

# Modellering VAN EEN maïskever

Het simulatieprogramma CLIMEX toegepast op *Diabrotica virgifera virgifera*

**D. de Boer, B. Aukema & H. Stigter**

Publicatie Plantenziektenkundige Dienst, Sectie Entomologie

## Samenvatting

Kennisontwikkeling staat bij de Plantenziektenkundige Dienst (Wageningen) in dienst van de bestrijding en beheersing van plaagorganismen. Een studie naar de potentiële verpreiding van *Diabrotica virgifera virgifera* in Europa kan gezien worden als onderdeel van een Pest Risk Analysis voor die soort. De van oorsprong Noord-Amerikaanse maïskever heeft sinds het begin van de 90-er jaren vaste voet gekregen in Europa. De dichtstbijzijnde populatie van *Diabrotica virgifera virgifera* is vastgesteld in noord-Frankrijk. De soort vormt een ernstige bedreiging voor de maïssteelt in gebieden die klimatologisch geschikt zijn voor vestiging. Of Nederland en omliggende landen tot de bedreigde gebieden zijn te rekenen, is de vraag bij deze modelstudie. Het simulatieprogramma CLIMEX is ontworpen voor het voorspellen van de potentiële verspreiding en de relatieve talrijkheid van soorten (plant, dier of pathogeen) in relatie tot het klimaat. Het programma produceert stippenkaarten die de relatieve geschiktheid van het klimaat op bepaalde locaties aangeven. Eén van de CLIMEX-kaarten wijst erop, dat *Diabrotica virgifera virgifera* in ons land in potentie kan overleven, maar de grenzen van z'n mogelijkheden zal bereiken. Klimaatomstandigheden in relatie tot de lengte van het voortplantingsseizoen maken het voltooiën van de levenscyclus problematisch. Onzekerheid over de vestigingskansen van de kever in Nederland blijft voorlopig bestaan. De CLIMEX-resultaten variëren met de ingevoerde waarden van een soortspecifieke parameter, welke op dit moment niet eenduidig is vast te stellen. Verder onderzoek naar deze parameter kan een betere voorspelling opleveren.

## Inleiding

In een wereld vol onzekerheden bestaat behoefte om processen, die in wetenschap en samenleving belangstelling genieten, met behulp van een computer te voorspellen. Simulatie (nabootsing) van te verwachten veranderingen in de werkelijkheid, bijvoorbeeld van economische groei of van weersverandering, heeft een hoge vlucht genomen. Het in dit artikel te bespreken programma simuleert de verspreiding van een insect dat zich tot een plaag kan ontwikkelen. Het economisch belang van het kunnen voorspellen van insectenplagen in gewassen is evident.

De Plantenziektenkundige Dienst stelt risico-analyses op voor internationaal erkende plaagsoorten en voor soorten die in de toekomst mogelijk problemen kunnen opleveren. Uit een PRA (Pest Risk Analysis) kan de omvang van de te verwachten schade en een strategie worden afgeleid om een plaag te voorkomen of in te dammen.

Het opstellen van een PRA voor een willekeurig plaaginsect is geen eenvoudige opgave, omdat in de werkelijkheid vele factoren een rol spelen. Dit kunnen zijn het verspreidings- en reproductievermogen van het insect, de beschikbaarheid en gezondheidstoestand van de waardplant(en) en het klimaat waarin het insect zal opereren. Eenzelfde veelheid van factoren doet zich voor bij andere organismen die plagen kunnen vormen, zoals aaltjes in de bodem of sommige knaagdieren (bijvoorbeeld konijnen in Australië). Weging van risicofactoren in een PRA lukt des te beter naarmate de relaties tussen een plaagsoort en z'n omgeving beter bekend zijn. Belangrijk voor veel insecten zijn de klimatologische omstandigheden waaronder zij zich moeten handhaven. Met toenemend internationaal transport van mensen en land- en tuinbouwproducten nemen ook de afstanden toe waarover insecten zich kunnen verplaatsen. De risico's van onbedoelde vestiging van insecten in voor hen nieuwe klimaatgebieden worden navenant groter. Een extra complicerende factor is de opwarming van de atmosfeer, waardoor arealen van insecten zich kunnen uitbreiden.



