

Temperatuur van ondiep water en de ontwikkeling van malaria

A.F.G. JACOBS, T.H. JETTEN, D. LUCASSEN EN J.P. NIEVEEN, (LANDBOUWUNIVERSITEIT)

De laatste jaren is de uitstoot van broeikasgassen toegenomen. Ondanks maatregelen die overheden uitvaardigden is de verwachting dat deze toename in de komende jaren nog verder groeit. De aanwezigheid van broeikasgassen in onze atmosfeer is een groot geluk, immers deze gassen zorgen ervoor dat de atmosfeer bij het aardoppervlak niet een gemiddelde effectieve temperatuur zou hebben van -18°C maar een gemiddelde temperatuur heeft van $+15^{\circ}\text{C}$. Een toename van deze broeikasgassen zal, zo verwacht men, een toename van deze temperatuur als gevolg hebben. Een werkgroep ingesteld door de Verenigde Naties en de Wereld Meteorologische Organisatie (WMO) voorspelde in 1996 een wereldwijde temperatuurstijging van ongeveer 0.3°C per decade indien de uitstoot van broeikasgassen niet wordt beperkt.

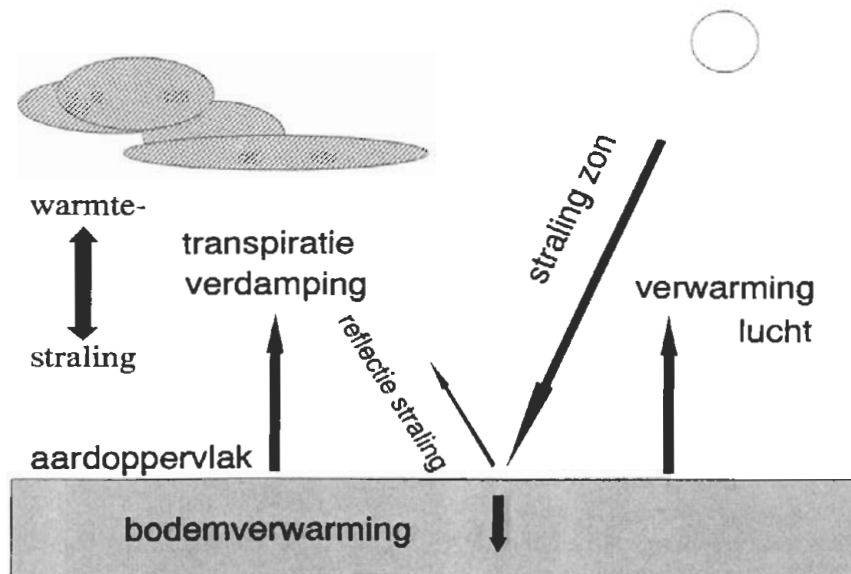
Deze temperatuurstijging heeft bijvoorbeeld effect op de zeespiegel en op de productie van diverse landbouwgewassen. Er zijn echter ook tal van effecten waarvan men zich minder bewust is. Een van deze effecten betreft de invloed op de ontwikkeling van insecten. Tengevolge van klimaatverandering kan de ene soort in dichtheid toenemen, terwijl een andere juist weer in dichtheid afneemt. Voor de mens zijn de directe gevolgen meestal beperkt. Dit verandert echter indien zich binnen zo'n ecosysteem voor mensen schadelijke insecten bevinden. Dit kunnen insecten zijn die schade aanrichten in de land- en tuinbouw, als ook insecten zijn die verantwoordelijk zijn voor de overdracht van menselijke en dierlijke ziekten, zoals muggen.

