

# Klimaatverandering en veranderend landgebruik laten bodemtemperatuur sterk toenemen

## Wordt de grond ons te warm onder de voeten?

Als we het hebben over het opwarmen van de aarde, dan gaat het vrijwel altijd over de stijging van de luchttemperatuur. Opvallend is dat de opwarming van de aarde zélf, oftewel van de bodem (de ondergrond), maar weinig is onderzocht. Maar hoe ontwikkelt de bodemtemperatuur zich? Wat leert die ontwikkeling ons over klimaatverandering? Hoe kunnen we daar met de inrichting van het landelijke gebied invloed op uitoefenen?

Door: Guido Bakema, Jaap Bloem, Marius Heinen, Martin Knotters en Nils van Rooijen

### Over de auteurs:

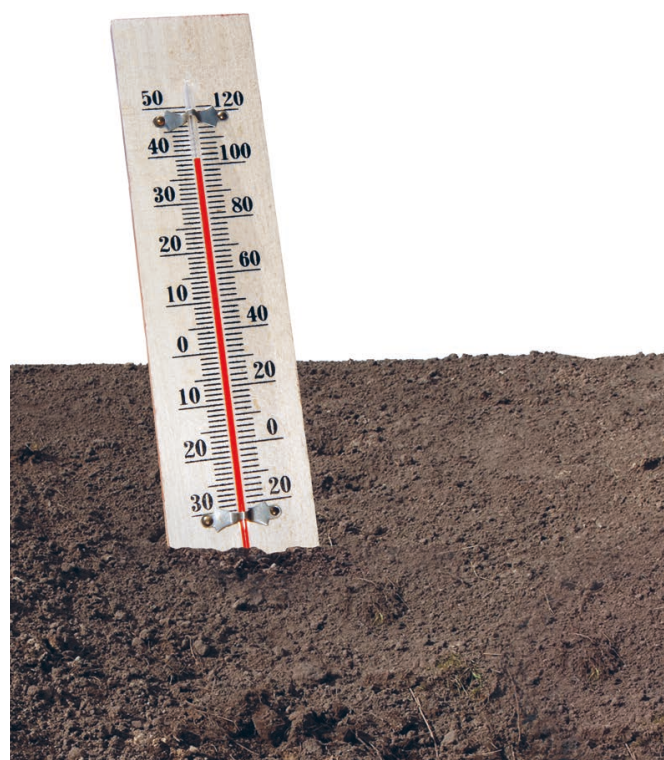
G. Bakema, J. Bloem, M. Heinen, M. Knotters en N. van Rooijen zijn allen werkzaam als onderzoeker bij Wageningen Environmental Research. Reageren: [guido.bakema@wur.nl](mailto:guido.bakema@wur.nl)

