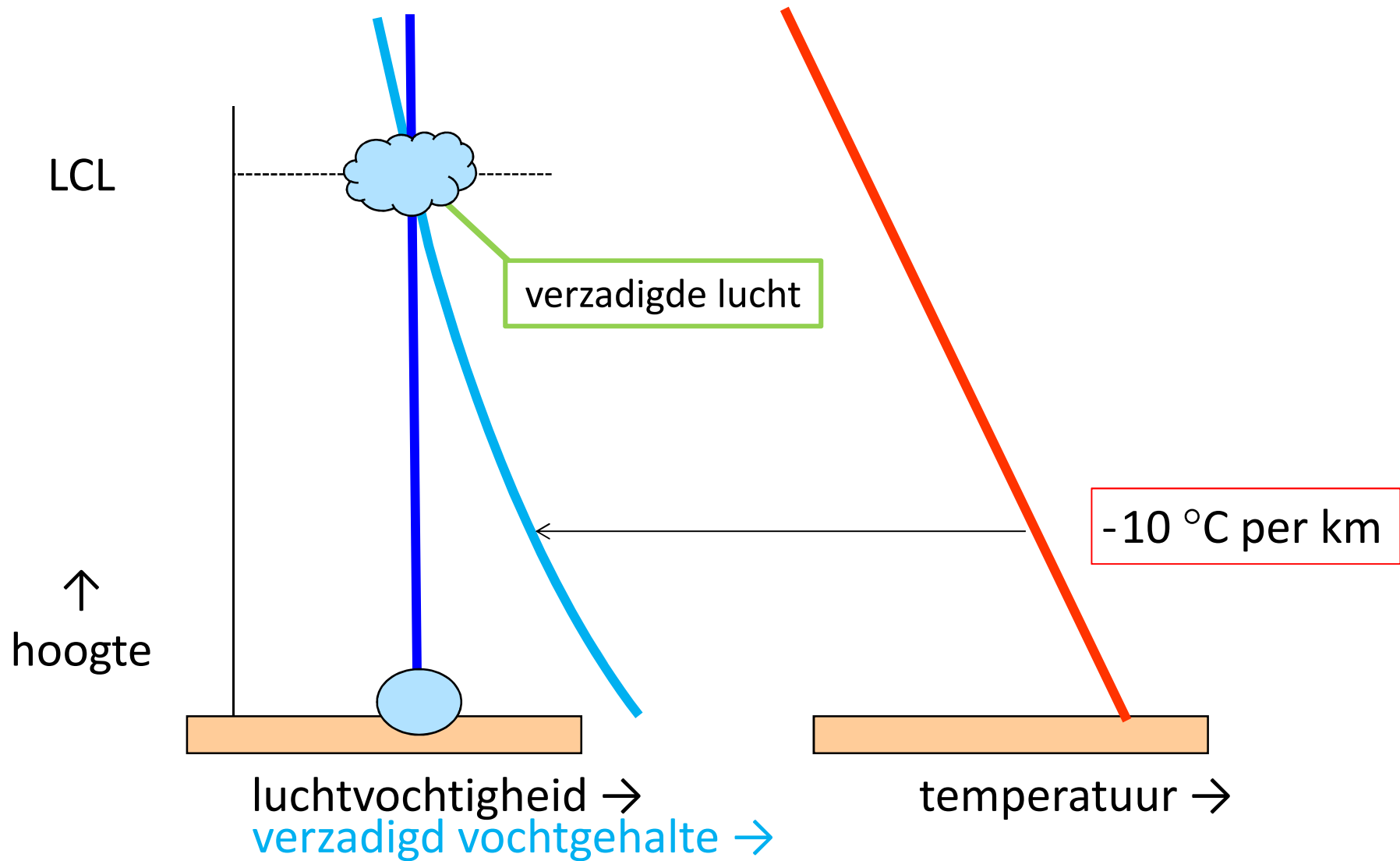
- temperatuur?
- vochtgehalte?



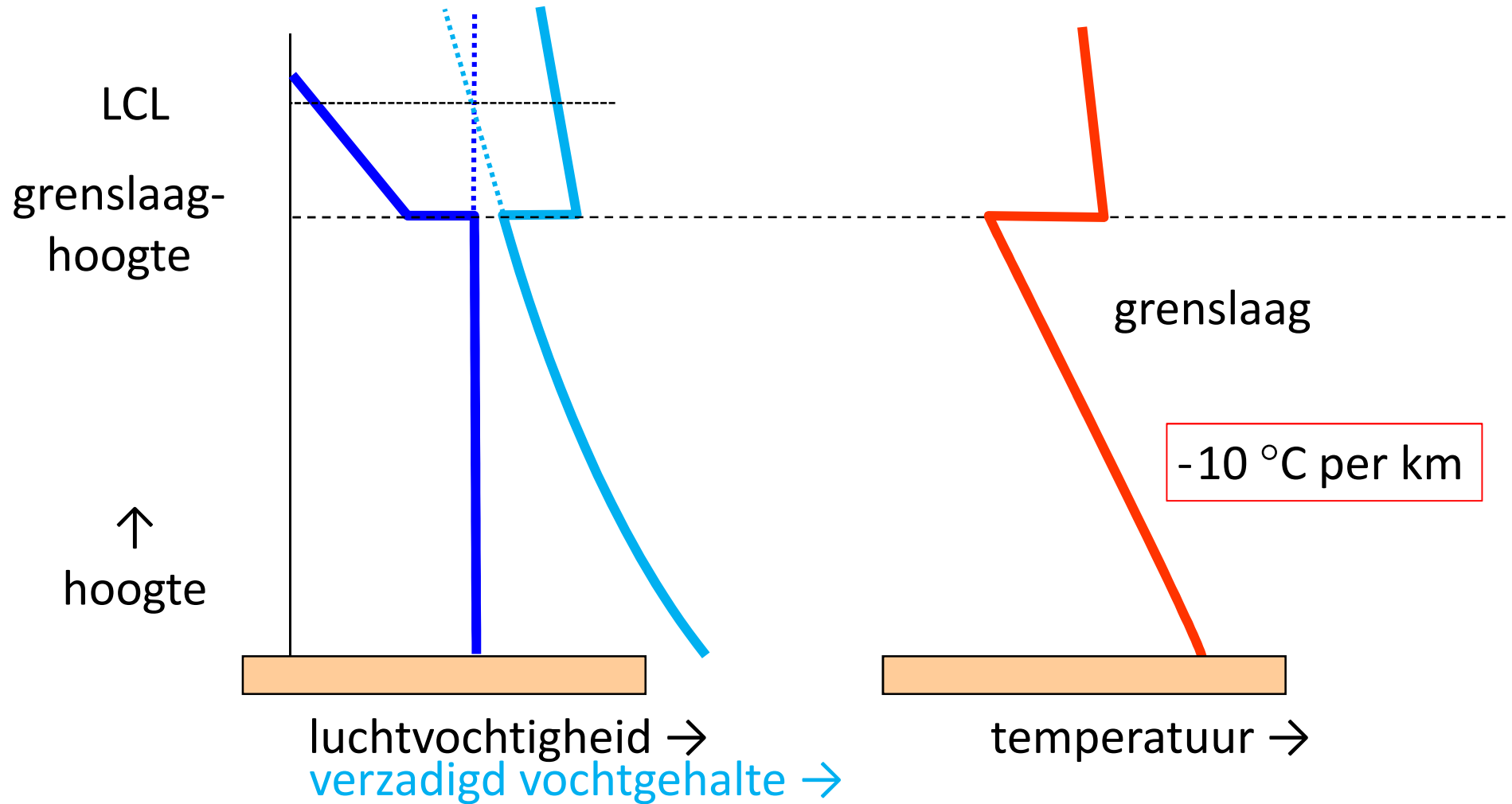
Wolken: verzadiging binnen de grenslaag?