MALARIA, NIET ALLEEN EEN GEVREESDE ZIEKTE UIT HET VERLEDEN

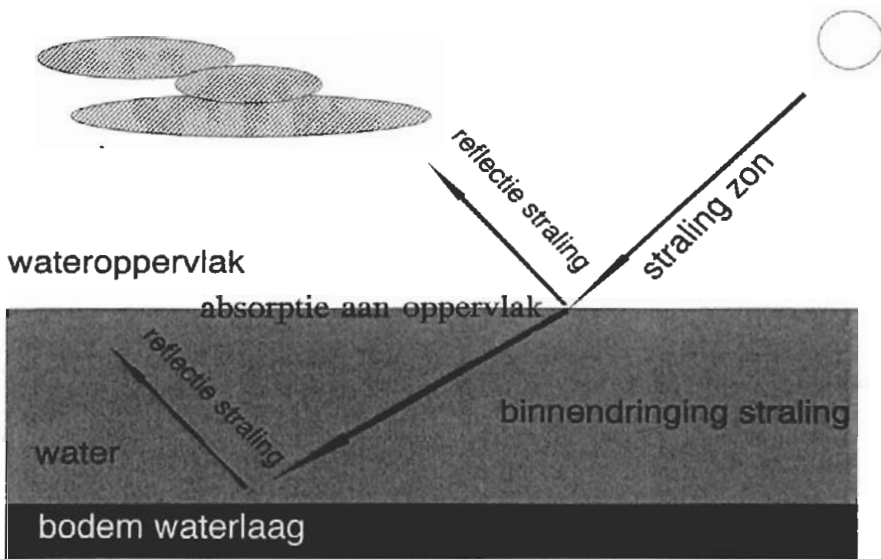
Muggen steken omdat ze bloed nodig hebben voor de ontwikkeling van hun eitjes. Dit steken kan wat jeuk veroorzaken die na enige tijd weer ophoudt. Echter sommige muggensoorten zijn verantwoordelijk voor de overdracht van ziekten. Malaria is daarvan de meest belangrijke. De malariamug draagt de malaria-parasiet van mens op mens over. Wereldwijd worden meer dan twee miljard mensen door malaria bedreigd. Jaarlijks wordt het aantal nieuwe gevallen op meer dan 100 miljoen en het aantal doden op meer dan 1 miljoen geschat. Van nature komt malaria binnen Europa niet meer voor. Het huidige verspreidingsgebied ligt

in tropische en subtropische streken. Het verspreidingsgebied van malariamuggen is echter veel groter. Ook binnen Europa komen deze muggen nog voor. Vroeger was malaria ook in Nederland een groot probleem. In 1857 werden in Amsterdam bijvoorbeeld 38873 malariegevallen geconstateerd. Na de tweede wereldoorlog is van nature voorkomende malaria binnen Nederland verdwenen. Oorzaken hiervoor zijn het wegvallen van geschikte broedplaatsen voor muggen, de bestrijding van zowel muggen als ook de parasiet, de veranderende sociaal-economische omstandigheden en de milieuverontreiniging. Bijna alle malariegevallen die de laatste jaren in Nederland voorkwamen zijn geïmporteerd. Dat wil

zeggen, iemand heeft malaria in een malariegebied opgelopen en is vervolgens hiermee naar Nederland gereisd. De eieren, larven en poppen van de koudbloedige malariamuggen ontwikkelen zich aan de oppervlakte van water. Het aantal dagen dat nodig is voor het voltooiën van deze stadia alsmede de sterfte is afhankelijk van de watertemperatuur. Naarmate de temperatuur toeneemt, neemt de ontwikkelingsnelheid toe, tot dat een maximum is bereikt waarboven deze weer afneemt. Sterfte en ontwikkelingsnelheden zijn bovendien soortgebonden. Het aantal volwassen muggen dat voorkomt is dus sterk gecorreleerd met de watertemperatuur. Er zijn ongeveer 40 belangrijke soorten malaria-



Figuur 1. Schematische weergave van de energiebalans aan het aardoppervlak.



Figuur 2. Het gedrag van de zonnestraling in het water.

muggen. Klimaatverandering kan de verspreiding van de diverse soorten sterk beïnvloeden. Daar de ene soort in de malaria-overdracht een veel belangrijker rol kan spelen dan de andere zal ten gevolge van klimaatverandering ook het verspreidingsgebied van malaria veranderen. Met name aan de grenzen van de huidige malariagebieden in de tropen en de subtropen kunnen kleine temperatuurstijgingen grote gevolgen hebben. Om deze reden is bij de Landbouwniversiteit een oriënterende modelstudie gedaan en is een eerste experiment uitgevoerd om een beter beeld te krijgen van het effect dat klimaatverandering heeft op de watertemperatuur van ondiepe stilstaande wateren (broedplaats van enkele belangrijke malariamuggen).