### Inleiding

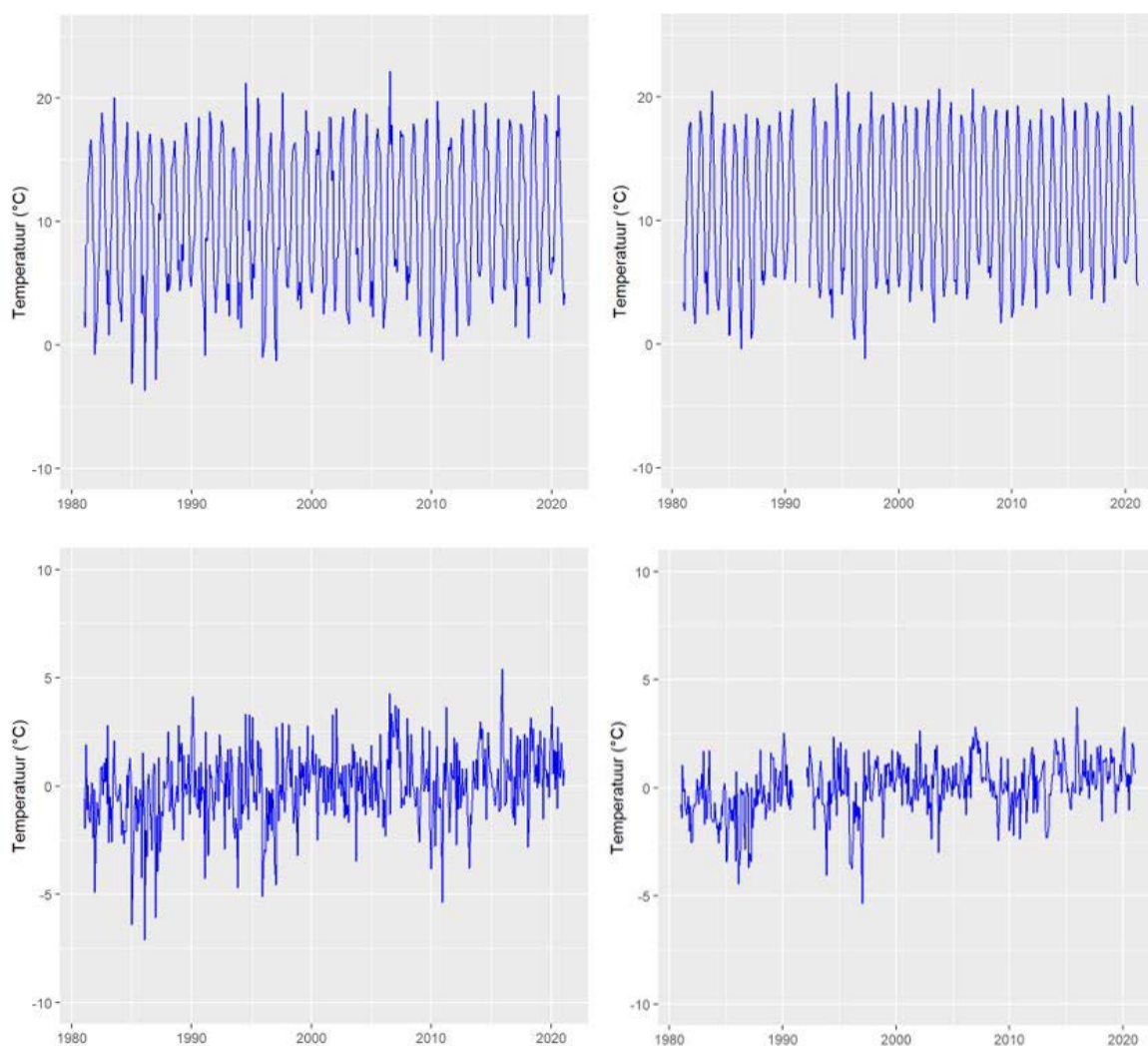
De klimaatscenario's geven aan dat de komende jaren de luchttemperatuur verder gaat stijgen. De extra warmte wordt opgeslagen in de ondergrond en het zeewater, en door de opwarming smelt het ijs van de gletsjers en op beide polen. Ongeveer 30% van de warmte wordt opgeslagen in de bodem<sup>1</sup>. De bodem is daarmee een belangrijke buffer tegen een versnelde opwarming van de lucht, maar die extra opslag zorgt wel voor opwarming van de bodem. Deze toename van de bodemtemperatuur is in Nederland te meten tot op grote diepte (>50 m -mv)<sup>2</sup>. Maar hoe verandert de ondiepe bodemtemperatuur (<2 m -mv) waarin de belangrijkste bodemprocessen plaatsvinden en wat is de invloed van de vegetatie hierop? En wat zijn de effecten van de verandering op bodemprocessen en het bodemleven? Een deel van die vragen is beantwoord door analyse van historische bodemtemperatuurdata, het modelleren van toekomstige bodemtemperaturen en een review van binnen- en buitenlandse literatuur<sup>3, 4</sup>. Voor de vegetatieontwikkeling lag de nadruk op natuurgebieden.