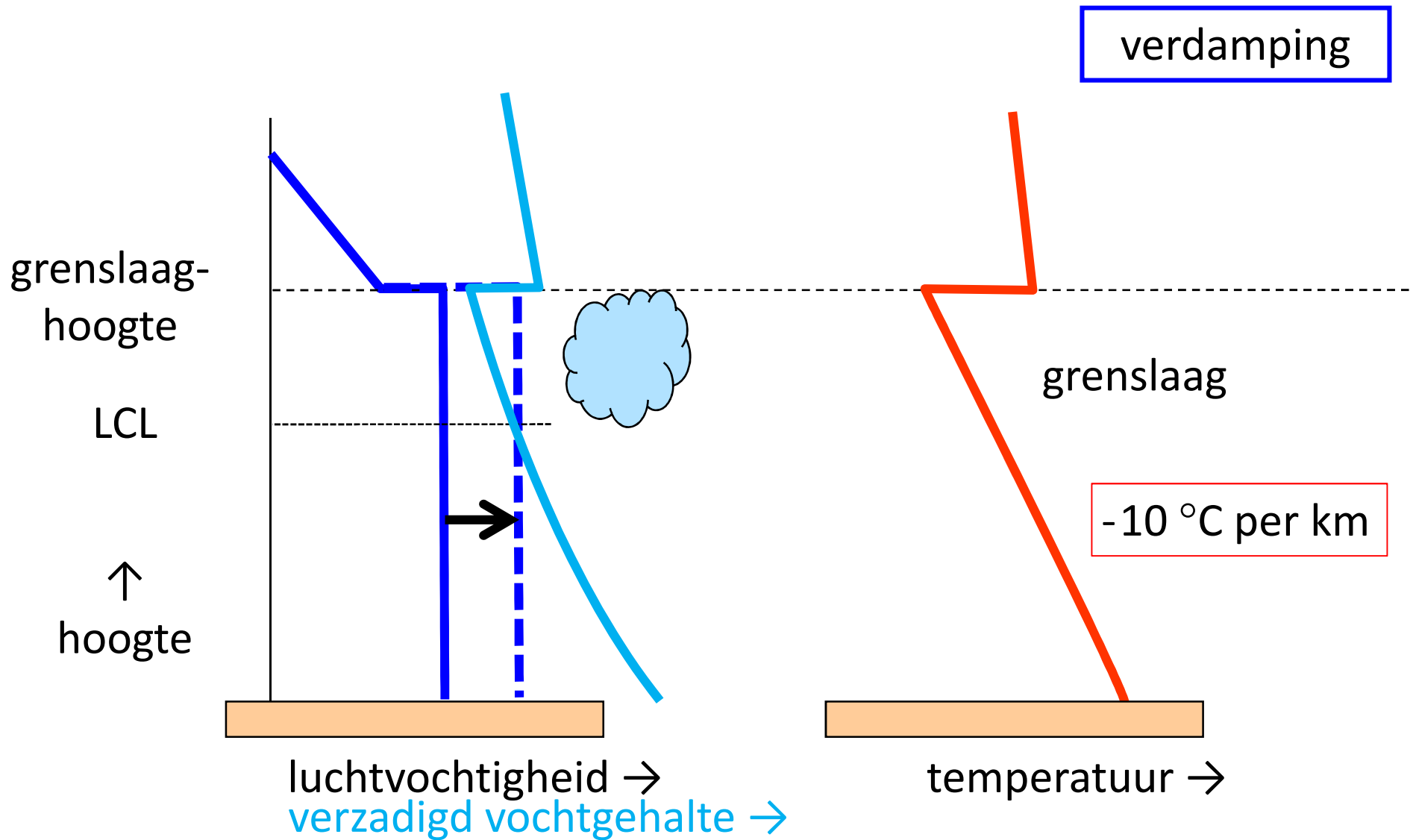
Wolken: Lifting Condensation Level (LCL)



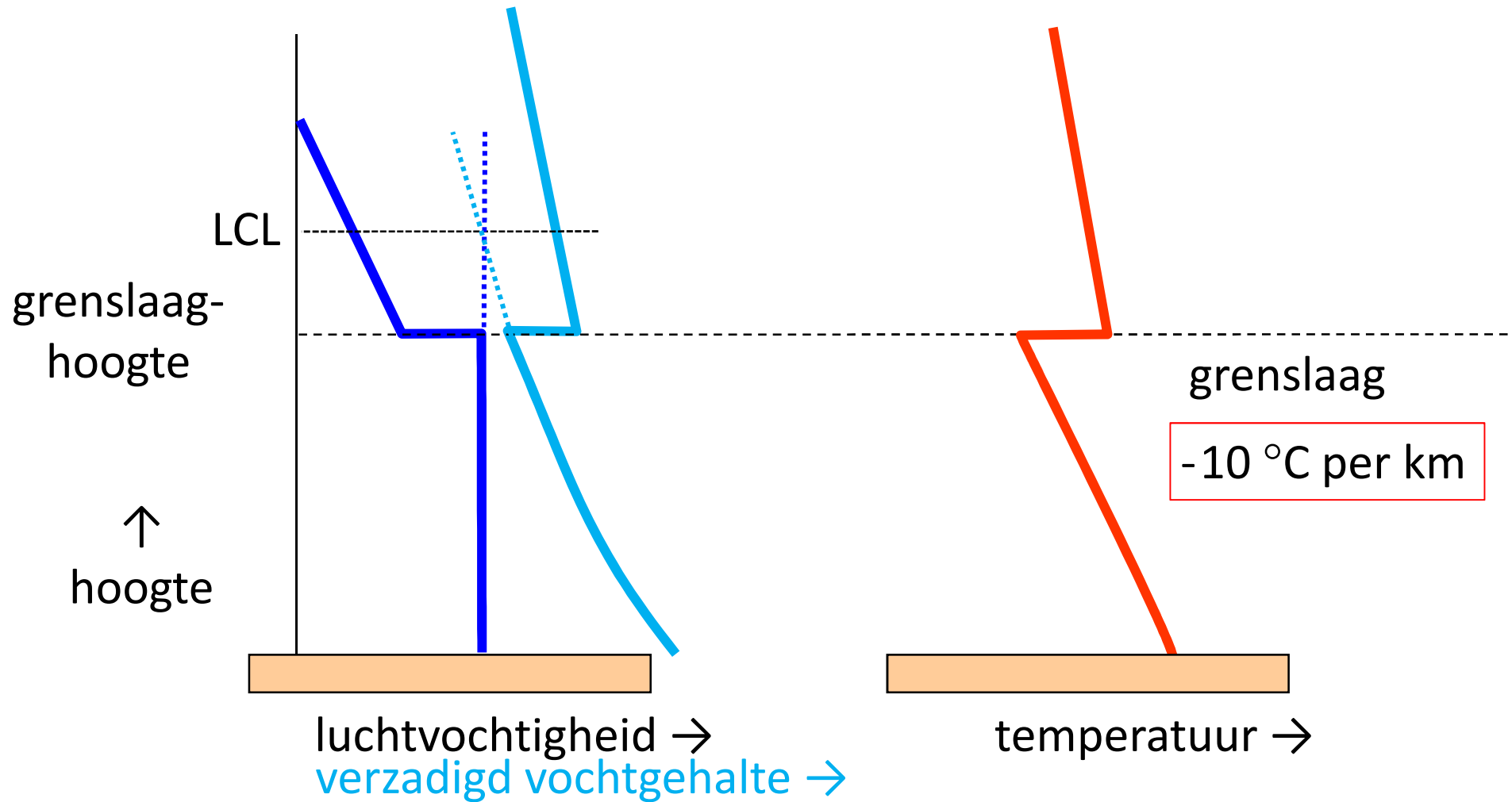
Wolken: hoe bereiken we verzadiging?



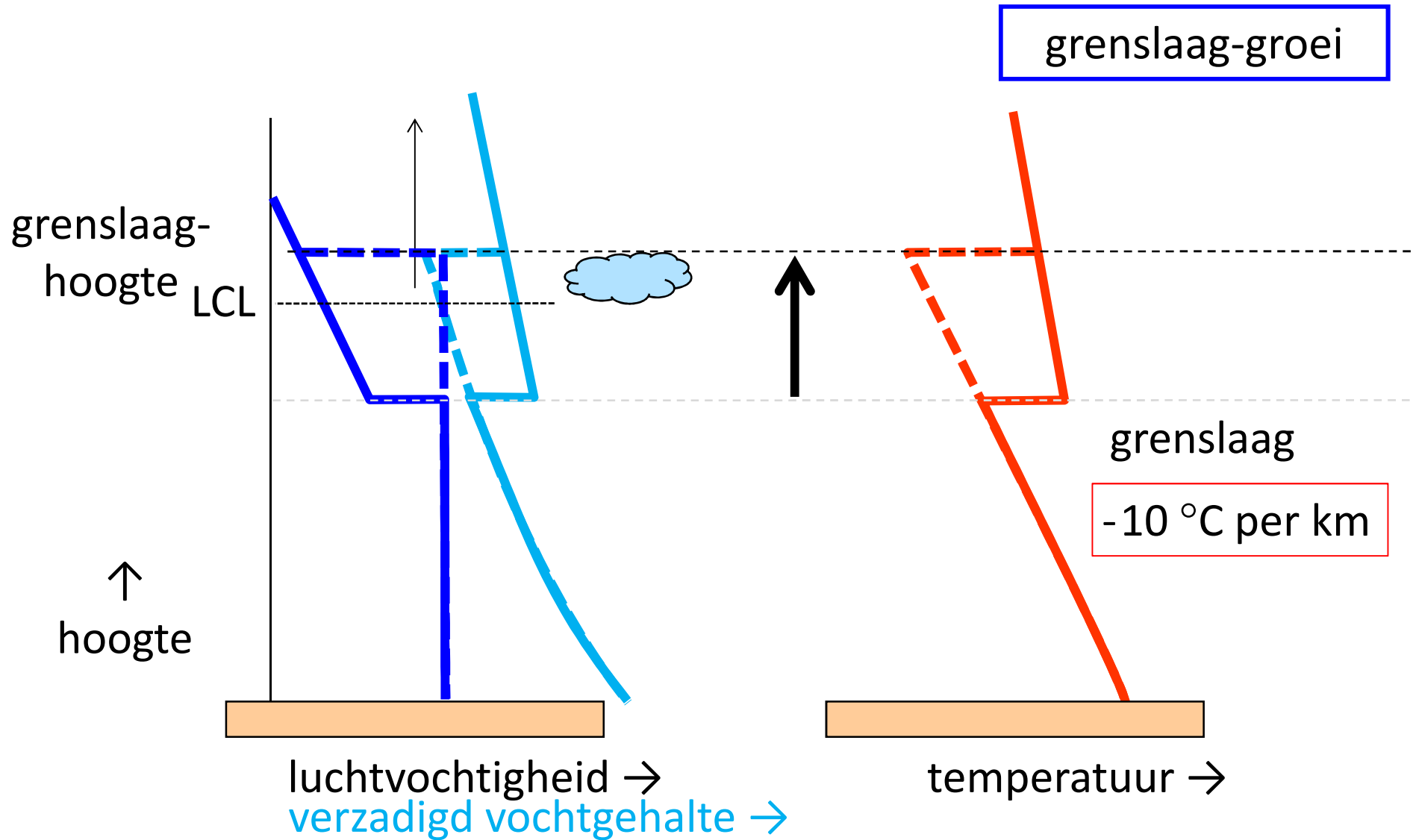
Wolken: hoe bereiken we verzadiging?



