

BÈTASTEUNPUNT WAGENINGEN

BÈTASIMULATIE WOLKENFYSICA



Met je hoofd in de wolken

Lesbrief



WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGEN **UR**



Bètasteunpunt
Wageningen

Colofon

Documenttitel:

Lesbrief – Bètasimulatie Wolkenfysica

Auteurs:

Durk Veenstra, Bètasteunpunt Wageningen
Tim Voskamp, Bètasteunpunt Wageningen

Wetenschappelijke experts:

dr.ir. Arnold Moene, Wageningen University
dr. Jordi Vila, Wageningen University

Onder redactie van:

Bètasteunpunt Wageningen &
De Praktijk (eindredactie)

Vormgeving

Margriet van Vianen, Bètasteunpunt Wageningen

Foto voorpagina: worker in coveralls and mask takes a sample of the soil in the contaminated area, www.shutterstock.com

©2015. Versie 1.0

Het auteursrecht op de module berust bij Wageningen University. Wageningen University is derhalve de rechthebbende zoals bedoeld in de hieronder vermelde Creative Commons licentie. De auteurs hebben bij de ontwikkeling van de module gebruik gemaakt van materiaal van derden en daarvoor toestemming verkregen. Bij het achterhalen en voldoen van de rechten op teksten, illustraties, enz. is de grootst mogelijke zorgvuldigheid betracht. Verantwoording van de figuren is in de docentenhandleiding te vinden. Mochten er desondanks personen of instanties zijn die rechten menen te kunnen doen gelden op tekstgedeeltes, illustraties enz. van een module, dan worden zij verzocht contact op te nemen met Wageningen University. De module is met zorg samengesteld en getest. Wageningen University en Bètasteunpunt Wageningen aanvaarden geen enkele aansprakelijkheid voor onjuistheden en/of onvolledigheden in de module. Ook aanvaarden Wageningen University en Bètasteunpunt Wageningen geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade, voortkomend uit (het gebruik van) deze module. Dit werk is gelicenseerd onder een Creative Commons Naamsvermelding-NietCommercieel-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie.

Inhoud

Inleiding	4
Challenge 1	5
Challenge 2	9
Challenge 3	12
Challenge 4	14
Challenge 5	17
Onderzoek in Wageningen.....	18

Inleiding

In de Wolkenfysica Simulatie kruip je in de huid van een meteorologisch onderzoeker, zoals op de universiteit of het KNMI. 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 die stromen het weerbeeld bepalen. De nadruk ligt daarbij op temperatuur, luchtvochtigheid en wolkenvorming. Het gebied waarop we gaan inzoomen is de grenslaag, de onderste twee kilometer van de atmosfeer.

In deze simulatie leer je spelenderwijs onderzoek doen, zoals dat op de universiteit gebeurt. Daarbij leer je werken met modellen, modellen stapsgewijs instellen, de effecten van je instellingen bekijken, resultaten interpreteren en inzichten verwerven op basis van je handelingen. Deze simulatie is ook gebaseerd op een model wat op de universiteit wordt gebruikt. Een leerzame les gewenst!

Let op:

Er is nog een probleem met de Run knop. Als deze blijft hangen zonder dat er iets gebeurt, is de enige oplossing op F5 drukken en vernieuwen.

Challenge 1

Dit ga je ontdekken:

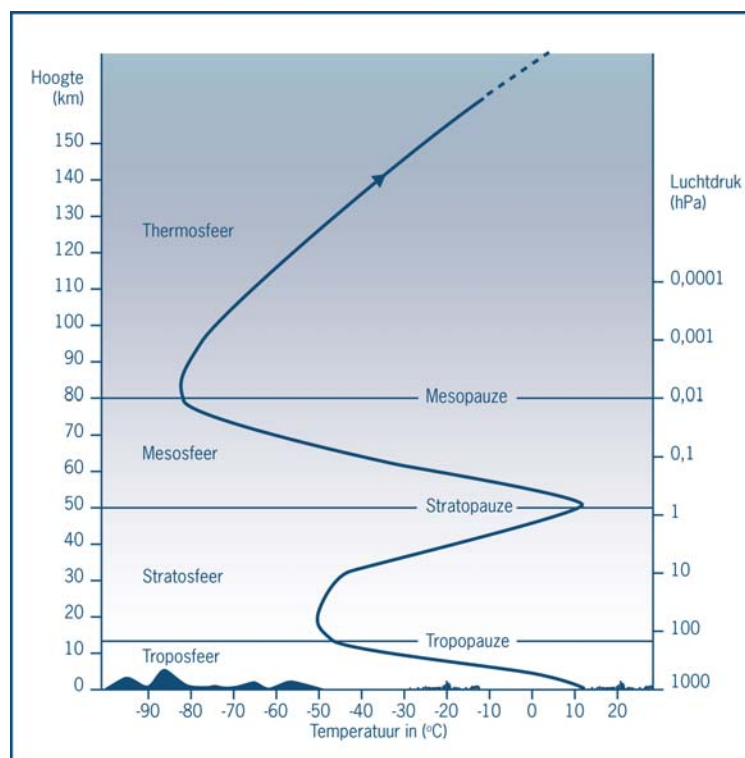
- Hoe de invallende straling op het aardoppervlak varieert op verschillende breedtegraden en dagen van het jaar.
- Wat het verband is tussen invallende straling en grenslaagdikte.

Neem de volgende achtergrondinformatie door:

Troposfeer

Van groot naar klein kent onze planeet de atmosfeer, de troposfeer en de grenslaag.