DE ENERGIEBALANS AAN HET AARDOPPERVLAK

De zon is door zijn enorme hoeveelheid straling de motor van het weer en klimaat op onze planeet. De zonnestraling dringt voor een groot deel door de transparante atmosfeer en wordt vervolgens merendeels geabsorbeerd aan het aardoppervlak en voor een klein deel gereflecteerd (zie figuur 1). Deze stralingsabsorptie vindt plaats in een zeer dunne laag van enkele millimeters, waardoor deze laag flink in temperatuur kan stijgen. Door deze temperatuurstijging komen andere processen op gang: de aarde gaat de lucht verwarmen en indien planten en water aanwezig zijn zal hierbij ook verdamping en transpiratie optreden. Ook de bodem krijgt haar deel en zal ook opwarmen. Naast de zonnestraling treedt ook zogenaamde warmtestraling op. De aarde ontvangt warmtestraling van de atmosfeer. De ontvangen hoeveelheid energie is voornamelijk van de luchttemperatuur, de

luchtvochtigheid en de bewolking afhankelijk. Een hoge luchttemperatuur met een hoog vochtgehalte en veel bewolking geeft veel warmtestraling terwijl een lage temperatuur bij een laag vochtgehalte en weinig bewolking weinig warmtestraling geeft. Ook straalt de aarde zelf veel warmte uit welke sterk afhankelijk is van de oppervlaktetemperatuur van de aarde. Warmtestraling treedt altijd op zowel overdag als 's nachts. Echter 's nachts is warmtestraling de enige stralingsvorm.

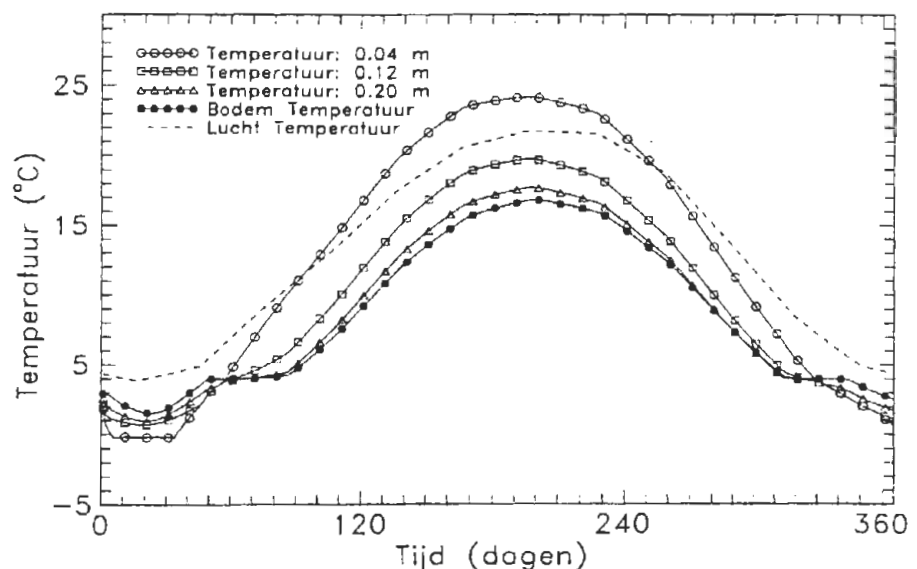
DE ENERGIEBALANS AAN EEN WATEROPPERVLAK

Bestaat het aardoppervlak echter uit water dan verlopen de genoemde processen enigszins anders omdat water transparant is voor straling maar tevens kan water door wind in beweging komen waardoor in water menging van de geabsorbeerde energie optreedt. In figuur 2 is schema-