Wolken: hoe bereiken we verzadiging?



Wolken: hoe bereiken we verzadiging?



Time to play



Time to play

- Doel: met welke aanpassingen kun je wolken laten ontstaan? Wanneer lossen de wolken 's middags weer op, en wanneer niet?
- Challenge 4 (oppervlak = gras)
 - initiele temperatuur → 15.5 C
 - initiele luchtvochtigheid → 8 g/kg
- Variabelen: datum + bodemvocht + start vocht q_0 + start temperatuur T_0

Grenslaag

Oppervlak

Wolken

Challenge

1a

Challenge

2a

Challenge

4



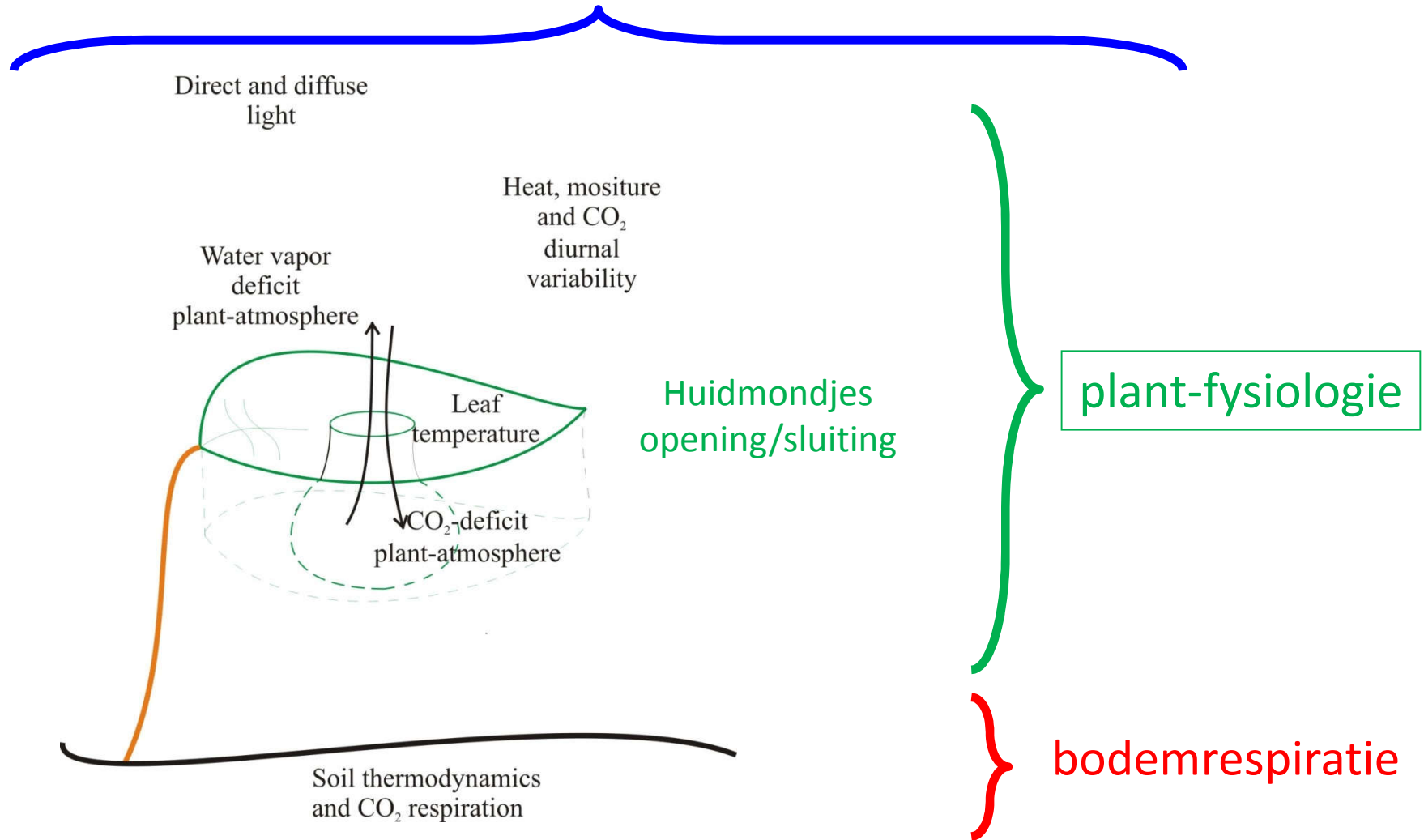
Afsluiting

- Van onderzoek naar onderwijs (HO en VO)
- Mogelijkheden VO:
 - NLT bij modules over weer en klimaat
 - Natuurkunde: geofysica
 - Link tussen biologie en natuurkunde
 - Profielwerkstuk (volledige vrijheid in 'Zandbak')
- Feedback en vragen welkom:
 - betasteunpunt@wur.nl
 - arnold.moene@wur.nl



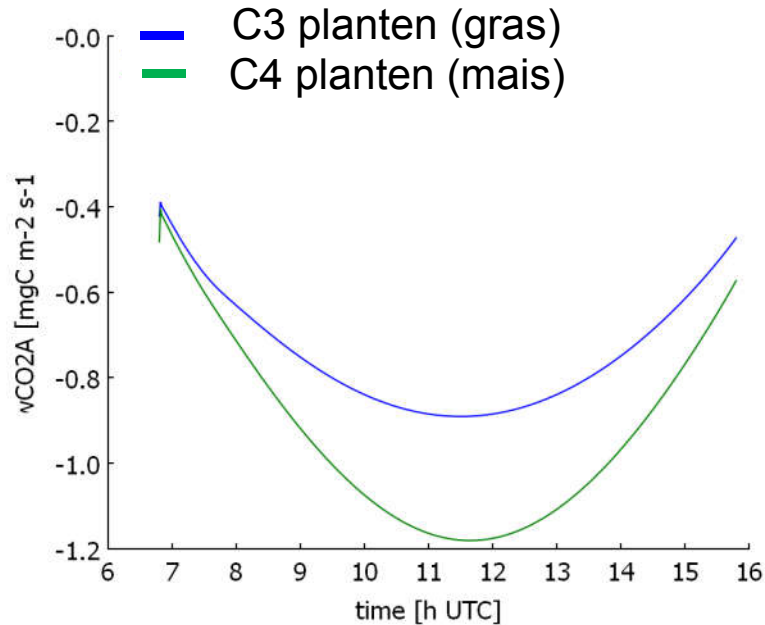
Plant fysiologisch model (Big-leaf model)

grenslaag-dynamiek

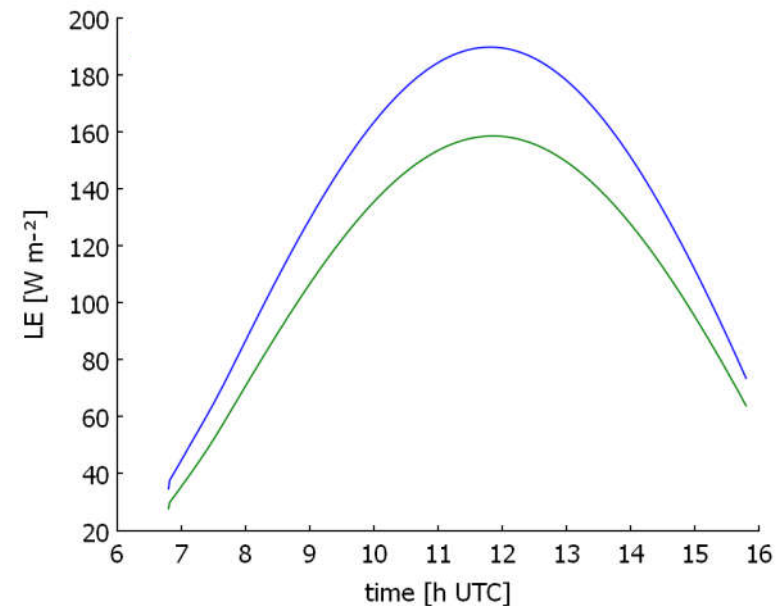


Watergebruik-efficiëntie ↔ fotosynthese?