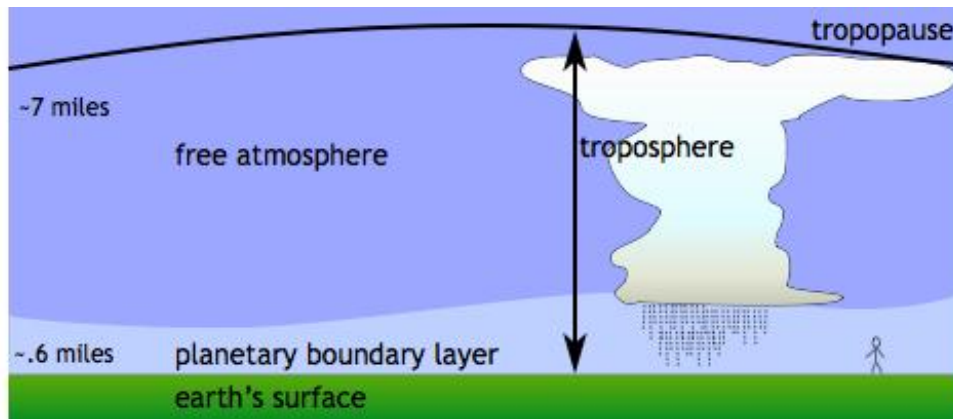
- De officiële grens tussen de ruimte en de atmosfeer ligt op 100km hoogte. In de afbeelding hieronder krijg je een beeld van de verschillende lagen en hun dikte van de totale atmosfeer.
- De troposfeer is de onderste 10km van de atmosfeer. Het is de laag waar al onze weersverschijnselen zich afspelen. Dat komt omdat de troposfeer ruwweg driekwart van de massa en 99% van de waterdamp van de gehele atmosfeer bevat.



Figuur 1 Verticaal temperatuurprofiel van de atmosfeer

Grenslaag

De grenslaag (Engels: planetary boundary layer) is het onderste gedeelte van de troposfeer, zoals je in figuur 2 kunt zien. In de praktijk is dit het stuk van de troposfeer waar de temperatuurverschillen tussen dag en nacht merkbaar zijn. De grenslaag kenmerkt zich door thermiekbellen die opstijgen, dalen en met hun verticale beweging de grenslaag flink mengen. De grenslaag groeit overdag doordat onder invloed van de toenemende zonnestraling de thermiekbellen steeds krachtiger worden en hoger in de atmosfeer doordringen.



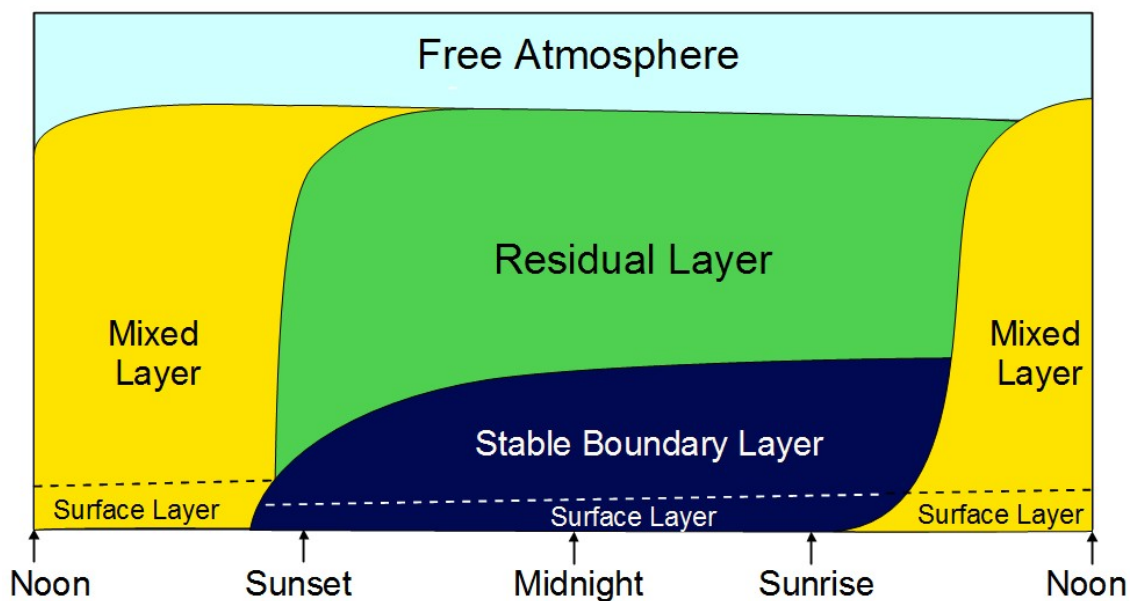
Figuur 2 de Troposfeer

Gedrag van de grenslaag

Overdag reikt de grenslaag tot ongeveer 2 kilometer hoogte. De grenslaag begint 's ochtends te groeien vanaf een dikte van 200 meter en er ontstaat een gemengde laag (Engels: mixed layer), zoals je in de onderstaande afbeelding kunt zien. 's Nachts is er geen straling meer van de zon waardoor er geen energie beschikbaar is voor de thermiekbellen om te stijgen. De grenslaag is dus 's nachts veel dunner dan overdag.

Ongeveer een half uur na zonsondergang komt de atmosfeer tot rust en krimpt de grenslaag tot haar nachtelijke dikte van ongeveer 200 meter. Dat is de stabiele grenslaag (Engels: stable boundary layer). De volgende dag begint de grenslaag vanaf zonsopgang weer te groeien vanaf deze 200 meter hoogte.

De vrije atmosfeer (Engels: free atmosphere) is het gedeelte van de troposfeer waar geen invloed van de menging door de thermiek van de grenslaag meer is. De nachtelijke overgebleven laag (Engels: residual layer) bestaat uit stilstaande lucht, die een kleine invloed heeft op de grenslaag van de volgende dag. In de oppervlakte laag (Engels: surface layer) ontstaan de thermiekbellen en vindt interactie met het oppervlak plaats. Dit kan worden samengevat met figuur 3.