### Trendanalyse metingen bodemtemperatuur

De bodemtemperatuur zoals gemeten op vijf verschillende dieptes (tussen 0,05 en 1,0 m -mv) op vier KNMI-sites (Nieuw Beerta, Marknesse, De Bilt en Wilhelminadorp; alle ingericht als grasland), heeft een directe relatie met de gemeten luchttemperatuur op 1,5 m boven maaiveld. Voor drie van de vier sites is de bodemtemperatuur, net als de luchttemperatuur, de afgelopen veertig jaar met gemiddeld 0,030 tot 0,045 °C per jaar toegenomen (voor Wilhelminadorp blijft de temperatuur gelijk). Dit betekent een stijging tussen de 1,2 en 1,8 °C in veertig jaar.



Bodemtemperatuurmetingen zijn extra indicator voor klimaatverandering



Figuur 1: Maandgemiddelde luchttemperatuur op 1,50 m hoogte (links) en bodemtemperatuur op 10 cm diepte (rechts) op KNMI-meetstation De Bilt. Onder: na deseïzoenalisatie en correctie voor het gemiddelde.<sup>3</sup>

Figuur 1 laat als voorbeeld de ontwikkeling van de maandgemiddelde luchttemperatuur op 1,5 m hoogte en de bodemtemperatuur op 10 cm diepte zien voor De Bilt. De reeksen zijn “gedeseïzoenaliseerd” door van alle januaritemperaturen het gemiddelde van alle januaritemperaturen af te trekken, etc., waarna werd gecorrigeerd voor hun gemiddelde. Uit deze gedeseïzoenaliseerde en gecorrigeerde reeksen (onder in Figuur 1) wordt zichtbaar dat zowel de lucht- als de bodemtemperatuur sinds 1980 stijgen. Deze stijging verliep niet continu, maar gaat met een lichte golfbeweging over de jaren, waarbij ook periodes kunnen voorkomen waarin de temperatuur gemiddeld daalt, bijvoorbeeld tussen 2005 en 2010.

Metingen op een meetlocatie (open terrein, kaal grasland) van Wageningen University and Research (De Veenkampen) geven aan dat de bodemtemperatuur van kale grond ca. 30% sneller stijgt dan van grond die met gras begroeid is. Ook worden er bij kale gronden op grotere diepte grotere veranderingen waargenomen. Wellicht belangrijker dan de gemiddelde temperatuurverandering is het grote verschil in temperatuurdynamiek. Zo worden er bij kale grond in de zomer bodemtemperaturen van boven de 50 °C gemeten, terwijl die voor grasland niet boven de 25 °C uitkomen. Op basis van de relatief beperkte metingen aan één type bos (naaldbos, WUR meetlocatie Loobos) blijkt dat de bodemtemperatuur in dit type bos vergelijkbaar is met die gemeten is onder grasland. Uit internationaal onderzoek blijkt dat de bo-

demtemperatuur onder dichte en vochtige bossen mogelijk minder snel zal gaan stijgen<sup>5</sup>. Verder zal mogelijk door het aanpassen van het beheer (minder kap) de luchttemperatuur in bossen minder snel zijn gestegen, met als gevolg ook een minder sterke stijging van de bodemtemperatuur.

Bodemprocessen versnellen  
aanzienlijk door verhoging  
bodemtemperatuur

#### Invloed bodemtemperatuur op bodemprocessen

Indien de relatie luchttemperatuur-bodemtemperatuur gelijk blijft, is de verwachting dat de bodemtemperatuur tussen 0,05 en 1,0 m -mv evenals de luchttemperatuur de komende dertig jaar nog met 1,5°C zal gaan toenemen. Dit maakt dat de bodemtemperatuur in 2050 ten opzichte van 1980 ca. 3,0°C hoger zal liggen. De bodemtemperatuur is één van de factoren die meespeelt in bodemprocessen, zoals mineralisatie, veenoxidatie en denitrificatie. Een stijging van de bodemtemperatuur leidt veelal tot een versnelling van bodemprocessen. In de meeste gevallen



Figuur 2: Duingrasland Vlieland, vegetatie die te maken heeft met forse temperatuurschommelingen.<sup>3</sup>

wordt in simulatiemodellen een  $Q_{10}$ -, Arrhenius- of exponentiële relatie verondersteld, waarbij de processnelheid toeneemt met toenemende temperatuur. Vaak wordt een  $Q_{10}$  van 2 tot 3 gebruikt, wat betekent dat het proces twee- tot driemaal sneller verloopt bij een toename van  $10^{\circ}\text{C}$ . De genoemde processen zijn daarnaast ook afhankelijk van diverse andere factoren zoals vochtgehalte, pH, beschikbaarheid energiebron, die soms direct of indirect beïnvloed worden door de omstandigheden.