Figuur 1. De maïskever *Diabrotica virgifera virgifera* ware grootte: ca. 7 mm.

## CLIMEX

Het simulatieprogramma CLIMEX 1.1 (Suthurst, Maywald, Yonow & Stevens, 1999) biedt de mogelijkheid om greep te krijgen op de factor klimaat, welke op zichzelf complex van aard is (licht, temperatuur, vochtigheid). CLIMEX is ontworpen voor het voorspellen van de potentiële verspreiding en de relatieve talrijkheid van soorten in relatie tot het klimaat. Het programma heeft volgens de maker/distributeur (CSIRO<sup>1</sup>) een breder toepassingskader dan het modelleren van plaagsoorten ten behoeve van quarantainemaatregelen of biologische bestrijding. Andere toepassingen zouden liggen in de biogeografie en in het volgen van (anticiperen op) klimaatsveranderingen. Iedere soort, pathogeen, plant, dier of mens, kan als model worden gekozen, vooropgesteld dat voldoende klimaatgerelateerde gegevens over die soort bekend zijn. De geografische verspreiding van veel koudbloedige dieren, zoals insecten, wordt in belangrijke mate bepaald door het klimaat. CLIMEX werkt onder de aanname dat de verspreiding van een soort uitsluitend door het klimaat wordt bepaald. Het programma houdt dus geen rekening met andere abiotische of biotische factoren, zoals bodemtype, predatoren of voedselconcurrenten. Een andere aanname is dat de meeste soorten een gunstig en een ongunstig seizoen voor populatiegroei kennen. In het ongunstige seizoen wordt stress opgebouwd, die tot krimpen van de populatie kan leiden.

Populatie is in CLIMEX een fictieve biologische eenheid: een representatieve verzameling individuen van dezelfde soort, ondersoort of variëteit. Het programma bevat geen module die kan rekenen met populatiedynamische parameters, zoals geboorte, sterfte, immigratie, emigratie, of rekening kan houden met dichtheidsafhankelijke effecten. CLIMEX werkt met een set van indices voor de 'populatie'. De jaarlijkse groei-index beschrijft de potentiële groei gedurende het gunstige seizoen. Vier stress-indices (koude, warmte, vochtigheid en droogte) beschrijven de kansen om te overleven gedurende het ongunstige seizoen. De groei- en stress-indices worden vervolgens gecombineerd in een ecoklimatologische index (EI), die een gemiddelde maat is voor de geschiktheid van een locatie voor permanente vestiging van de betrokken soort. Twee beperkende factoren, lengte van het groeiseizoen en gedwongen winterrust, kunnen de waarde van de EI verlagen. De resultaten worden gepresenteerd in de vorm van tabellen, diagrammen of kaarten.

CLIMEX bevat een klimatologisch gegevensbestand van bijna 2500 locaties (weerstations). Deze locaties liggen over de gehele wereld verspreid. In het bestand zijn voor iedere maand opgenomen: gemiddelde maximale en minimale dagtemperatuur, gemiddelde maandelijkse neerslag en gemiddelde dagelijkse relatieve vochtigheid om 9 uur en 15 uur. Het gaat om zogenoemde Normalen, d.w.z. langjarige gemiddelden (30 jaar). De klimatologische voorkeuren/beperkingen van een soort, zoals vastgelegd in een parameterfile, worden gekoppeld aan de klimatologische gegevens van een land, continent of wereldwijd. Het programma berekent

welke locaties een gunstig klimaat hebben voor populatiegroei en brengt de stressfactoren in rekening die de verspreiding van de soort inperken. In een CLIMEX-run voor een soort verschijnen stippen voor de EI in luttele seconden op de kaart. Bij de bespreking van *Diabrotica virgifera virgifera* in CLIMEX wordt verder ingegaan op de in te voeren soortspecifieke parameters.