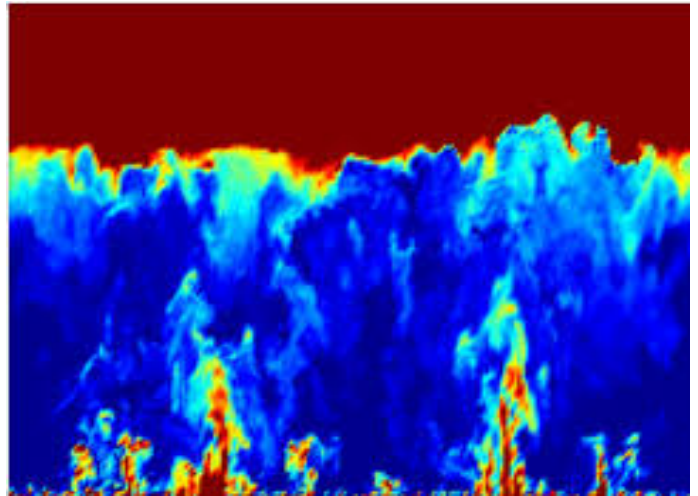


Figuur 3 de grenslaag

Thermiekbellen en menging

In figuur 4 zie je de thermiekbellen opstijgen vanaf het aardoppervlak en de lucht goed mengen. In dit plaatje is ook goed de grens met de vrije troposfeer te zien (het rode, warme gebied bovenin). De stijgende thermiekbellen zorgen overdag voor een sterke menging van de grenslaag, waardoor uitgestoten stoffen, vocht en warmte zich snel verspreiden.

Concentratieverschillen nemen daardoor snel af. Uitlaatgassen bijvoorbeeld worden aan het eind van de dag meer en sneller verdund dan 's ochtends. Hoewel de atmosfeer blootstaat aan sterk wisselende omstandigheden, is door de grenslaagmenging de variatie van de temperatuur en vochtgehalte in de grenslaag relatief gering. De grenslaag speelt dus een belangrijke rol in de leefbaarheid van de atmosfeer en de biosfeer.



Figuur 4 thermiekbellen

Speel eerst Challenge 1a:

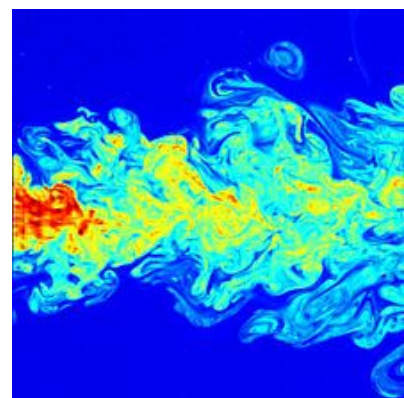
- Lees de opdracht op tabblad *Challenge*.
- Klik op de + icoontjes in het scherm om meer informatie over de grenslaag en haar basis elementen te krijgen.
- Laat de standaard instellingen staan en klik op "Run".
- Bekijk de grafieken, bedenk betere instellingen en klik op "Start nieuwe run".
- Zet de sliders op je nieuwe instellingen en klik op "Run".
- Ga door totdat je het doel hebt bereikt. Niet gelukt? Klik gewoon op F5 en probeer het nog een keer.
- Beantwoord de vraag en klik op "Antwoorden opslaan".
- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt.

Let op:

Wanneer je de antwoorden opgeslagen hebt kan je deze niet meer aanpassen.

Maak deze vragen ter voorbereiding op Challenge 1b:

1. Kijk naar de derde grafiek, verticale thermiekbelstijging. Je ziet de gemiddelde snelheid van een thermiekbel. Bereken hoe lang een thermiekbel ongeveer nodig heeft om vanaf het aardoppervlak tot aan de grenslaaghoogte te stijgen.
2. De stijg- en daalzones van de thermiekbellen zitten dicht op elkaar. Dat zorgt voor veel wrijving tussen de bellen onderling is, waardoor de lucht gaat wervelen (zie figuur 5). Dat heet turbulentie en zorgt voor bovengenoemde menging. Hier vindt een energieomzetting plaats. Welke omzetting is dat?
3. Stel je voor dat er een schadelijke uitstoot is van een giftig gas in de atmosfeer (genoeg historische voorbeelden te



Figuur 5 turbulentie

vinden). Wat gebeurt er 's nachts met deze uitstoot en wat gebeurt er overdag met deze uitstoot?

- Check je antwoorden op het laatste blad van deze lesbrief, en laat je buurman of buurvrouw weer beoordelen hoeveel vragen je goed hebt beantwoord.
- Ga nu met het icoontje linksboven terug naar het hoofdscherm.

Speel nu Challenge 1b:

- Verken het tabblad *Challenge* van de simulatie. Klik op de plusjes op het scherm. Je krijgt dan meer informatie te zien.
- Ga naar het tabblad *Simulatie*. Als je een run hebt gemaakt krijg je automatisch het tabblad *Resultaten te zien*. Maak de volgende run:
 - 1) De grenslaaggroei van Reykjavik in de zomer. Linksboven kun je bij "seizoen" zien in welk seizoen je zit.
 - Als je je vorige run aan wilt passen, ga je weer terug naar het tabblad *Simulatie*.
 - Klik op "Start nieuwe run" in tabblad 3. Maak de volgende run:
 - 2) De grenslaaggroei van Malaga in de zomer (op dezelfde zomerdag als Reykjavik). Vergelijk de nettostraling, de grenslaagdikte in Reykjavik met Malaga. Benoem voor jezelf een aantal verschillen en overeenkomsten die je al ziet.
 - Door op "Start nieuwe run" te klikken, maak je de volgende runs:
 - 3) De grenslaaggroei van Reykjavik in de herfst en
 - 4) De grenslaaggroei van Malaga in de herfst (op dezelfde herfstdag als Reykjavik).