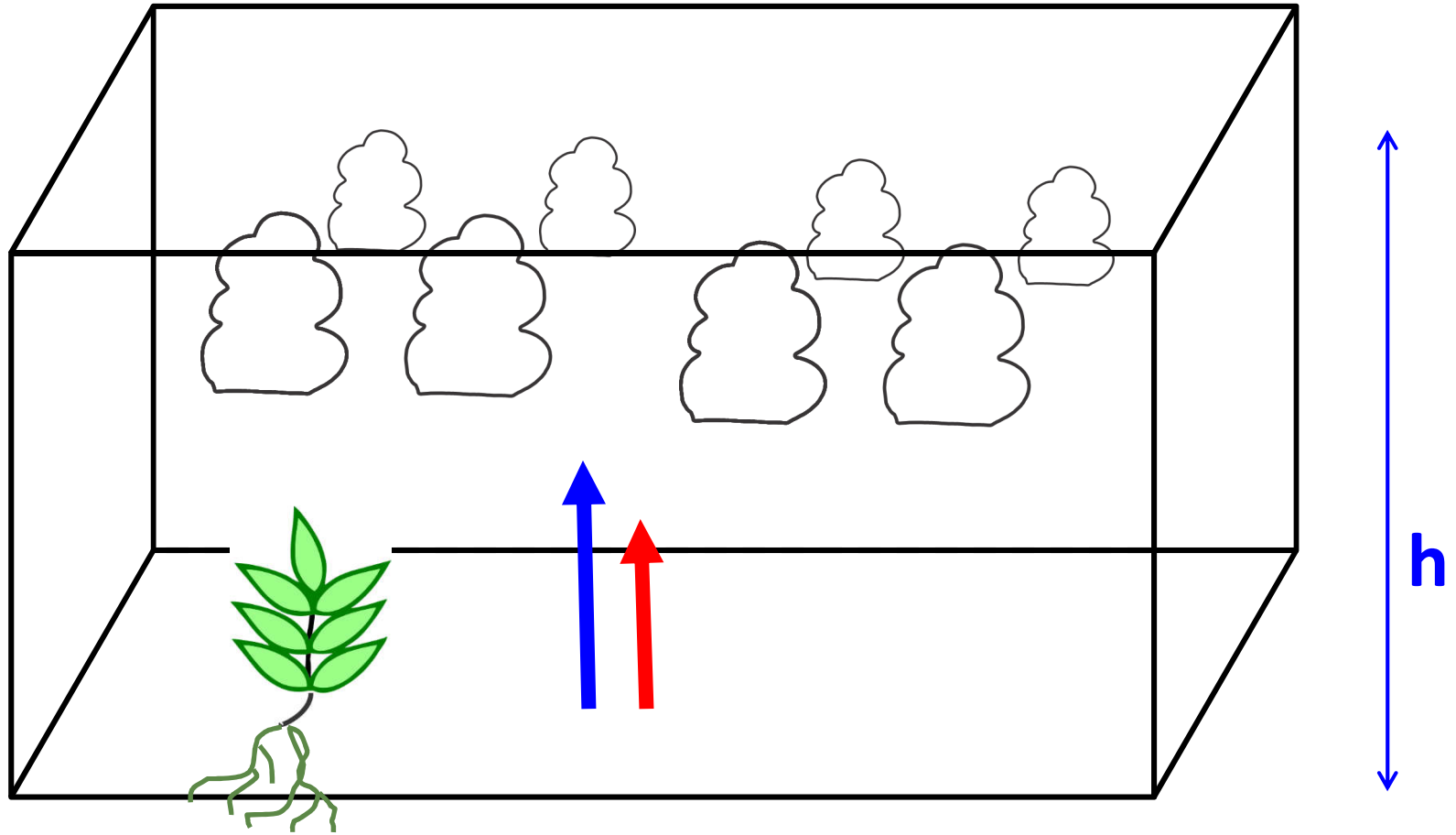
CO₂-opname



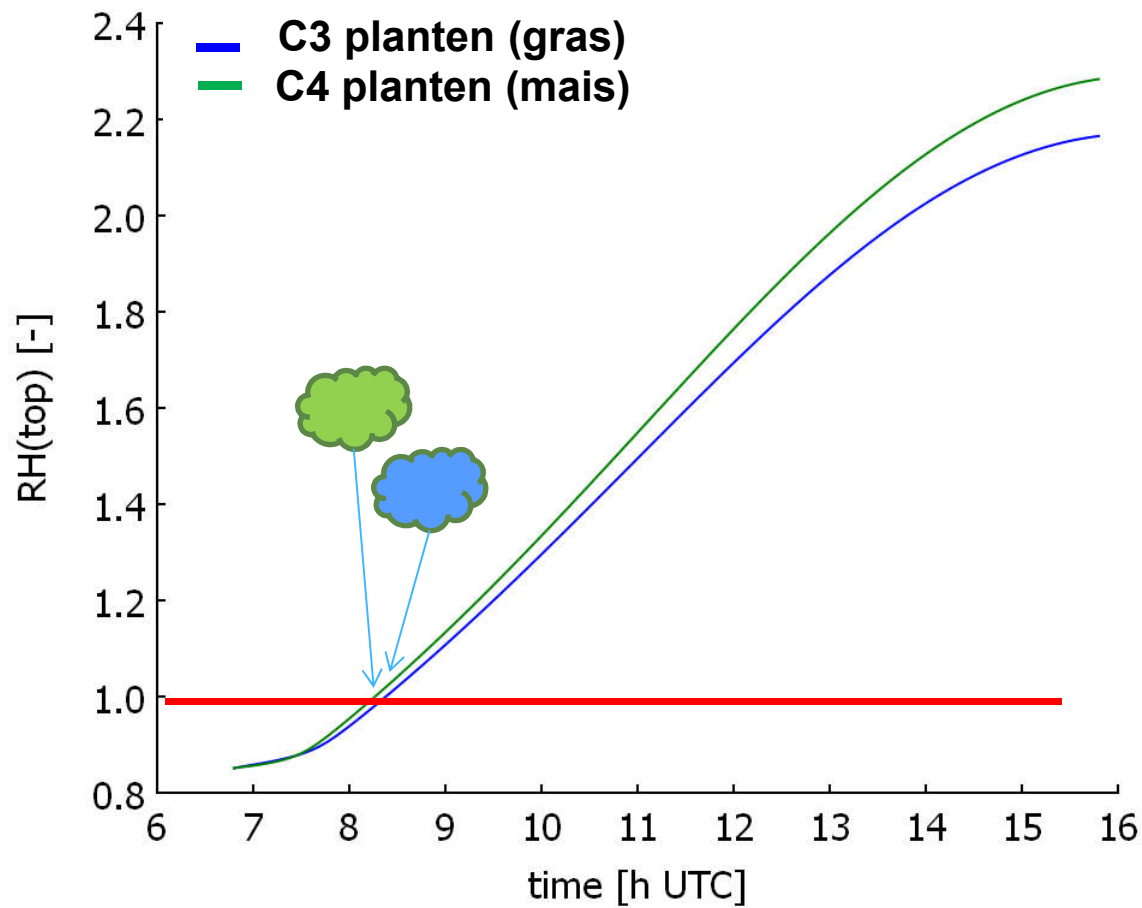
Verdamping



**C4 planten verliezen minder water
en assimileren meer CO₂**



Watergebruik-efficiëntie planten ↔ wolken



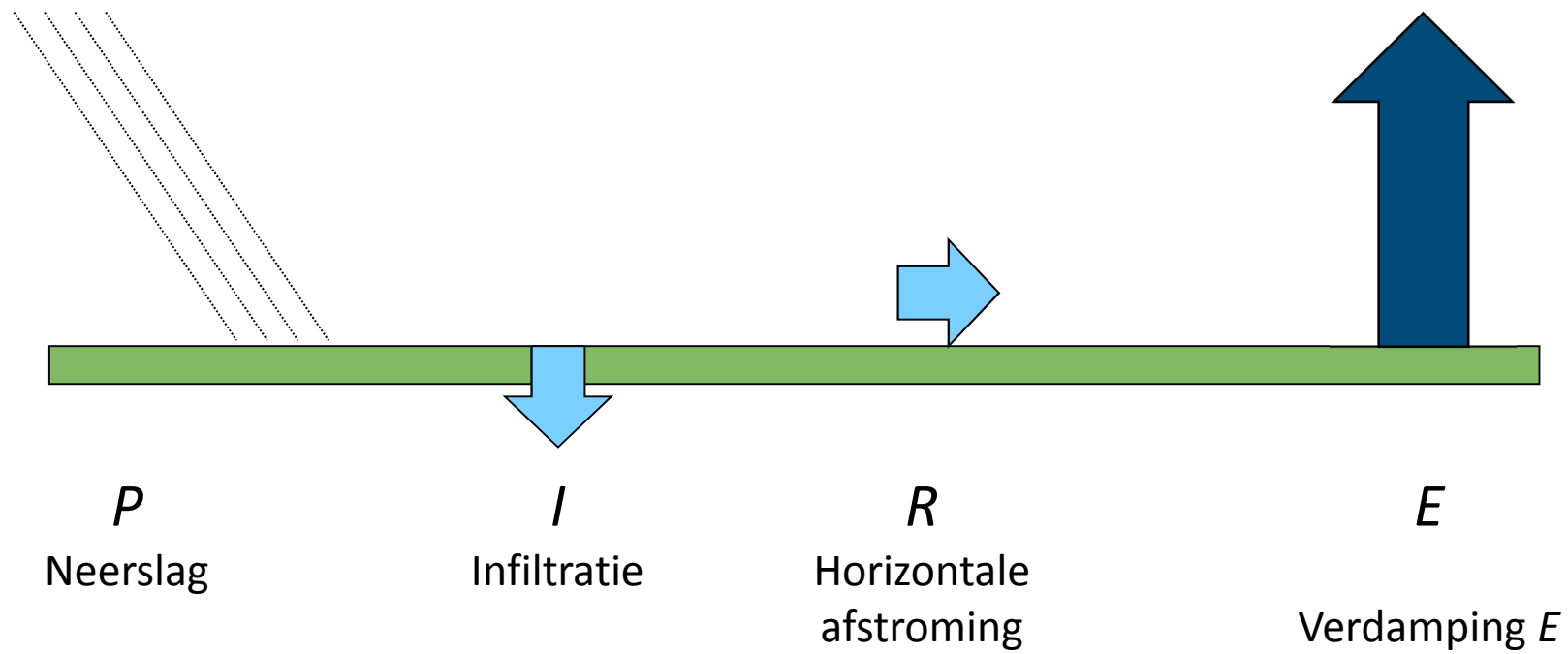
Wolken als:
- $RH(\text{top}) > 1$
of
- $LCL < h$