### De maïskever (fig. 1)

*Diabrotica virgifera virgifera*<sup>2</sup> is van oorsprong een Noord-Amerikaanse soort. Z'n verspreiding in de USA valt grotendeels samen met de staten van de Corn Belt: Kansas, Nebraska, South Dakota, Missouri, Iowa en Illinois en de staten rond Lake Michigan (Krysan et al., 1980). De keverlarven kunnen aanzienlijke schade toebrengen aan de maïsplanten. Ze vreten aan de wortels van de jonge planten, waardoor de planten verzwakken en tenslotte kunnen omvallen. De volwassen kevers doen zich te goed aan de bloemen en de jonge maïskolven, waardoor een deel van de korrelopbrengst verloren gaat. Het oogstverlies kan in extreme gevallen 80 % bedragen. *Diabrotica virgifera* heeft één generatie per jaar. De eieren worden in de nazomer en herfst in de bodem afgezet en gaan in winterrust tot het volgende voorjaar. De levenscyclus (ei, larve, pop, imago, ei) is afgestemd op de periodiciteit van het gewas. De larven verschijnen 2 tot 4 weken na het zaaien van de maïs.

De noordelijke staten van de Corn Belt hebben een sub-continentaal klimaat, met koude winters (gemiddelde temperatuur koudste maand: -3 tot -13 °C) en matig warme zomers. De staten in het midden en zuiden van de Corn Belt hebben klimaten die warm en droog of warm en permanent vochtig in de zomer zijn. De winters zijn matig koud of mild (gemiddelde temperatuur koudste maand: 2 tot -6 °C).

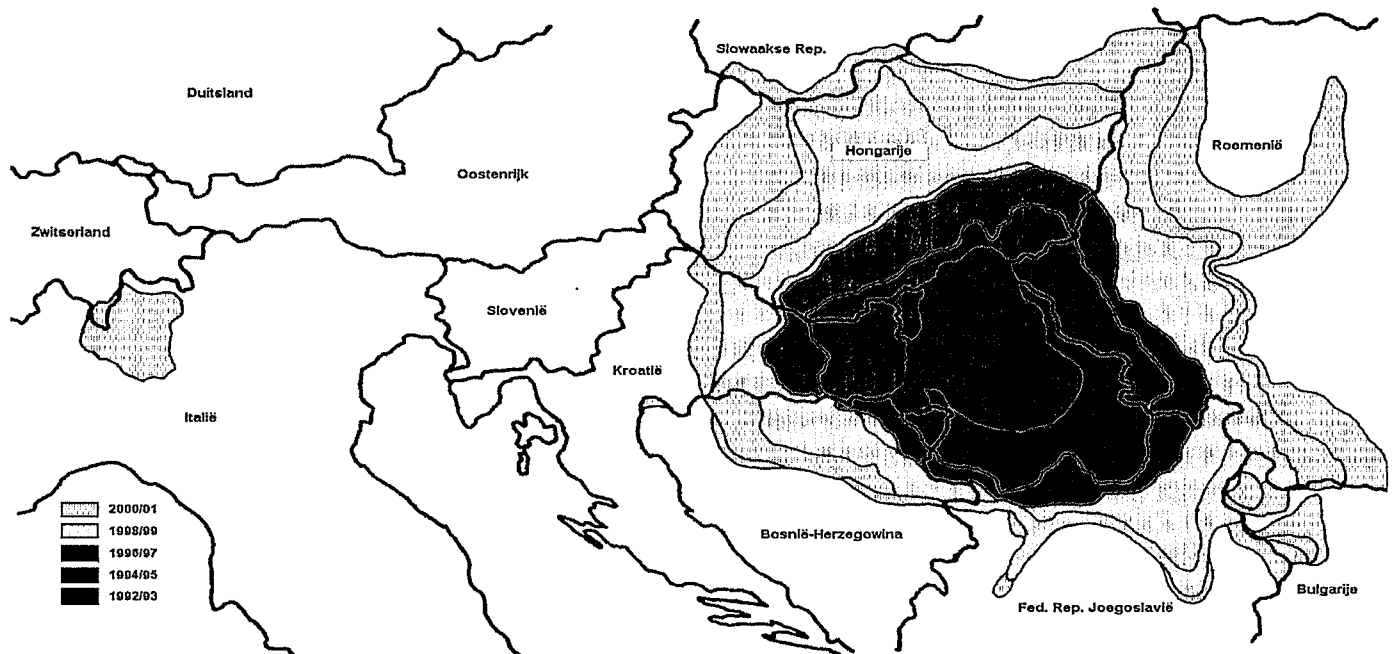
In 1992 maakte *Diabrotica virgifera* de overstap naar midden-Europa. De soort dook op bij het vliegveld van Belgrado (meegelift met luchttransporten vanuit de USA?) en heeft zich nadien verspreid over delen van Servië, Kroatië, Slowakije, Roemenië, Bulgarije en Hongarije (fig. 2). In 2000 zijn populaties vastgesteld over een totale oppervlakte van 200.000 km<sup>2</sup>. De schade aan maïsogsten was aanzienlijk. In 2001 vestigde *Diabrotica virgifera* populaties in noord-Italië en een aangrenzend deel van Zwitserland (EPPO, 2002). In 2002 waren Oostenrijk en Frankrijk (vangsten rond vliegvelden bij Parijs) aan de beurt. Verdere opmars in de richting van Duitse, Belgische en Nederlandse maïsakkers (fig. 3) lijkt een kwestie van (korte) tijd. Een modelstudie (Baufeld & Enzian, 1999) leverde een dispersiesnelheid van 60 tot 100 km per jaar (zonder rekening te houden met beperkende maatregelen).