tisch de toestand weergegeven voor het gedrag van straling aan een wateroppervlak. In tegenstelling tot het landoppervlak wordt bij water een gedeelte van de straling doorgelaten, een gedeelte geabsorbeerd en wordt een klein deel gereflecteerd aan het wateroppervlak. De absorptie van straling in water is sterk golflengte afhankelijk. Boven de 700 nm neemt de absorptie van licht door water sterk toe. Ongeveer 40-50% van de inkomende zonnestraling wordt direct aan het wateroppervlak geabsorbeerd. In het water wordt de stralingsenergie vervolgens geabsorbeerd waarbij de mate van absorptie afhankelijk is van de samenstelling van het water. Zitten er bijvoorbeeld veel zwevende deeltjes in het water dan is de absorptie groot, zitten er weinig deeltjes in dan is de absorptie kleiner. In het algemeen mag gesteld worden dat de meeste straling wordt geabsorbeerd in een laag van enkele centimeters dik aan het wateroppervlak en dat de stralingsintensiteit snel uitdooft met de diepte. Is het waterlaagje ondiep en is het water schoon dan kan reflectie optreden aan de bodem zoals ook in figuur 2 is aangegeven. De geabsorbeerde stralingsenergie in het water wordt vervolgens verspreid over de gehele waterlaag. Deze verspreiding echter is sterk afhankelijk van de diepte van de waterlaag en van de windsnelheid aan het wateroppervlak. Veel wind geeft een goede menging terwijl bij weinig wind sterke temperatuurstratificatie optreedt.

HET REKENMODEL

De bovengenoemde processen zijn in een model gekwantificeerd. In figuur 3 is een



Figuur 3. De jaarlijkse gang van het temperatuurverloop in een kleine waterplas. Tevens is het gemiddelde verloop van de luchttemperatuur en de bodemtemperatuur weergegeven.

voorbeeld gegeven voor een waterplasje met een gemiddelde diepte van 40 cm en voor de gemiddelde klimatologische situatie zoals die geldt voor De Bilt. Omdat de watertemperatuur ook kan veranderen door de dagelijkse gang van de zon is in figuur 3 de toestand weergegeven zoals deze zou zijn om 12 uur 's middags. Om een idee te geven van het temperatuurprofiel is voor 5 diepten de temperatuur afgebeeld.

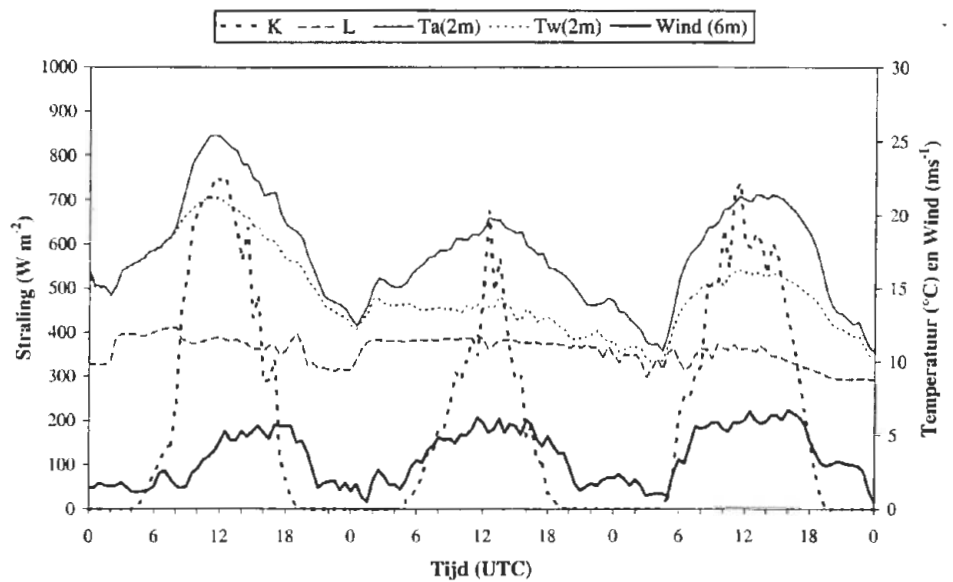
Uit dit resultaat zien we al direct dat zoals verwacht de grootste jaarlijkse gang van de temperatuur in het water bovenin optreedt. 's Zomers treedt de hoogste temperatuur op in een zeer dunne laag juist onder het wateroppervlak. Fysisch gezien betekent dit dat er 's zomers overdag een stabiele gelaagdheid optreedt. Alleen bij sterke wind zal deze gelaagdheid worden verstoord. Boven in het water in de zomer treedt de hoogste temperatuur op. Bij klimaatverandering betekent dit dat op de gematigde breedte de ontwikkeling van muggenlarven in het water wordt bevorderd. Dit in tegenstelling met de tropen waar de optimale ontwikkelingstemperatuur voor larven overschreden kan worden waardoor de overlevingskans van de larven juist wordt vermindert.