Rond de challenge af op het tabblad *Afronding*:

- Beantwoord de vragen en klik op "Antwoorden opslaan".
- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt.
- Ga met het icoontje linksboven terug naar het hoofdscherm.

Challenge 2

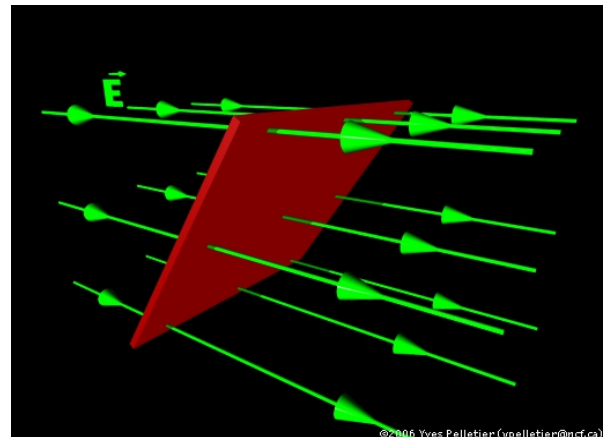
Dit ga je ontdekken:

- Hoe straling wordt omgezet naar voelbare warmte, verdamping en grondwarmte.
- Dat productie van voelbare warmte leidt tot een hogere temperatuur.
- Wat een flux is.
- Hoe bodemvocht de verdeling bepaalt tussen de voelbare warmteflux en de verdampingsflux.

Neem eerst de volgende achtergrondinformatie door:

Wat is een flux?

Een flux is een stroom door een vastgesteld oppervlak, afgebeeld in de figuur rechts. Dat kan bijvoorbeeld een stroom van energie (W/m^2) of vloeistofmassa (kg/m^2) zijn. In deze simulatie werken we vooral met energiefluxen die gemeten worden in W/m^2 .



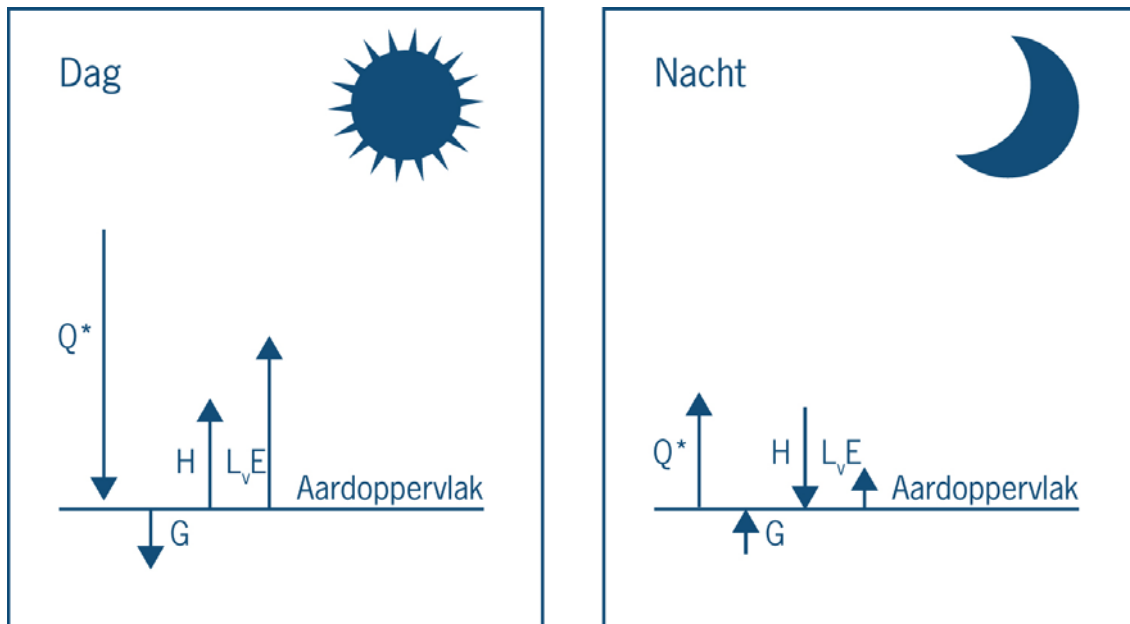
Figuur 6 Flux

De energiefluxen van het aardoppervlak

Meteorologen rekenen aan de energiehuishouding van de atmosfeer door per tijdseenheid de energiefluxen te bepalen. In de grenslaag zijn er vier energiefluxen:

- Netto binnenvallende zonnestraling Q , het verschil tussen inkomende en uitgaande straling.
- Verdampingsflux LE of $L_v E$, de energie die naar verdamping van vocht toe gaat.
- Voelbare warmteflux H , de energie die wordt omgezet naar warmtetoename van de atmosfeer. Deze zorgt voor een stijging van de temperatuur.
- Grondwarmteflux G , een kleine energieflux die ervoor zorgt dat de temperatuur van de grond stijgt.

De laatste drie tellen op tot Q , als: $Q=H+LE+G$. Een overzicht van de grootte en de richting van deze vier fluxen vind je in figuur 7.