Opwarming gaat bijvoorbeeld vaak gepaard met langdurige droogteperiodes waardoor het bodemvochtgehalte afneemt. Het is dan ook niet altijd eenvoudig om alleen het temperatuur-effect op de genoemde processen te isoleren en te kwantificeren. De temperatuurafhankelijke relaties die voor de diverse processen gebruikt worden, lopen boven de  $20^{\circ}\text{C}$  sterk uiteen. Klimaatverandering betekent ook dat de bodemvochtthuishouding gaat veranderen. In perioden van droogte zal het bodemvocht afnemen, wat invloed heeft op allerlei bodemprocessen. Onder droge omstandigheden neemt de snelheid van de bodemprocessen af. Als gelijktijdig de bodemtemperatuur toeneemt, nemen deze bodemprocessen toe. Dit betekent dat beide factoren van belang zijn het voorspellen van veranderingen in bodemprocessen.

Hogere bodemtemperaturen kunnen de stofwisseling van organismen versnellen en daarmee de bodemademhaling en  $\text{CO}_2$ -emissies verhogen. Verder kunnen er interacties ontstaan tussen temperatuur en droogte en tussen de planten en het bodemleven. De temperatuur is zelden de enige factor die verandert. Deze effecten van opwarming op het bodemleven zullen door de vele interacties echter lastig te voorspellen zijn.

#### **Bodemtemperatuur en vegetatieontwikkeling**

De bodemtemperatuur is slechts één van de vele factoren in de ontwikkeling van natuurlijke begroeiingen. Daarbij is er een

### Vegetatietypes gaan verschuiven door hogere bodemtemperaturen

sterke interactie tussen de vegetatie en de bodemtemperatuur, waarbij het effect van vegetatie op de bodemtemperatuur groter is dan dat van de bodemtemperatuur op de vegetatie. Dat betekent dat de bodemtemperatuur erg afhankelijk is van het microklimaat ter plekke. Hoewel het macroklimaat (landelijk niveau) in het algemeen warmer wordt, kunnen er op de schaal waarin planten reageren andere trends plaatsvinden. Waterbeschikbaarheid is de doorslaggevende factor, ook voor de biodiversiteit. Wel is deze factor moeilijk los te zien van temperatuureffecten. De beschikbaarheid van vocht is bovenal limiterend voor de plantengroei. Verdamping wordt bevorderd door een hogere bodemtemperatuur, maar kan worden geremd door de bovengrondse vegetatie. In zijn algemeenheid wordt kiemings- en vestigingsbiologie beperkt beïnvloed door bodemtemperatuurstijging. Overleving en ontwikkeling worden sterker beïnvloed. Hierdoor is het mogelijk dat er een lokale verschuiving van vegetatietypes gaat plaatsvinden. Met name voor pioniervegetaties of begroeiingen met veel eenjarige plantensoorten zullen deze effecten het eerst te zien zijn. Door nu al gericht te kijken naar de wisselende omstandigheden met hoge temperaturen in lokaal sterk afwisselende begroeiingstypen (denk aan duingebieden (zie figuur 2) of zandverstuivingen) kan een beeld worden verkregen van wat de invloed is van een verhoging van de bodemtemperatuur in de toekomst.