### *Diabrotica virgifera* in CLIMEX

De modelstudie is in 2002 uitgevoerd bij de Plantenziektenkundige Dienst, sectie Entomologie (De Boer, 2002). Het doel

<sup>1</sup> CSIRO Entomology, Queensland, Australia. [www.ento.csiro.au/climex/climex.htm](http://www.ento.csiro.au/climex/climex.htm). E-mail: [climex@ento.csiro.au](mailto:climex@ento.csiro.au). Inmiddels is een programma (DYMEX) ontwikkeld, dat deterministische populatiemodellen kan genereren. Een nieuwe versie van CLIMEX wordt in DYMEX geïntegreerd.

<sup>2</sup> De naam *Diabrotica virgifera virgifera* duidt een ondersoort aan. Er bestaat ook een ondersoort *Diabrotica virgifera zea*, die inheems is in Mexico en in zuidelijke staten van de USA (Krysan et al., 1980). De tweede 'virgifera' wordt in het vervolg van dit artikel voor het gemak weggelaten.



Figuur 2. Uitbreiding van *Diabrotica virgifera virgifera* in Europa 1993-2001. Bron: European and mediterranean Plant Protection Organisation (EP-PO), France.

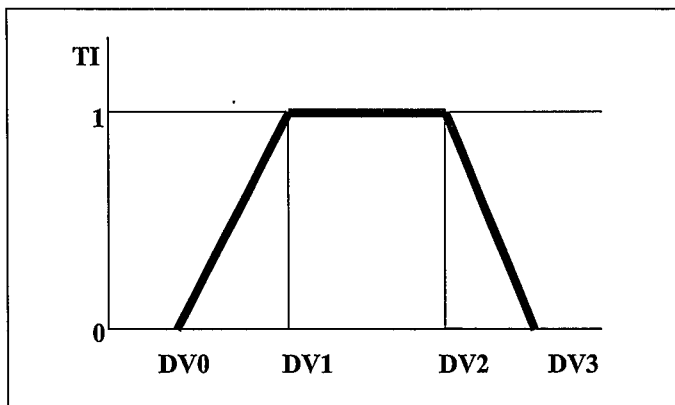


Figuur 3. Verspreiding van de maïsteelt in Nederland (2000). Bron: LGN-4 (Alterra).

