

BÈTASTEUNPUNT WAGENINGEN

BÈTASIMULATIE WOLKENFYSICA



Met je hoofd in de wolken

Docentenhandleiding



WAGENINGEN UNIVERSITY
WAGENINGEN **UR**



Bètasteunpunt
Wageningen

Colofon

Documenttitel:

Docentenhandleiding – 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.

Inhoudsopgave

Inleiding	4
Inhoud en inpasbaarheid.....	4
Instructie bètasimulatie	4
Overzicht en leerdoelen	5
Antwoorden vragen simulatie.....	7
Antwoorden vragen lesbrief	9

Inleiding

Voor u ligt de docentenhandleiding bij de Wolkenfysica Simulatie van Bètasimulaties.nl. Bètasimulaties.nl is een platform met simulaties voor gebruik binnen het voortgezet onderwijs gemaakt op initiatief van Bètasteunpunt Wageningen en game-ontwikkelaar QLVR, ontwikkeld met steun van Wageningen University en het Platform Bèta Techniek.

De simulaties bieden een nieuwe manier om onderzoekend leren in de klas in te brengen. Leerlingen leren door spelenderwijs te modelleren een onderwerp kennen waar Wageningen Universiteit onderzoek naar doet. In de simulaties leren leerlingen werken met modellen en passen hun voorkennis in een Wageningse praktijkcontext toe.

Inhoud en inpasbaarheid

De Wolkenfysica Simulatie is ontwikkeld voor 4-5 vwo. Het materiaal is geschikt voor de vakken NLT of natuurkunde en sluit aan bij het onderwerp geofysica. De simulatie is geschikt om bestaande voorkennis toe te passen en te verbreden.

In de Wolkenfysica Simulatie kruipt de leerling in de huid van een meteorologisch onderzoeker, zoals op de universiteit of het KNMI. In deze simulatie gebruikt hij/zij natuurkundekennis om de basisprincipes van het weer te leren. De leerling 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 in de grenslaag.

Instructie bètasimulatie

De simulatie kan als geheel achter elkaar worden doorgewerkt, de tijdsbesteding is twee à drie lesuren. Deze simulatie bestaat uit vijf challenges waarvan de resultaten na elke challenge kunnen worden opgeslagen als PDF.

Hieronder volgen een aantal tips voor het toepassen van de simulatie in de lessen:

- Probeer de uitdagingen eerst zelf uit en lees de lesbrief goed door. De combinatie van de lesbrief en simulatie is nodig om het onderwerp goed te begrijpen.
- Start met een klassikale introductie van het onderwerp. Geef een presentatie van 6 à 7 PowerPointsides. Aan het infopakket met de docentenhandleiding is een voorbeeldpresentatie toegevoegd. Laat de leerlingen daarna zelfstandig de simulatie spelen op basis van de lesbrief.
- Laat leerlingen thuis een eerste challenge spelen (flipped classroom).
- Aarzel niet om eenzelfde simulatie meerdere keren te laten lopen, de resultaten kunnen met dezelfde variabelen flink verschillen.
- Sluit de les af met een paar vragen die de essentie van de gespeelde challenges dekken.

Overzicht en leerdoelen

De simulatie is opgebouwd uit vijf challenges. Hieronder volgt de opbouw plus leerdoelen per challenge:

Challenge 1a en 1b

Kennismaken met de grenslaag, straling en grenslaaggroei.

Experiment:

De samenhang tussen straling, omgezet naar warmte en thermiekbeweging en grenslaagdikte onderzoeken.

Leerdoel:

Breedtegraad en dag van het jaar bepalen nettostraling. Nettostraling en grenslaagdikte hebben een sterke correlatie.

Challenge 2a en 2b

Introductie energieflexen van het oppervlak (nettostraling, voelbare warmtestroom, verdampingsflux, bodemwarmteflux) en koppeling met temperatuur in de grenslaag

Experiment:

Onderzoeken hoe bodemvocht de verdeling tussen de voelbare warmteflux en de verdampingsflux beïnvloedt.

Leerdoel:

Straling wordt omgezet naar voelbare warmte en verdamping (en bodemwarmte). Bodemvocht beïnvloedt de verdeling tussen de voelbare warmteflux en de verdampingsflux. Productie van voelbare warmte zorgt voor een hogere temperatuur (de temperatuur aan het oppervlak wordt als referentiewaarde genomen).

Challenge 3a en 3b

Introductie vochtbalans in de grenslaag en koppeling met het luchtvochtgehalte.

Experiment:

Onderzoeken hoe verdamping van bodemvocht en vochtaanvoer door wind bijdragen aan het vochtgehalte in de grenslaag.

Leerdoel:

Het vochtgehalte kan stijgen door verdamping of aanvoer door wind. Het vochtgehalte daalt door afvoer met wind.

Challenge 4

Relatieve vochtigheid (afhankelijk van de temperatuur en luchtvochtigheid). Introductie wolkenbasis en wolkenvorming en in de grenslaag.

Experiment:

Ontdek hoe binnen de grenslaag wolken ontstaan en hoe het verzadigingspunt daarbij voor de wolkenbasis van belang is.