Water-balans



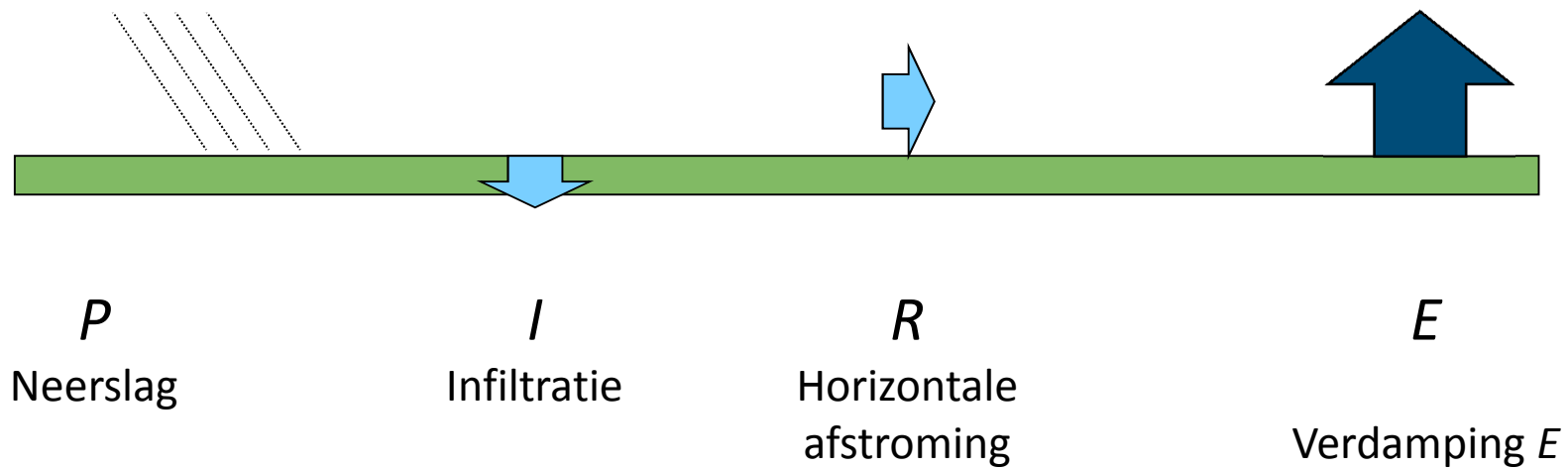
Voldoende water



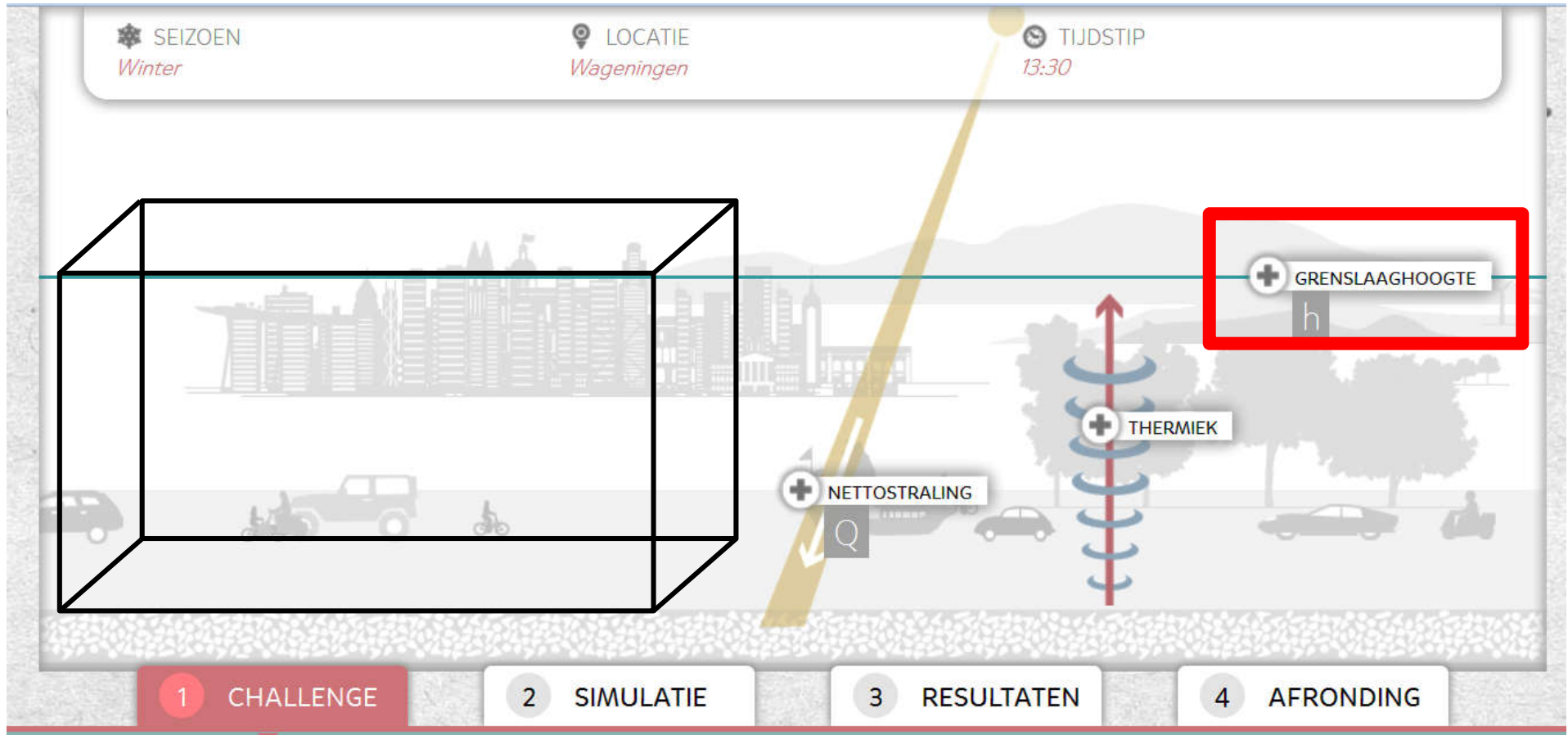
Water-balans



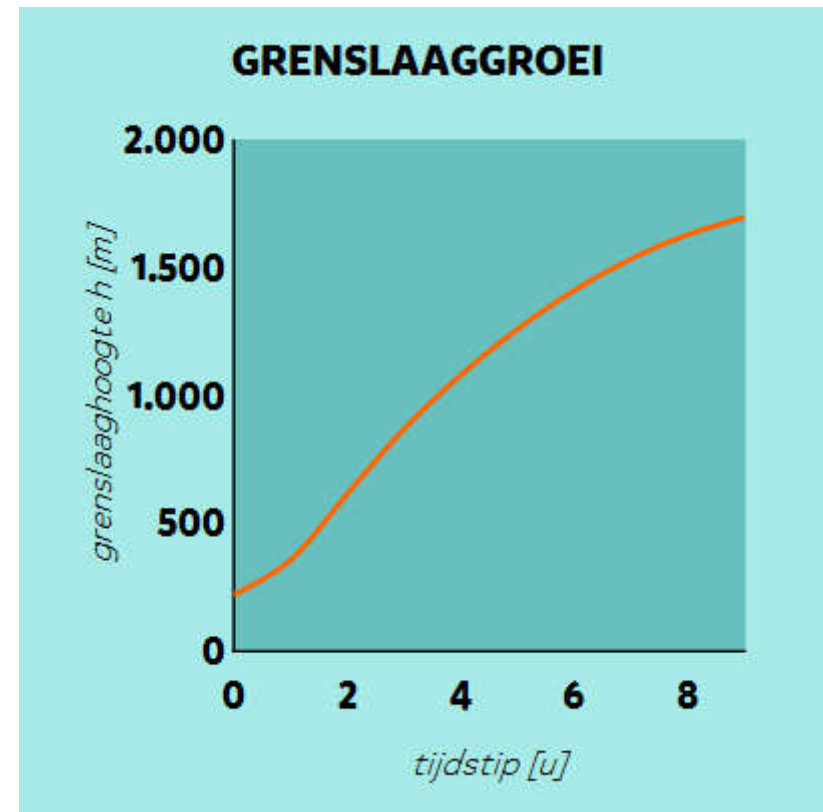
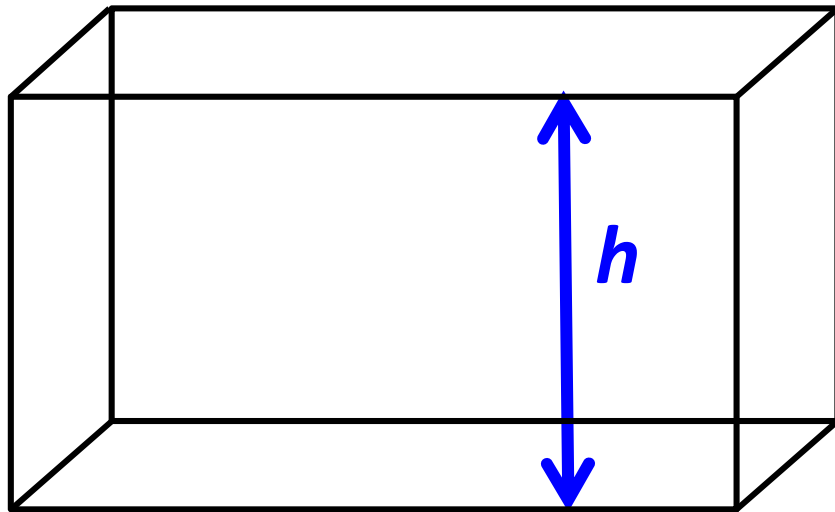
Droog



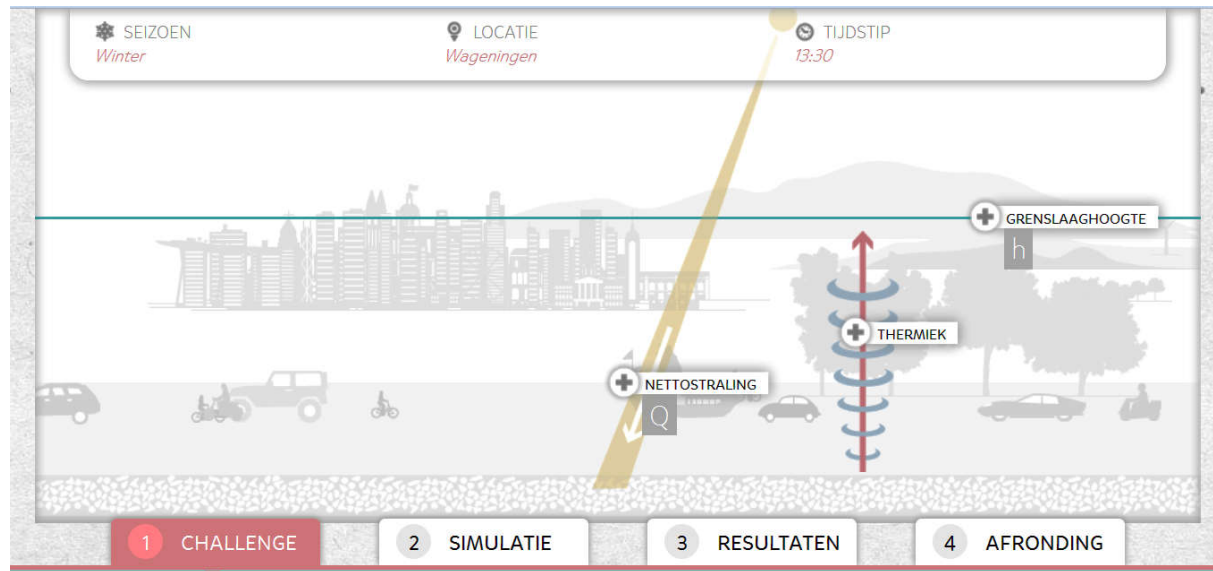
De grenslaag in de meteo-simulatie



Hoe hoog is de grenslaag aan het eind van de dag?