was tweeledig: 1) kennis opdoen wat betreft de mogelijkheden van het programma ter ondersteuning van risico-analyses voor plaagsoorten, en 2) een duidelijk beeld krijgen van de relatie tussen de potentiële verspreiding van *Diabrotica virgifera* en klimatologische omstandigheden in Europa (en Nederland in het bijzonder). Het laatste punt betekende getallen in literatuur verzamelen, die als waarde voor soortspecifieke parameters in CLIMEX ingevoerd konden worden. De parameters (25 in totaal) kunnen in vier groepen worden

ingedeeld: temperatuur, vocht, winterrust, licht en stress. Het voert te ver om alle parameters en hun waarden afzonderlijk te bespreken. Twee ervan worden hieronder kort genoemd: DV0 en PDD. De parameter DV0 staat voor 'limiting low temperature'. Dit is de temperatuur waarop of waaronder geen populatiegroei optreedt. Als waarde kwam uit literatuur naar voren 11°C, zijnde de experimenteel gevonden temperatuur waaronder eieren van *Diabrotica virgifera* niet uitkomen. Naast een waarde voor 'limiting low temperature' dienen ook waarden voor 'lower' en 'upper optimum temperature' en 'upper temperature threshold' te worden ingevoerd. De wijze waarop CLIMEX uit deze getallen een temperatuurindex (TI) berekent, is aangegeven in figuur 4. De parameter PDD is het aantal graaddagen (graden x dagen) boven DV0 dat minimaal nodig is voor het voltooiën van een generatie. Als dit aantal graaddagen op een bepaalde locatie niet wordt bereikt, dan wordt de EI voor die locatie op nul gesteld (soort kan niet overleven). Uit diverse onderzoeken kwamen uiteenlopende waarden voor PDD naar voren (fig. 5). Op grond van de beschrijvingen van de experimenten bleek het niet mogelijk om één waarde als de meest betrouwbare te kiezen. De laagste en de hoogste waarde, respectievelijk 670 en 788, zijn als gelijkwaardige alternatieven in CLIMEX getest op hun effect op de potentiële verspreiding van *Diabrotica virgifera*.

De resultaten van de beide CLIMEX-runs zijn weergegeven in figuur 6 en 7. De grootte van de stippen is proportioneel met de hoogte van de EI (1-100%). In de run met PDD 670 (fig. 6) ligt de noordgrens in de verspreiding van *Diabrotica virgifera* over zuid-Nederland (positieve scores: Vlissingen, Volkel, Beek), en loopt westwaarts over zuid-Engeland en oostwaarts over noord-Duitsland. In de run met PDD 788 (fig. 7) is de noordgrens naar het zuiden verschoven. Alle Nederlandse locaties hebben nu negatieve scores. Ook in zuid-Engeland en noord-Duitsland zijn meer negatieve scores verschenen. Het lijkt erop dat de parameter PDD een behoorlijke invloed



Figuur 4. De temperatuurindex als functie van populatiegroei.  $TI = 1$  als de wekelijkse temperaturen liggen tussen de parameters  $DV1$  en  $DV2$ .  $TI = 0$  als de temperatuur beneden  $DV0$  of boven  $DV3$  ligt.