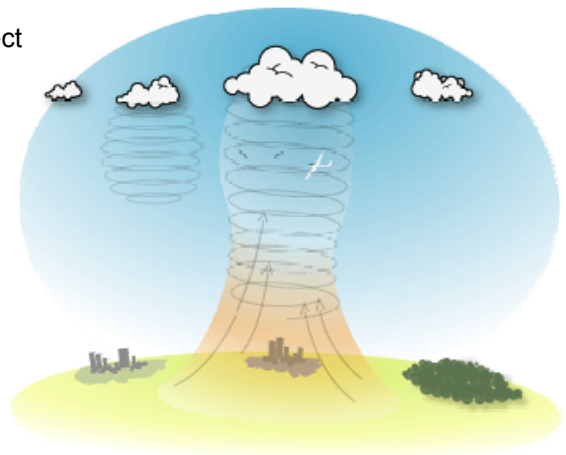


Figuur 7 De energiebalans van het aardoppervlak overdag en 's nachts. De richting van de pijl geeft aan in welke richting de fluxdichtheid is

Convectie, thermiek en menging

De voelbare warmteflux H zorgt ervoor dat de luchtlaag direct boven het aardoppervlak opwarmt. De lucht zet daarbij uit, wordt lichter en gaat daardoor stijgen. De omzetting van een warm oppervlak naar natuurlijke circulatie heet convectie (zie figuur 8). Dit is de motor die de beweging van de thermiekbellen aandrijft. Hierdoor ontstaat de laag van goed gemengde lucht die grenslaag wordt genoemd.

De hoeveelheid energie beschikbaar voor de fluxen - nettostraling Q - wordt dus voornamelijk bepaald door de breedtegraad en het seizoen. De aanwezigheid van water in de bodem heeft invloed op de verdeling tussen de fluxen en daarmee ook op de grenslaagdikte en temperatuur.



Figuur 8 Convectie

Speel eerst Challenge 2a:

- Net zoals je Challenge 1a speelde.
- Beantwoord de vraag en klik op "Antwoorden opslaan".
- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt.

Maak deze vragen ter voorbereiding op Challenge 2b:

1. Koppel de warmteoverdrachtsvormen "convectie, geleiding, straling, verdamping" aan de fluxen Q , H , LE en G . Welke is de grootste flux en welke de kleinste flux en waarom?
 2. Voorspel of de verdeling tussen opwarming en verdamping varieert tussen de verschillende jaargetijden. (Of simuleer het.)
- Check je antwoorden op het laatste blad van deze lesbrief, en laat je buurman of buurvrouw weer beoordelen hoeveel vragen je goed hebt beantwoord.
 - Ga nu met het icoontje linksboven terug naar het hoofdscherm.

Speel nu Challenge 2b:

- Verken het tabblad *Challenge* van de simulatie.
- Ga naar het tabblad *Simulatie*. Maak de volgende run:
 - 1) De grenslaagontwikkeling op een zandverstuiving in de zomer in Nederland, bijvoorbeeld in Limburg, met bodemvocht = 0.15 kg/kg.
 - Als je je vorige run aan wilt passen, ga je weer terug naar het tabblad *Simulatie*.
 - Klik op “Start nieuwe run” in tabblad 3. Maak de volgende run:
 - 2) De grenslaagontwikkeling op een droge plek de zomer in Nederland, met bodemvocht = 0.20 kg/kg.
 - Door op “Start nieuwe run” te klikken, maak je de laatste run:
 - 3) De grenslaagontwikkeling in de zomer op een plek in Nederland met sappig grasland, en dus voldoende vocht in de bodem, bodemvocht = 0.25 kg/kg.

Rond de Challenge af op het tabblad *Afronding*:

- Beantwoord de vragen en klik op “Antwoorden opslaan”.
- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt.
- Ga met het icoontje linksboven terug naar het hoofdscherm.

Challenge 3

Dit ga je ontdekken:

- Dat de luchtvochtigheid gelijk is over de gehele grenslaag.
- Welke factoren het vochtgehalte verhogen en verlagen.
- De vochtbalans van de grenslaag.

Neem de volgende achtergrondinformatie door:

Vocht in de grenslaag

Er is van nature vocht aanwezig in de grenslaag. Het vochtgehalte is door de menging van de grenslaag binnen de gehele grenslaag ongeveer gelijk op alle hoogtes. Het vochtgehalte wordt uitgedrukt in gram vocht per kilogram lucht: g/kg. De term 'vocht' wordt gebruikt in plaats van de naam 'water', omdat het een verzamelterm is van verschillende fasen van water. Vocht in de grenslaag kan namelijk zowel waterdamp als water aanduiden. Bij een hoog vochtgehalte komt er zowel waterdamp als water - in de vloeibare vorm van druppels - in de grenslaag voor.

De vochtbalans van de grenslaag

Een van de belangrijkste bronnen van vocht in de grenslaag is verdamping van bodemvocht. Dat merk je bijvoorbeeld aan een zeewind in Nederland, die vochtige lucht vanaf de Noordzee aanvoert. Wind kan ook het vocht juist afvoeren, waardoor de grenslaag uitdroogt. Daarnaast droogt de grenslaag ook uit tijdens het groeien in de loop van de dag. Dat komt doordat een groeiende grenslaag hoger in de troposfeer steeds drogere luchtlagen tegenkomt. De groeiende grenslaag neemt die drogere lucht in de grenslaag op en wordt gemengd door de grenslaag. Daardoor neemt het vochtgehalte een klein beetje af.

Speel eerst Challenge 3a:

- Net zoals je Challenge 1a speelde.
- Beantwoord de vraag en klik op "Antwoorden opslaan".
- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt

Maak deze vragen ter voorbereiding op Challenge 3b:

1. Waarom is zeewind een vochtige wind?
2. Welke verschijningsvormen van water zie je als de luchtvochtigheid groot is?
3. Zit er denk je een maximum aan hoe hoog de waarde van de luchtvochtigheid kan zijn?
4. In de lesbrief heb je gelezen dat de grenslaag hoger in de troposfeer steeds drogere lucht tegenkomt. Aangenomen dat deze lucht niet alleen droger maar ook warmer is, wat is dan het effect van deze warmere lucht op de grenslaaggroei?