Time to play



Verzadigd vochtgehalte van lucht

droog

onverzadigd



oververzadigd

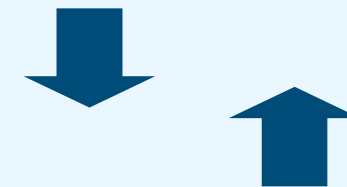


vochtig

oververzadigd



oververzadigd

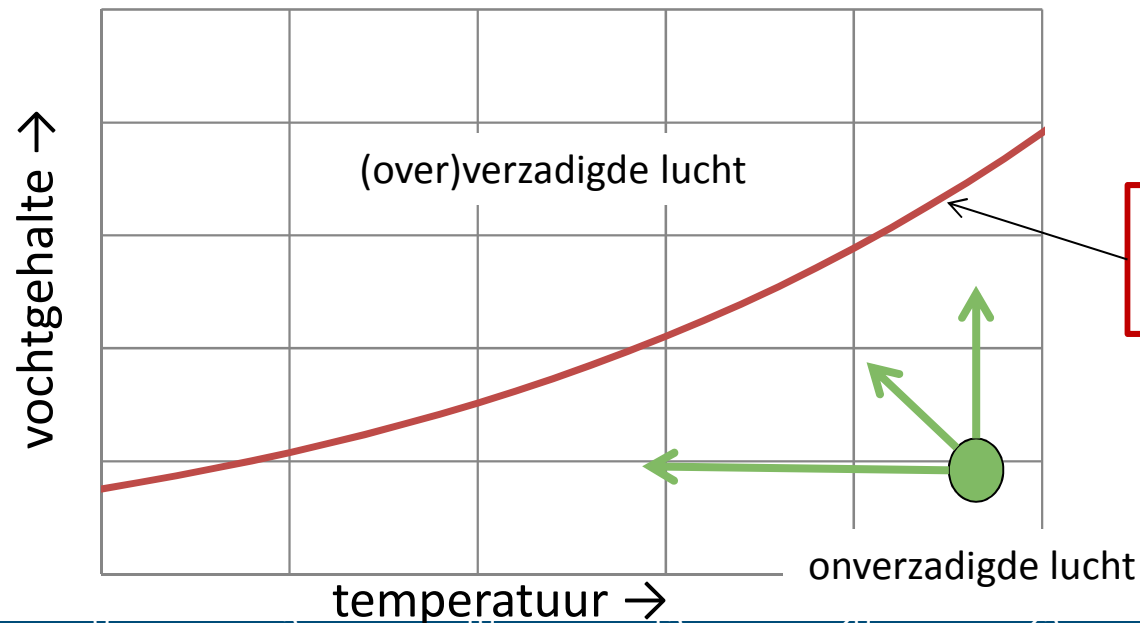


warm

koud

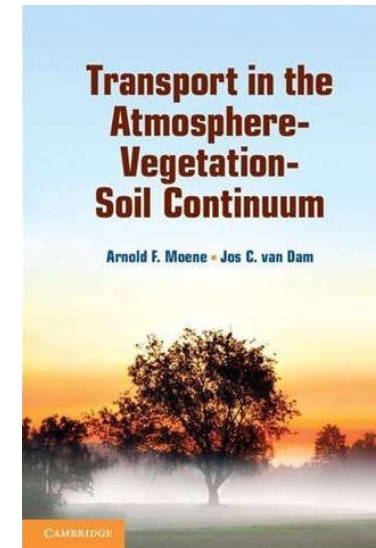
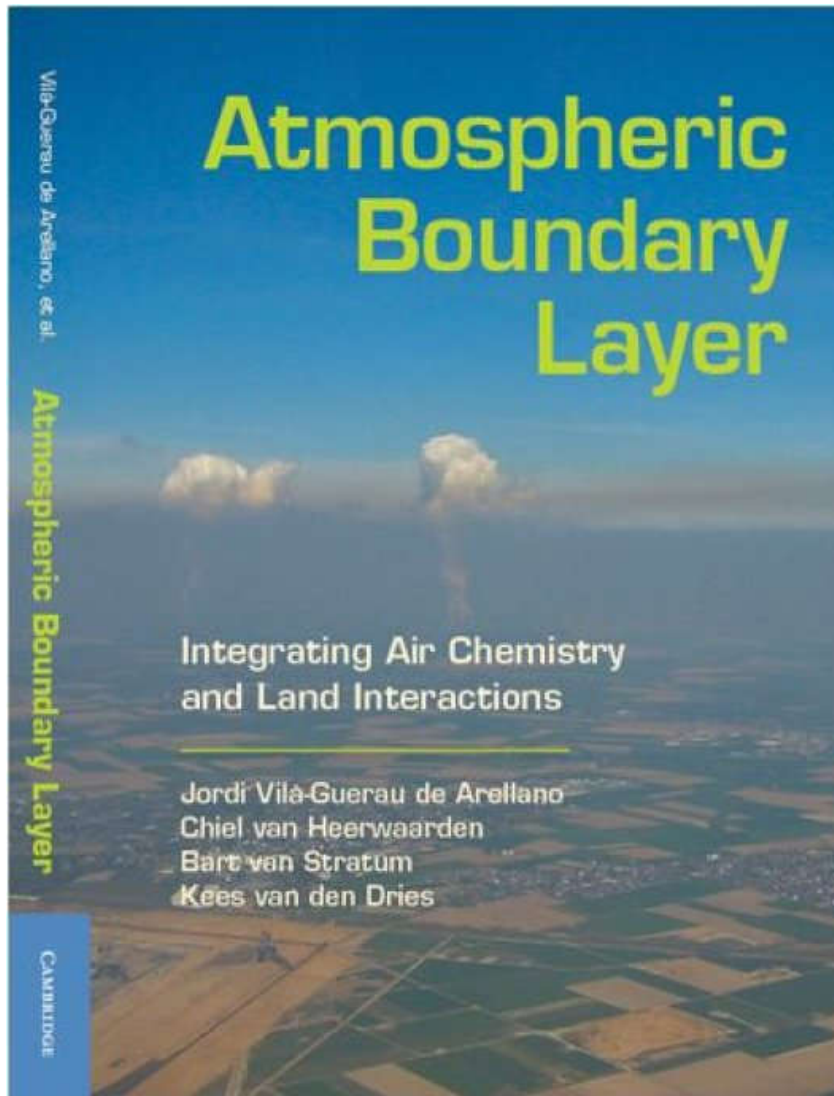


Verzadigd vochtgehalte van lucht



verzadigde lucht →