Ook interessant is op te merken dat in het vroege voorjaar en late najaar de temperatuur van het water grotendeels rond 4°C blijft hangen. Dit is juist de temperatuur waarbij het water zijn hoogste dichtheid heeft. In de winterperiode is het water kouder dan 4°C en treedt de laagste temperatuur boven in het water op. Omdat water kouder dan 4°C weer lichter wordt betekent dit dat ook in de winterperiode de gehele waterlaag thermisch gezien stabiel gelaagd is opgebouwd. Ook nu weer kan deze gelaagdheid alleen worden afgebroken indien door sterke wind het water goed gemengd wordt.

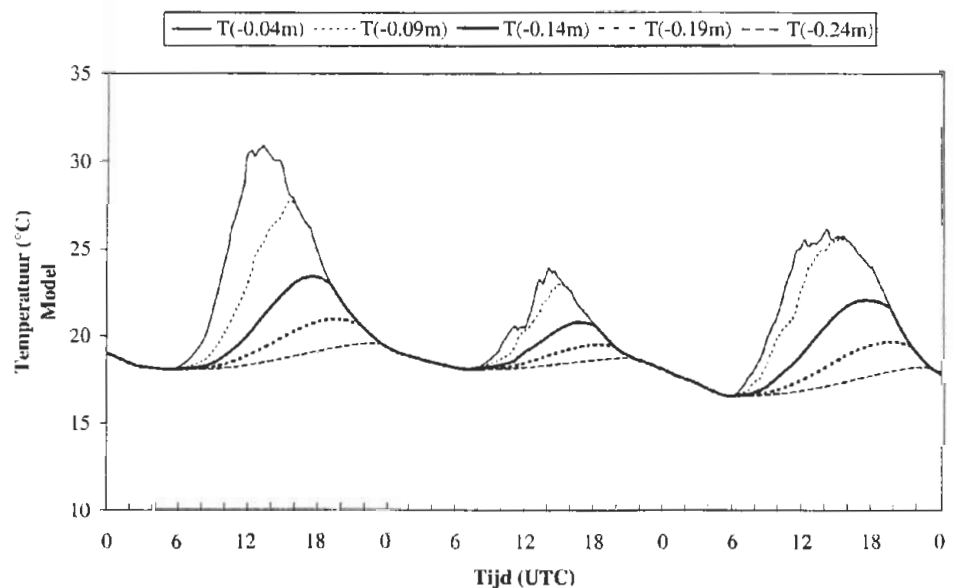
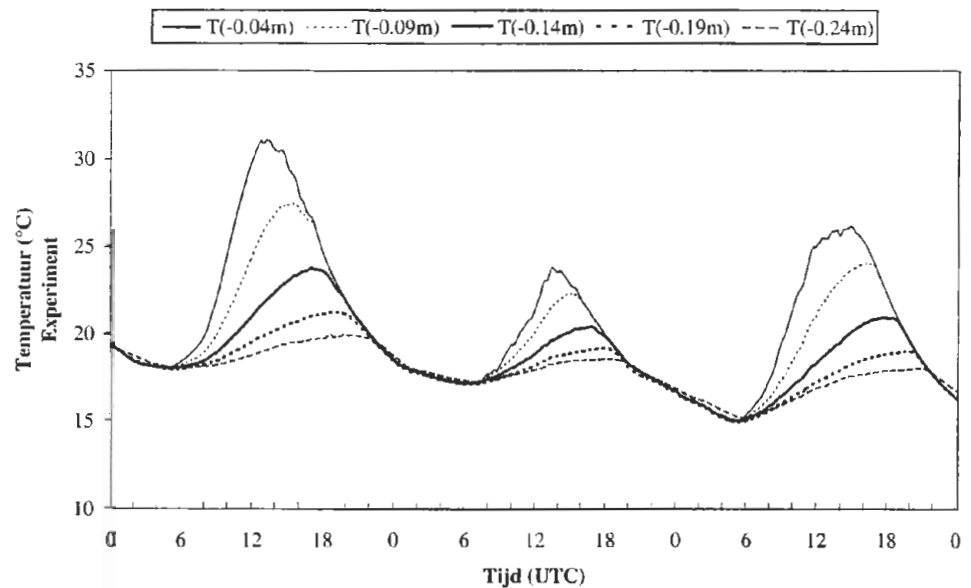
Modellen kunnen gebruikt worden voor het vinden van gevoeligheden of tendensen indien bepaalde veranderingen worden verwacht. Het is de bedoeling dit model daarvoor te gebruiken. Echter alvorens dit te doen is het een vereiste om een model te verifiëren met de werkelijkheid. Daarom heeft tevens een praktijktoetsing plaatsgevonden aan directe meetgegevens.