Speel nu Challenge 3b:

- Verken het tabblad Challenge van de simulatie.
 - Ga naar het tabblad Simulatie. Als je een run hebt gemaakt krijg je automatisch het tabblad Resultaten te zien.
 - Doe alle runs op de breedtegraad van Malaga in het voorjaar.
 - Maak de volgende run:
- 1) De grenslaaggroei in de woestijn (bodemvocht 0.15 kg/kg) met zeewind (+0.2 g/kg/uur).
 - Als je je vorige run aan wilt passen, ga je weer terug naar het tabblad Simulatie.
 - Klik op "Start nieuwe run" in tabblad 3. Maak de volgende run:
 - 2) De grenslaaggroei in de woestijn (bodemvocht 0.15 kg/kg) met woestijnwind (-0.2 g/kg/uur).
 - Door op "Start nieuwe run" te klikken, maak je de volgende runs:
 - 3) De grenslaaggroei in het vochtige gebied (bodemvocht 0.25 kg/kg) met woestijnwind (-0.2 g/kg/uur).
 - 4) De grenslaaggroei in het vochtige gebied (bodemvocht 0.25 kg/kg) met zeewind (+0.2 g/kg/uur).
 - 5) De grenslaaggroei in de woestijn (bodemvocht 0.15 kg/kg) zonder invloed van wind (0 g/kg/uur).

Rond de Challenge af op het tabblad *Afronding*:

- Beantwoord de vragen en klik op "Antwoorden opslaan".
- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt
- Ga met het icoontje linksboven terug naar het hoofdscherm.

Challenge 4

Dit ga je ontdekken:

- De relatie tussen de werkelijke temperatuur, vochtigheid, verzadigingspunt en relatieve vochtigheid.
- Dat de wolkenbasis zich bevindt op de plek waar de relatieve vochtigheid in de grenslaag 100% is.
- Welke factoren van invloed zijn op de wolkenbasis en het tijdstip waarop wolken in de grenslaag ontstaan.
- Het onderscheid tussen grenslaagwolken en hogere wolken.
- Hoe stapelwolken ontstaan.

Neem de volgende achtergrondinformatie door:

Relatieve vochtigheid

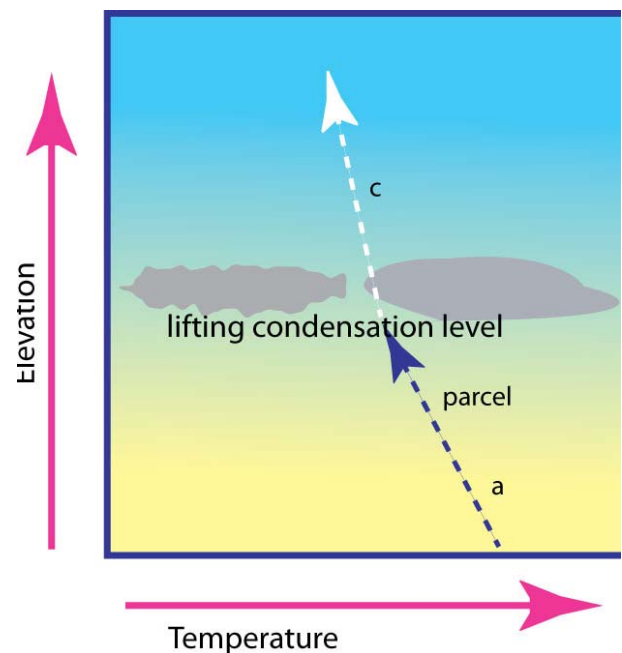
In de atmosfeer bevindt vocht zich meestal in de fase van damp of de vloeibare fase (die je als wolken of mist ziet). De fase waarin water zich bevindt, is afhankelijk van de temperatuur van en de hoeveelheid vocht in de lucht. Warme lucht kan namelijk meer waterdamp bevatten voordat er condensatie optreedt dan koude lucht. Als warme lucht met een hoog vochtgehalte afkoelt, treedt er dus condensatie op. Op het moment van condensatie is de lucht “verzadigd”.

Meteorologen hebben een maat voor hoe ver een luchtpakketje met bepaalde vochtigheid en temperatuur af zit van het verzadigingspunt: de relatieve luchtvochtigheid RH. De RH wordt berekend als de verhouding tussen het heersende vochtgehalte, en het verzadigingsvochtgehalte bij de heersende luchttemperatuur. Een waarde van 1 (of 100%) betekent volledige verzadiging, daarboven condenseert vocht. Dit neemt in de atmosfeer de vorm van wolken of mist aan. Wolken zijn gecondenseerde druppels in de atmosfeer op enige hoogte, mist is gecondenseerd water in de lucht vlak boven het aardoppervlak. Als vocht condenseert op het aardoppervlak heet het dauw.