condensatie = verdamping

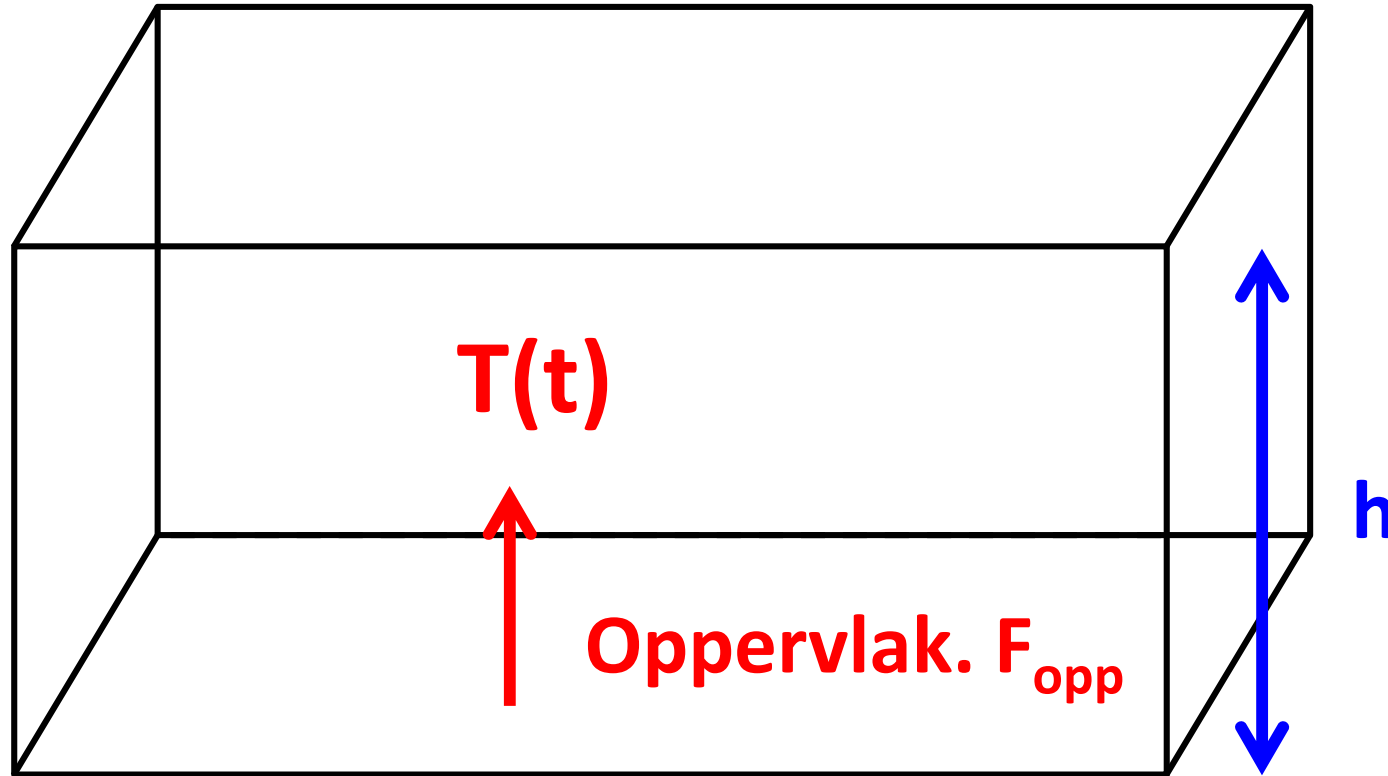
CLASS gebruikt in onderwijs



Tekstboek over processen rond aardoppervlak

Tekstboek over grenslaag, gebaseerd op CLASS

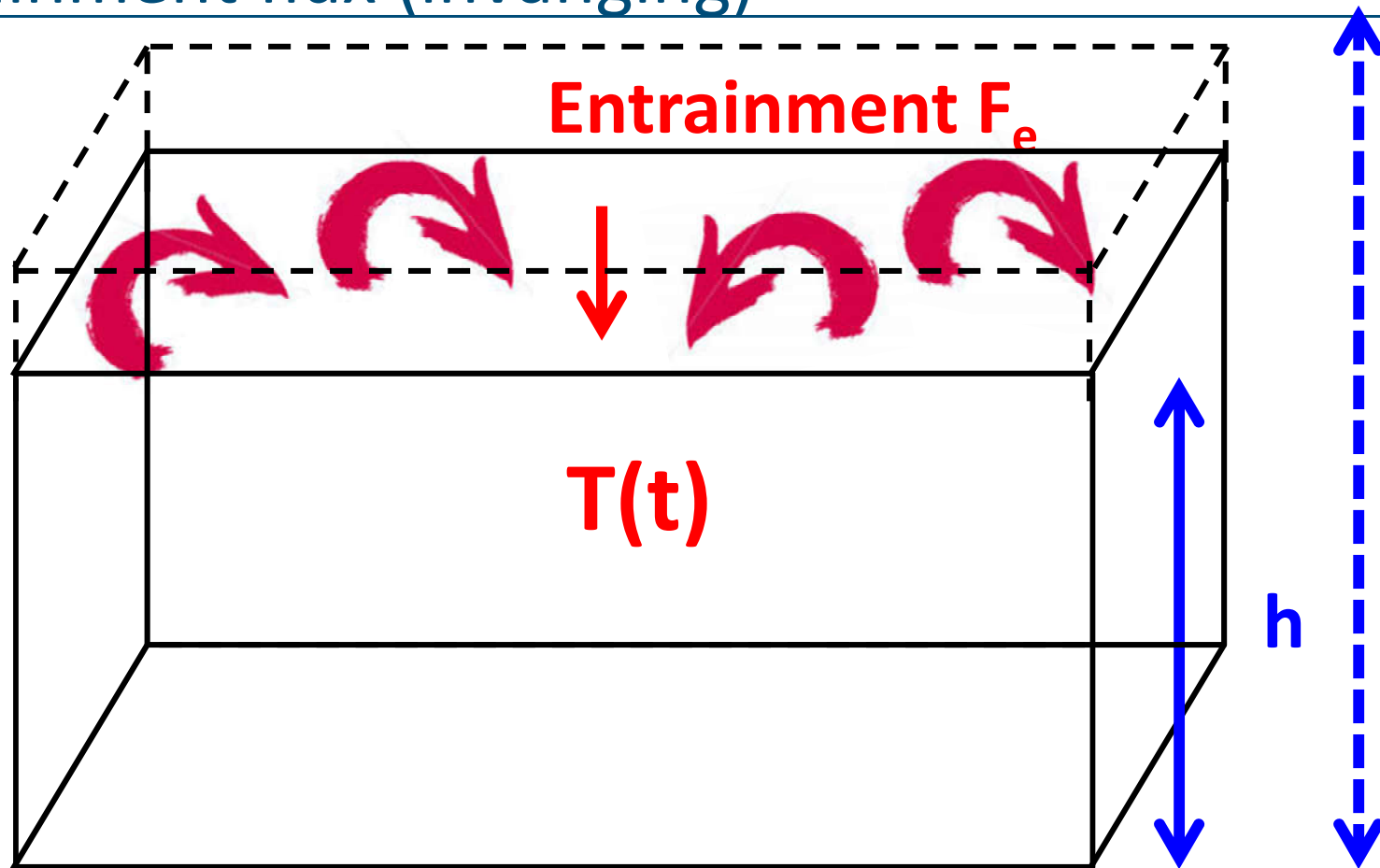
Boekhouding voor bijv. warmte:



$$\frac{dT}{dt} = \frac{F_{opp}}{h} \quad [K / s] \quad F_{opp} \left[\frac{Km}{s} \right]$$