HET EXPERIMENT

In de zomer van 1995 is een experiment uitgevoerd in een waterplasje van het Fochteloöerveen, gelegen juist op de grens van Drenthe en Friesland. Dit plasje had een diepte van ca 0.40 m en een diameter van ca 5 m. De energiebalans van dit



Figuur 4. De belangrijkste weergegevens gedurende de geselecteerde periode (6-9 juli 1995), waarbij Ta(2m) en Tw(2m) respectievelijk de lucht en natte bol temperatuur zijn op 2m hoogte, K de inkomende kortgolvlige straling en L de inkomende langgolvlige straling.



Figuur 5. Het verloop van de watertemperatuur op verschillende diepten in een klein waterplasje gemeten (boven) als gesimuleerd (onder).

plasje is gemeten alsmede de watertemperatuur op verschillende diepten. Tevens zijn belangrijke modelparameters bepaald zoals de extinctiecoëfficiënt voor kortgolvlige straling in het water welke wekelijks gemeten werd met Secchi-schijven, de warmtecapaciteit en warmtegeleiding van de bodem welke eenmalig werden bepaald met warmtenaalden. In figuur 4 zijn voor een periode van 3 achtereenvolgende dagen (6 - 9 juli 1995) de belangrijkste weergegevens gedurende deze periode weergegeven. Deze periode karakteriseerde zich als een mooiweerperiode met weinig wind. Hetgeen betekent dat we gedurende deze periode ook extreem grote temperatuurverschillen mogen verwachten in het waterlichaam.

In figuur 5 zijn de resultaten weergegeven van zowel de metingen als de model-simulaties van de watertemperatuur op verschillende diepten. Dit resultaat laat zien dat het model de werkelijkheid goed weergeeft. Bovendien is uit dit resultaat zeer goed te zien dat gedurende de dag een zeer sterke stabiele stratificatie optreedt in het water. 's Nachts daarentegen zien we menging optreden welke begint aan het wateroppervlak. Namelijk, door de nachtelijke afkoeling aan het wateroppervlak wordt de toplaag van het water onstabiel. De goed gemengde laag groeit gestaag gedurende de nacht bij verdere afkoeling. Na zonsopkomst zien we dat het gehele proces van opwarming en thermische gelaagdheid zich herhaalt.

NAWOORD

Uit het voorgaande is gebleken dat het watermodel de werkelijkheid goed simuleert. Het huidige model blijkt goed bruikbaar te zijn voor het doorrekenen van verschillende klimaatveranderings-scenario's om zo risico-analyses te kunnen schatten. Momenteel wordt het model ingezet als deel van een ecologisch model dat de dynamica van de muggenpopulatie weergeeft en waarbij in het bijzonder naar exemplaren wordt gekeken die malaria veroorzaken. Het huidige model blijkt hierbij een nuttig instrument te zijn en in een vervolgverhaal zullen een aantal resultaten hiervan worden besproken.