Wolkenvorming en wolkenbasis

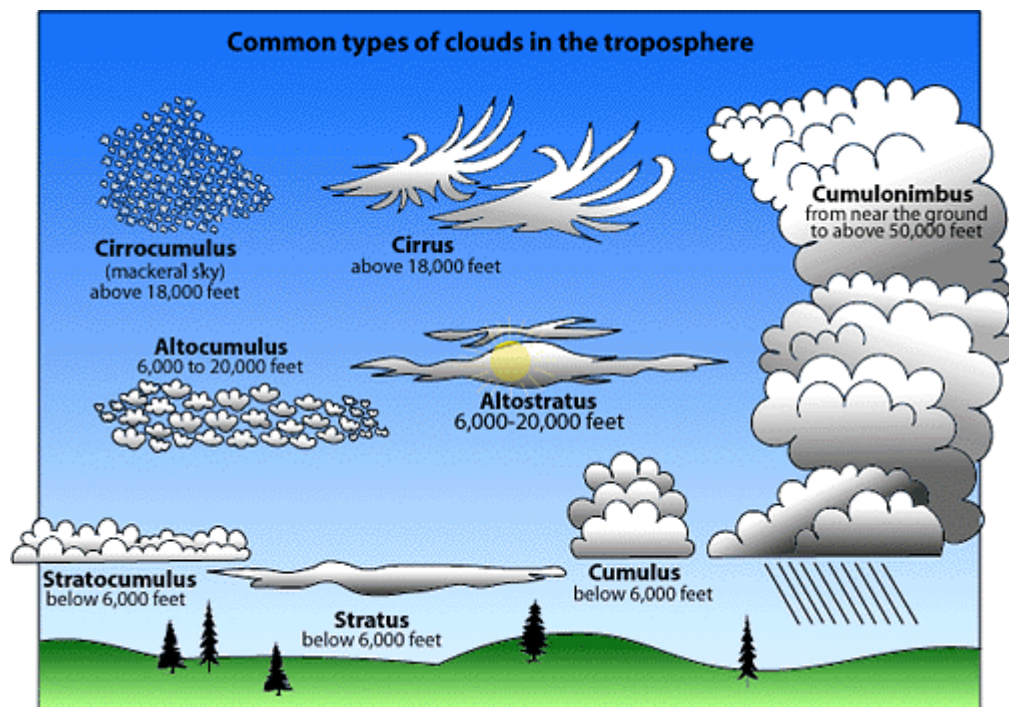
De temperatuur van de lucht neemt af met toenemende hoogte. Normaal gesproken met 10°C per hoogte-kilometer. Koude lucht kan minder water bevatten dan warme lucht, dus op grotere hoogte wordt eerder een relatieve luchtvochtigheid van 100% bereikt. Dat betekent dat bovenaan de grenslaag dus eerder condensatie optreedt en wolken ontstaan dan aan het oppervlak.

In de grenslaag ontstaan er wolken op de hoogte waarbij lucht met vocht verzadigd is en dus RH = 100% geldt. Deze hoogte wordt aangeduid met de term ‘wolkenbasis’ (Engels: lifting condensation level). Deze is buiten vaak duidelijk te zien als een denkbeeldige lijn waarboven de wolken beginnen te groeien. Zie figuur 9. De wolkenbasis daalt bij toenemende vochtigheid en temperaturodaling en stijgt bij dalende vochtigheid en temperatuurstijging.



Figuur 9 Wolkenbasis

Het kan zijn dat er op een bepaald moment geen wolken aan de hemel zijn. Dan is de wolkenbasis hoger dan de grenslaagdikte en is de relatieve luchtvochtigheid bovenaan de grenslaag (RH-top) kleiner dan 100%. Pas als de wolkenbasis zich binnen de grenslaag bevindt ontstaan er wolken. RH-top is dan groter dan 100% zijn.



Figuur 10 Wolkensoorten

Wolkensoorten

In deze simulatie hebben we het over *grenslaagwolken*. Dit zijn de wolken die laag in de atmosfeer zitten en worden gestuurd door de omstandigheden in de grenslaag. Dit zijn niet de enige wolken die je in de praktijk ziet, maar wel de meest voorkomende. Een voorbeeld van hoge wolken, los van de grenslaag, zijn de veerachtige witte cirruswolken rond 10 kilometer hoogte, afgebeeld hierboven. Typische grenslaagwolken zijn dus: stratocumulus-, stratus- en cumuluswolken. Ook cumulonimbus heeft zijn oorsprong in de grenslaag, maar schiet veel hoger door en wordt er dus meestal niet bijgeteld.

Stapelwolken

Stel je voor: de wolkenbasis daalt en er ontstaan wolken. In de praktijk ontstaan er aan de wolkenbasis dan niet ineens een wolkendeck wat de hele hemel bedekt. In plaats daarvan bedekken de eerste wolken een klein deel van de hemel. Dit is hoe de welbekende Nederlandse stapelwolken ontstaan.

Stapelwolken ontstaan als de wolkenbasis in de buurt van de grenslaagdikte-waarde komt, dat is in de praktijk vanaf $RH\text{-top} = 80\%$. Deze stapelwolken ontstaan boven de sterkste thermiekzones, waar extra vocht van het aardoppervlak omhoog wordt getransporteerd. Het vochtgehalte ligt boven de thermiekzones, dus lokaal wat hoger dan eromheen waar de wolkenbasis dus juist weer wat lager ligt. De wolkenbasis is boven thermiekzones net een stukje kleiner dan de grenslaagdikte, en dus ontstaan er alleen daar wolken. Deze stapelwolken bedekken ongeveer 20% van de hemel.

Deze stapelwolken zitten vol met vocht, wat condenseert in de koude lucht boven de grenslaag. Dat levert extra warmte in de wolk op, waardoor de wolk lichter wordt en extra stijgkracht krijgt. Hierdoor groeien deze stapelwolken ongeveer 1 tot 2 kilometer verder de hoogte in. De condensatie van het water levert een dergelijk wolk dus een extra 'boost' energie om verder te kunnen stijgen. Dit mechanisme zorgt voor het typische Nederlandse wolkenlandschap waar vroegere schilders zich al door lieten inspireren voor hun beroemde werken.

Maak deze vragen ter voorbereiding op Challenge 4:

1. Noem de drie hoofdfactoren van belang bij wolkenvorming: de twee belangrijkste bronnen van vocht in de grenslaag, en de benodigde factor om vocht te laten condenseren.
2. Geef een reden waarom mist vooral vroeg in de ochtend voorkomt? Waarom lost mist in de loop van de dag vaak op?