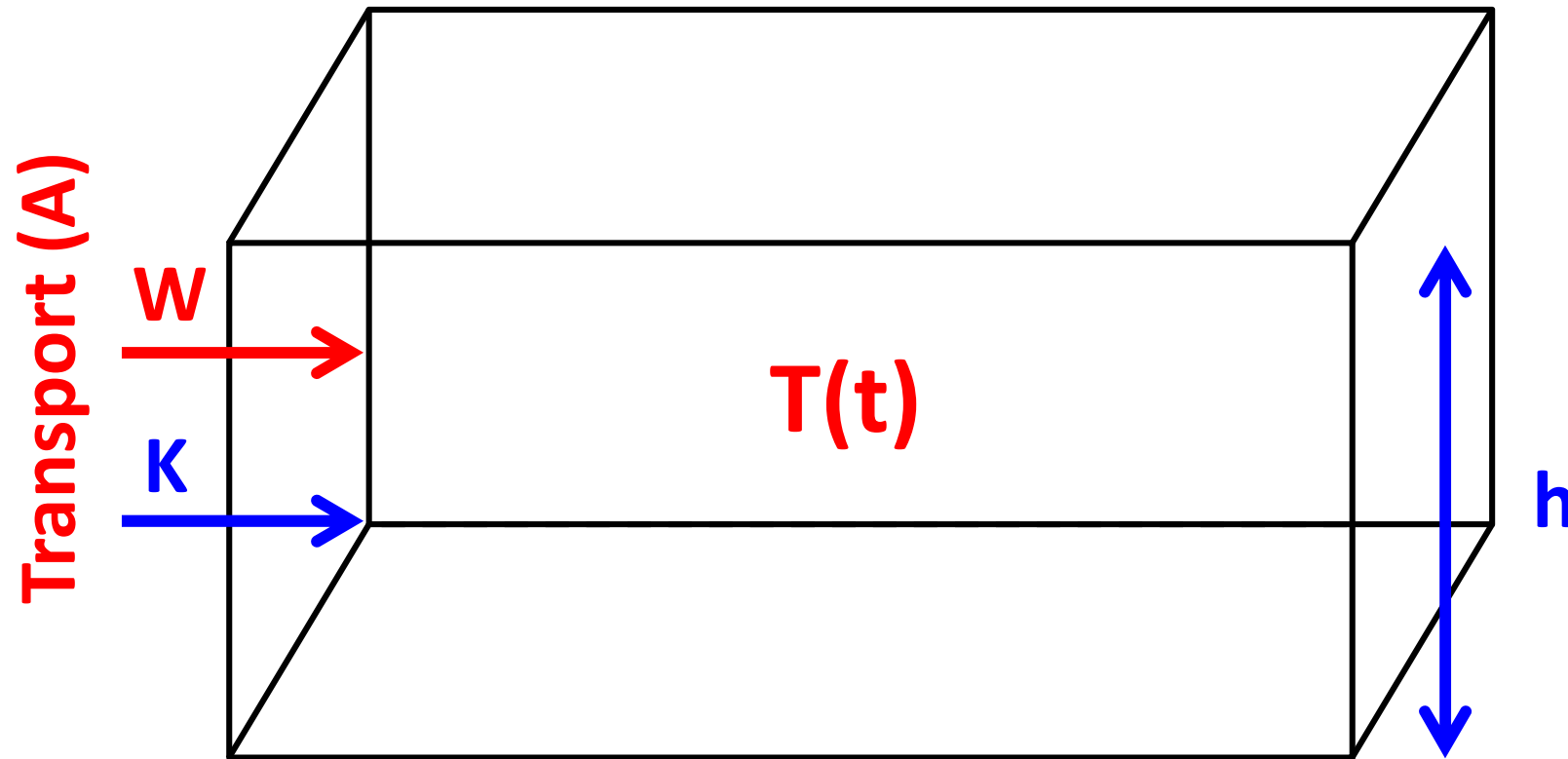
$h[m]$

Entrainment flux (invanging)



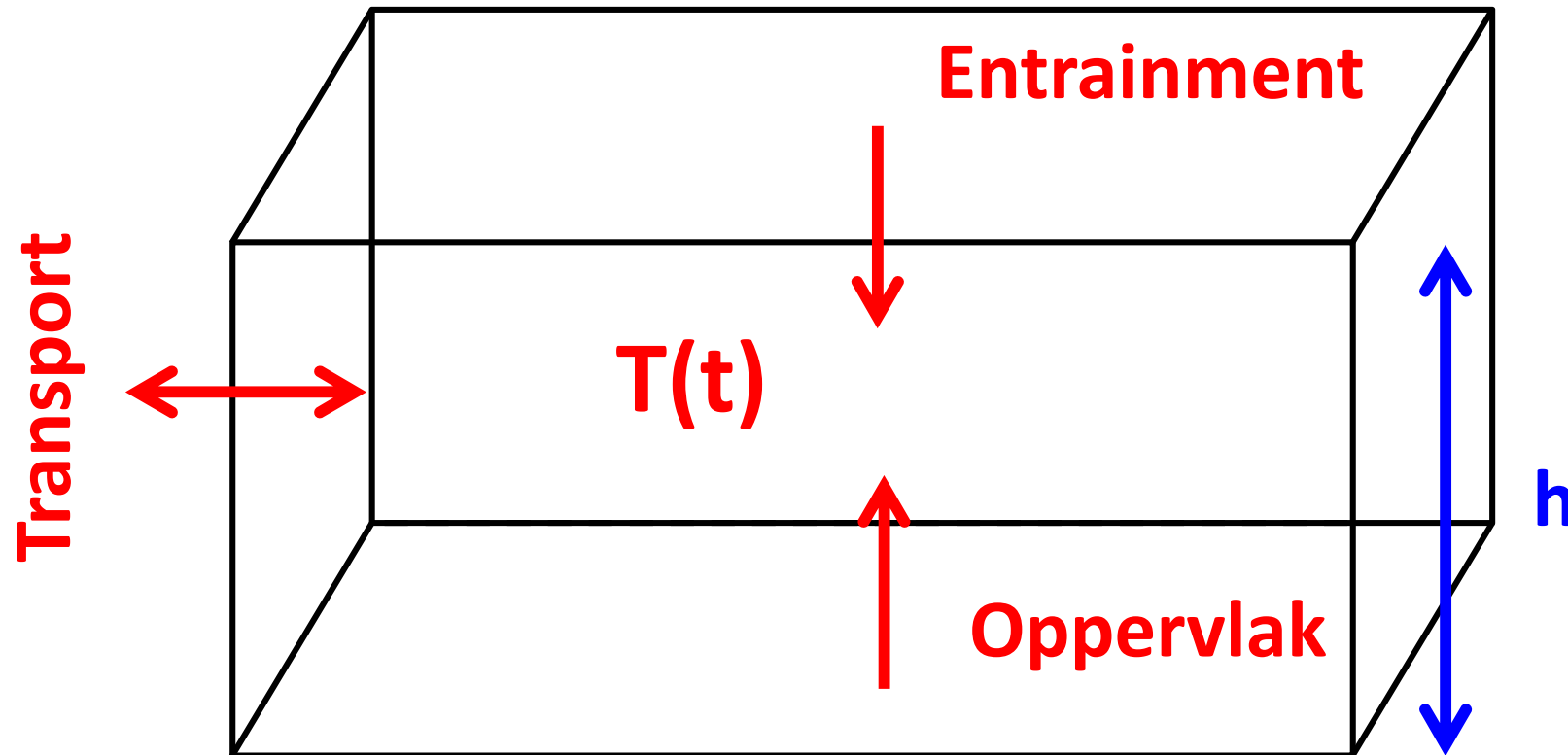
$$\frac{dT}{dt} = \frac{F_e}{h} \quad [K/s] \quad F_e [Km/s] \quad h[m]$$

Laterale warmte flux



$$\frac{dT}{dt} = A$$

Totale budget T(t)



$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{h} (F_s - F_e) + A$$