Leerdoel:

Het verzadigingspunt is afhankelijk van het vochtgehalte en temperatuur. Binnen de grenslaag wordt het verzadigingspunt dus bij voldoende lage temperatuur en/of voldoende hoog vochtgehalte bereikt. Op de hoogte waar hier aan voldaan wordt heet de wolkenbasis.

Challenge 5

Invloed van vegetatietypen op de verdampingsflux.

Experiment:

Praktijkcase met het onderzoeken van de invloed van vegetatietype en bodemvocht op wolkenvorming.

Leerdoel:

De leerling kan de relatie tussen vegetatietype en verdamping uitleggen.

Antwoorden vragen simulatie

Challenge 1a

1) Naarmate je meer naar de evenaar gaat, lagere breedtegraden dus, zal de grenslaagdikte toenemen. Dat komt omdat er meer straling per vierkante meter invalt hoe dichter je naar de evenaar gaat.

Challenge 1b

- 1) Hoe meer nettostraling, hoe groter de grenslaaggroei en grenslaagdikte. Hoe hoger maximale nettostraling op het midden van de dag, hoe sneller de grenslaaggroei. Hoe hoger de totale hoeveelheid straling op een dag, hoe hoger de grenslaagdikte aan het eind van de dag.
- 2) Op het eind van de dag is de nettostraling behoorlijk afgenomen. Doordat er niet zoveel energie meer beschikbaar is voor thermiek, neemt op dat moment de grenslaagdikte weinig meer toe.
- 3) De andere energiebron die menging mogelijk maakt is wind. Overdag werken de wind en de straling van de zon samen om de grenslaag te mengen, maar 's nachts is er geen straling meer en is er alleen nog de energie van de wind, waardoor de grenslaag wel afneemt, maar niet helemaal gelijk wordt aan nul.
- 4) De grenslaagdikte is toch aanzienlijk, omdat de dagen in de zomer in Reykjavik behoorlijk lang zijn.

Challenge 2a

1) Naarmate er meer bodemvocht beschikbaar is, zal er meer energie naar verdamping gaan en minder naar productie van voelbare warmte in de grenslaag.

Challenge 2b

- 1) Dat klopt, waarschijnlijk.
- 2) Hogere beschikbaarheid van bodemvocht zal tot minder geproduceerde voelbare warmte leiden. Minder voelbare warmte betekent een lagere temperatuur en ook minder thermiek, dus een lagere grenslaagdikte.
- 3) Nummer 1: menging door thermiek, waardoor warmte door de gehele grenslaag heen gemengd wordt en aan het oppervlak lager wordt.
Nummer 2: bodemvocht, die ervoor zorgt dat een deel van de invallende straling naar verdamping wordt omgezet, en niet alles naar voelbare warmte.

Challenge 3a

1) 1) Zorgen voor de afname van de voelbare warmteflux, waardoor de temperatuur en de grenslaagdikte afneemt. 2) Zorgen voor een toename van het vochtgehalte van de grenslaag.

Challenge 3b

- 1) De invloed van vochtanvoer door wind is groter dan die van bodemvocht op het vochtgehalte in de grenslaag. Als je een getal groter dan 0.2 of kleiner dan -0.2 kiest, zal de invloed van vochtanvoer door wind nog groter worden ten opzichte van bodemvocht.
- 2) Bodemvocht heeft een grotere invloed op de temperatuur en grenslaaggroei dan vochttransport, omdat bodemvocht voor verdamping zorgt en de energie die voor verdamping is gebruikt, gaat ten

koste van de energie voor opwarming. Hierdoor daalt de temperatuur en zal de grenslaag minder dik worden. Uit de grafiek blijkt dat vochttransport nauwelijks invloed heeft.

3) Vochtafvoer door wind en door verdunning. Door de grotere grenslaaggroei wordt het vocht dan over een groter volume gemengd, waardoor de concentratie afneemt. Vochtafvoer door wind heeft de grootste invloed, want het vochtgehalte van run 5 neemt maar een klein beetje af, terwijl de run in de woestijn met woestijnwind behoorlijk flink afneemt. De twee runs hebben een vergelijkbare grenslaaggroei dus het effect van afvoer door wind is groter.

4) De verdampingsflux neemt af, want verdampen kost meer energie als de lucht al vochtig is. Hierdoor gaat er mee energie naar de voelbare warmteflux toe, neemt de temperatuur toe en zal de grenslaagdikte dus groter worden.

Challenge 4

1) Aan de top van de grenslaag is de relatieve luchtvochtigheid groter voor de run met een lagere starttemperatuur vergeleken met de run met de hogere starttemperatuur. Dit komt doordat koude lucht minder water kan bevatten en er dus eerder condensatie optreedt dan bij warmere lucht. Als de lucht dus al koud is aan het oppervlak, hoeft die minder ver te stijgen om te condenseren dan bij warme lucht.

2) De run met de lagere startvochtigheid heeft een lagere luchtvochtigheid aan de top van de grenslaag dan de run met de hogere startvochtigheid. Als de lucht aan het begin van de dag minder vocht bevat, moet die dus meer stijgen om een relatieve vochtigheid te bereiken van 100 procent en zullen er minder snel wolken ontstaan.