Speel nu Challenge 4:

- Verken het tabblad Challenge van de simulatie.
 - Ga naar het tabblad Simulatie. Als je een run hebt gemaakt krijg je automatisch het tabblad Resultaten te zien.
 - Doe alle runs op de breedtegraad van Nederland in de herfst.
 - Maak de volgende run:
- 1) De grenslaaggroei in de herfst met bodemvocht = 0.25 kg/kg, temp = 7 graden Celsius en startvochtigheid = 8 g/kg.
 - Als je je vorige run aan wilt passen, ga je weer terug naar het tabblad Simulatie.
 - Klik op "Start nieuwe run" in tabblad 3. Maak de volgende run:
 - 2) De grenslaaggroei in de herfst met bodemvocht = 0.25 kg/kg, temp = 4 graden Celsius en startvochtigheid = 8 g/kg.
 - Door op "Start nieuwe run" te klikken, maak je de volgende run:
 - 3) De grenslaaggroei in de herfst met bodemvocht = 0.25 kg/kg, temp = 7 graden Celsius en startvochtigheid = 7 g/kg.

Rond de Challenge af op het tabblad Afronding:

- Beantwoord de vragen en klik op "Antwoorden opslaan".
- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt.
- Ga met het icoontje linksboven terug naar het hoofdscherm.

Challenge 5

Dit ga je ontdekken:

- Wat het effect van verschillende soorten vegetatie op wolkenvorming is.
- Hoe dit het verschil in wolkenvorming tussen west en oost Nederland beïnvloedt.

Neem de volgende achtergrondinformatie door:

Verdamping door vegetatie

Een andere belangrijke eigenschap van het oppervlak - naast het bodemvochtgehalte - is de vegetatiesoort. De vegetatiesoort en het bodemvochtgehalte zijn samen van invloed op de grootte van de verdampingsflux. Vegetatie heeft daarmee dus ook invloed op wolkenvorming.

Sommige gewassen verdampen veel water, andere een stuk minder. De mate waarin een gewas water kan verdampen heet de verdampingscapaciteit. Deze hangt van een aantal factoren af waarvan de hoeveelheid bladoppervlak die een gewas per vierkante cm heeft er één van is. Daarnaast gebruiken sommige gewassen veel water voor hun groei en zijn andere soorten van nature zuiniger. Een laatste aspect is het vermogen van een gewas om water uit de bodem te halen; dieper wortelende gewassen kunnen namelijk bij aanhoudende droogte langer water naar boven blijven halen.

Maak deze vraag ter voorbereiding op Challenge 5:

1. Geef een reden waarom het boven open water soms onbewolkt is, terwijl in de buurt boven land er wel wolken zijn?

Speel nu Challenge 5:

- Verken het tabblad Challenge van de simulatie.
 - Ga naar het tabblad Simulatie. Als je een run hebt gemaakt krijg je automatisch het tabblad Resultaten te zien.
 - Doe alle runs op de breedtegraad van Nederland in het voorjaar.
 - Maak de volgende run:
- 1) De grenslaaggroei voor de polders met grasland en vochtige bodem - bodemvocht = 0.25 kg/kg.
 - Als je je vorige run aan wilt passen, ga je weer terug naar het tabblad Simulatie.
 - Klik op "Start nieuwe run" in tabblad 3. Maak de volgende run:
 - 2) De grenslaaggroei voor de polders met grasland en drogere bodem - bodemvocht = 0.20 kg/kg.
 - Door op "Start nieuwe run" te klikken, maak je de volgende runs:
 - 3) De grenslaaggroei voor de Veluwe met loofbos en drogere bodem - bodemvocht = 0.20 kg/kg.
 - 4) De grenslaaggroei voor de Veluwe met loofbos en bodemvocht = 0.25 kg/kg.

Rond de Challenge af op het tabblad Afronding:

- Beantwoord de vragen en klik op "Antwoorden opslaan".
- Bekijk de juiste antwoorden en ga na hoeveel vragen je goed beantwoord hebt.
- Ga met het icoontje linksboven terug naar het hoofdscherm.

Onderzoek in Wageningen

Het model waar de grenslaagprocessen worden geanalyseerd en berekend en waar deze simulatie op gebaseerd is, heet CLASS (Chemistry Land-surface Atmosphere Soil Slab). Dit model wordt bij allerlei wetenschappelijke onderzoeken gebruikt die met de grenslaag te maken hebben. Een voorbeeld van een dergelijk onderzoek is het bepalen van verdamping van gewassen onder verschillende klimatologische condities. Voor water- en irrigatiebeheer is het belangrijk om te weten hoeveel een gewas precies verdampt. Verdamping reageert op lokale atmosferische condities, dus het is belangrijk om processen in de grenslaag, zoals wolkenvorming, invanging, dynamiek van vochtigheid en temperatuur, mee te nemen in de berekening. CLASS kan de processen in de grenslaag koppelen aan de processen bij het oppervlak (oppervlaktefluxen). Daarmee is het dus mogelijk om de verdamping te bepalen onder bepaalde klimatologische omstandigheden voor een bepaald gewas, terwijl rekening wordt gehouden met processen in de grenslaaggroei.

Er wordt ook onderzoek gedaan naar de grenslaaggroei onder bepaalde omstandigheden in combinatie met invanging. De lucht boven de grenslaag in de vrije troposfeer heeft invloed op de processen in de grenslaag (zie vraag 4 van Challenge 3). CLASS kan ook de effecten van die lucht in de vrije troposfeer simuleren, zodat het effect hiervan op de grenslaag onderzocht kan worden.