### De invloed van de inrichting van het landelijk gebied op de bodemtemperatuur

De bodemtemperatuurmetingen in Nederland zijn uitgevoerd onder kort gemaaid gras, kale grond en naaldbos en geven daarvoor een beperkt beeld van de invloed van diverse vegetatietypes. Berekningen geven echter aan dat het type vegetatie sterk van invloed is op de seizoensmatige en dagelijkse bodemtemperatuurveranderingen. Zo zal voor gebieden met beperkte vegetatie zoals duinen, stuifzanden, heide en kort gemaaid hooiland de bodemtemperatuur sneller gaan stijgen. Door de beperkte bovengrondse biomassa zal de bodem sterker uitdrogen, waardoor de bodemtemperatuur veel sterker kan stijgen dan de gemiddelde luchttemperatuur. Op deze plekken treedt een vorm van een natuurlijk hitte-eiland op, zoals we dat kennen van de binnensteden. De successie in vegetatie is inherent verbonden aan de ontwikkeling in de bodemtemperatuur. Daarom zijn de gevolgen van een stijging van de bodemtemperatuur op natuurontwikkeling en de oorzaken van veranderingen in bodemtemperatuur moeilijk van elkaar te onderscheiden. Als er wordt uitgegaan van een stijging van de bodemtemperatuur zal dit in het algemeen de successie in vegetatie versnellen. Hierdoor zal de instraling verminderen en wordt de stijging van de bodemtemperatuur afgeremd.

### Conclusies en vooruitblik

De gemiddelde bodemtemperatuur zal de komende jaren enkele graden gaan stijgen als gevolg van klimaatveranderingen. De mate waarin is sterk afhankelijk van het type vegetatie. Zo is de verwachting dat in bossen de gemiddelde bodemtemperatuur minder sterk zal stijgen terwijl deze in gebieden met weinig vegetatie veel sterker kan toenemen. Voor de maximale bodemtemperaturen zijn de verschillen nog extremer; zo kan op grond met weinig begroeiing de temperatuur in de zomer oplopen tot boven de 50 °C.

De bodemtemperatuur heeft een sterke invloed op diverse biotische en abiotische processen. Hoe, en in welke mate deze processen gaan veranderen onder invloed van klimaatverandering is nog maar zeer beperkt onderzocht. Dit geldt zeker voor de invloed van bodemtemperatuurverandering op de ontwikkeling van natuurgebieden en de agrarische productie. Dit pleit voor meer bewustwording, het meenemen van bodemtemperatuur in de modelleringen van de diverse bodemprocessen, en het meten van de bodemtemperatuur op meerdere sites onder verschillende omstandigheden (bodem en vegetatie). De bodemtemperatuur kan worden gezien als een 'gefilterde' luchttemperatuur: uitgedempt en vertraagd maakt het langjarige trends in de luchttemperatuur beter zichtbaar en is daarmee een extra indicator voor klimaatverandering. Dit pleit ervoor om minimaal op alle bestaande KNMI-sites ook de bodemtemperatuur tot 1,5 m -mv te gaan meten. Omdat in Nederland allerlei verschillende bodemsoorten voorkomen zou het goed zijn om langjarige reeksen op diverse bodemsoorten te meten. In het bijzonder zouden veengronden heel interessant kunnen zijn. Vooral hier zijn bodemprocessen inherent verbonden aan de staat van de bodem.

### Literatuur

1. Nordell, 2008. It is all about thermal energy storage. [www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1012140/FULLTEXT01.pdf](http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1012140/FULLTEXT01.pdf)
2. Kooi, 2008. Spatial variability in subsurface warming over the last three decades; insight from repeated borehole temperature measurements in The Netherlands. VU, Amsterdam
3. Bakema, G., J. Bloem, M. Heinen, M. Knotters en N. van Rooijen. 2022. De invloed van klimaatverandering op de bodemtemperatuur. Inventarisatie van de ontwikkeling van de bodemtemperatuur en de invloed op de biotische en abiotische processen in natuurgebieden. Rapport 3154, Wageningen Environmental Research, Wageningen. <https://edepot.wur.nl/566436>
4. Bakema, G., M. Heinen, M. Knotters, N. van Rooijen. 2023. De opwarming van de bodem en de gevolgen voor de natuur. Rapport 3256, Wageningen Environmental Research. <https://edepot.wur.nl/585745>
5. Way, R. G., & Lapalme, C. M. (2021). Does tall vegetation warm or cool the ground surface? Constraining the ground thermal impacts of upright vegetation in northern environments. *Environmental Research Letters*, 16(5), 054077.

Bodemtemperatuur in 2050 3 °C hoger dan in 1980