3) Dan bevindt de wolkenbasis zich dus boven de grenslaag en zullen er geen wolken aanwezig zijn binnen de grenslaag.

4) Mist ontstaat vaak 's ochtends als het aardoppervlak door uitstraling 's nachts flink is afgekoeld. De lage temperatuur zorgt ervoor dat de relatieve vochtigheid groter dan 100 procent is. Als zon invalt, en de temperatuur stijgt, is de mist meestal zo weer opgeklaard.

Challenge 5

1) Gras verdampt meer dan loofbos, omdat gras heel dicht op elkaar staat en zo dus een groot oppervlak van huidmondjes heeft.

2) In het westen zijn er veel polders met een grasbedekking en hoog bodemvochtgehalte. Hier vindt veel meer verdamping plaats in vergelijking met de bosrijke bedekking in het oosten van Nederland. In het westen is de relatieve luchtvochtigheid dus sneller hoger als gevolg van hogere verdamping, en zullen er dus eerder wolken ontstaan.

3) De aanvoer van vochtige zeewind. Dit zorgt voor extra vocht in de atmosfeer vergeleken met het oosten en dus een hogere relatieve luchtvochtigheid en meer wolken.

4) De wortels van bomen zitten veel dieper dan die van gras, dus bij weinig bodemvocht zal gras minder kunnen verdampen, terwijl de bomen nog redelijk goed bij het water kunnen. Hierdoor zal het verschil tussen gras en bomen dus afnemen bij een lagere bodemvochtigheid.

Antwoorden vragen lesbrief

Challenge 1

- 1) Ongeveer een kwartier tot een half uur. Bijvoorbeeld halverwege de dag: $1500\text{m} / 2\text{m/s} = 750\text{s}$, dat is ruim een kwartier.
- 2) De thermiekbellen wrijven tegen elkaar. Deze wrijving zorgt ervoor dat de luchtpakketjes voortdurend vervormen en wervelende bewegingen maken, turbulentie. De energieomzetting is van beweging, stroming naar warmte. Turbulentie zorgt dus voor een temperatuuroptename van de grenslaag, wrijving leidt tot energieverlies in de vorm van warmte.
- 3) 's Nachts is de grenslaag rond de 200m dik, waardoor de uitstoot ingesloten blijft in een dunne laag. Daardoor zal de concentratie een stuk hoger zijn dan overdag, wanneer de uitstoot verdund wordt in een laag die vaak 1000m tot 1500m dik is. Er is dus een factor 5-10 verschil tussen overdag en 's nachts.

Challenge 2

- 1) Convection: voelbare warmte H (thermiek). Geleiding: bodemwarmte G.
Straling: netto straling Q. Verdamping: verdampingsflux LE.
De netto straling Q is het grootst, want deze wordt verdeeld in H, LE en G. De bodemwarmteflux G is klein omdat de bodem alleen maar warmte geleidt, waarbij de geleidingscoëfficiënt niet zo groot is. De geleidingscoëfficiënt van lucht is ook heel klein, maar de warmteverspreiding gaat wel heel goed door turbulentie (convection, thermiekbellen).
- 2) De verdeling blijft ongeveer gelijk bij hetzelfde bodemvochtgehalte.

Challenge 3

- 1) Zeewind bevat veel vocht wat via verdamping van zeewater in de atmosfeer is gekomen.
- 2) Als de luchtvochtigheid groot is, komt water niet alleen voor in de vorm van waterdamp, maar kan condensatie gemakkelijk optreden en zal er ook water in vloeibare vorm aanwezig zijn.
- 3) Ja, als de lucht oververzadigd wordt, zal er condensatie optreden waardoor de luchtvochtigheid weer daalt.
- 4) Deze invangings van warmere lucht zorgt voor extra energie die beschikbaar komt voor menging en thermiek. Hierdoor zal de grenslaag alleen maar verder groeien. De grenslaag groeit dus zowel via de onderkant (thermiek door warmte van het aardoppervlak) als de bovenkant (invanging warme lucht uit de troposfeer).

Challenge 4

- 1) De twee belangrijkste bronnen van vocht zijn bodemvocht en vochtanvoer vanaf open water (zeeën en oceanen) door wind. De belangrijkste factor voor condensatie is een temperatuur die laag genoeg ligt.
- 2) Vroeg in de ochtend is de temperatuur nog laag, waardoor gemakkelijk condensatie optreedt. Later op de dag neemt de temperatuur en thermiek toe, waardoor de grenslaagdikte toeneemt en de mist oplost. Bovendien is vroeg in de ochtend de grenslaag nog heel dun, waardoor het vocht over een klein volume wordt verdeeld en het vochtgehalte dus vrij hoog is.

Challenge 5

1) De beschikbare energie van de zon wordt boven open water, veel meer dan boven land, gebruikt voor verdamping waardoor er dus minder energie beschikbaar is voor de voelbare warmte. Hierdoor is er veel minder thermiek waardoor de grenslaag minder snel groeit en de wolkenbasis dus over het algemeen boven de grenslaag blijft liggen.