heeft op het CLIMEX-resultaat. In ecologische termen zou dit betekenen, dat *Diabrotica virgifera* haar levenscyclus in onze streken net wel of net niet kan voltooien. Nederland is volgens CLIMEX in ieder geval een grensgebied in de potentiële verspreiding van de soort. Ons gematigde zeeklimaat wijkt ook duidelijk af van dat in midden-Europa en de staten van de Corn Belt (zomers beduidend warmer). *Diabrotica virgifera* zal in Nederlandse maïsakkers waarschijnlijk marginale klimatologische omstandigheden aantreffen, hetgeen niet wegneemt dat waakzaamheid geboden blijft. In een CLIMEX-studie van een Franse onderzoeker (Reynaud, 1999) zijn de parameters  $DV0$  en  $PDD$  gesteld op respectievelijk 11 en 666 (overige parameterwaarden gelijk aan onderhavige studie). De noordgrens in de verspreiding van *Diabrotica virgifera* blijkt bij die waarden heel Nederland in te sluiten. Positieve EI-scores reiken tot in zuid-Engeland en in Duitsland tot bij Deens-Duitse grens. Verder CLIMEX-onderzoek kan zich richten op de parameter  $PDD$ , op jaarlijkse fluctuaties in het klimaat en op lange termijn-effecten van klimaatsverandering (global warming) op de potentiële verspreiding van *Diabrotica virgifera*.

## Slotopmerkingen

In dit artikel is één functie van CLIMEX aan de orde gekomen: 'Compare Locations'. De gebruiker kan hiermee de potentiële geografische verspreiding van een soort voorspellen

op basis van klimatologische voorkeuren van die soort. Daarnaast heeft CLIMEX twee andere functies: 'Compare Years' en 'Match Climates'. De functie 'Compare Years' stelt de gebruiker in staat de effecten van jaarlijkse klimaatsfluctuaties op de potentiële verspreiding van een soort te bestuderen. De functie 'Match Climates' werkt onafhankelijk van soorten en hun voorkeuren. Het gaat uitsluitend om de vergelijking van klimaten op verschillende locaties, bijvoorbeeld: is de jaarlijkse gang van minimum- en maximumtemperaturen (on)gelijk of hebben de locaties (on)gelijke neerslaghoeveelheden? In de *Diabrotica*-studie is wel gebruik gemaakt van de 'Match Climates' functie (Noord-Amerika/Europa), maar niet van de 'Compare Years' functie.

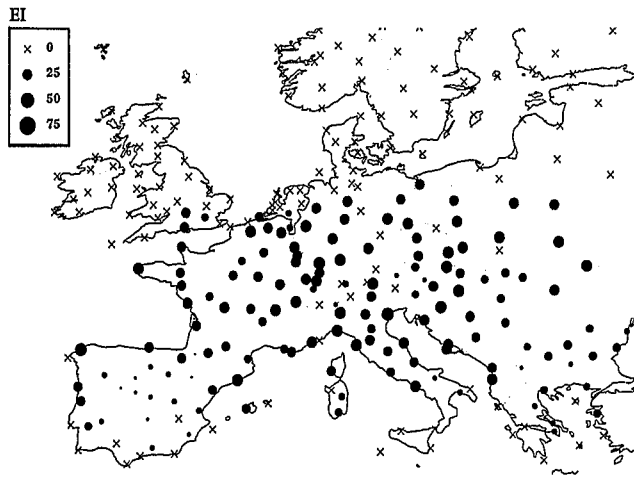
De 'Compare Locations' en 'Match Climates' functies van CLIMEX werken met een klimatologisch gegevensbestand, dat Normalen over de periode 1931-1960 bevat. In de *Diabrotica*-studie zijn de Normalen voor Nederlandse locaties vervangen door meer recente cijfers (Normalen 1961-1990; KNMI, 1992). Ook is het aantal Nederlandse locaties uitgebreid. CLIMEX-resultaten zullen aan voorspellende waarde winnen wanneer het gehele klimaatsbestand, of ten minste het Europese deel ervan, up-to-date wordt gebracht. Dan pas kunnen biogeografische effecten van klimaatsverandering in CLIMEX goed worden onderzocht. *Diabrotica virgifera* zal niet de enige soort zijn die kan profiteren van een opwaartse trend in de gemiddelde jaartemperatuur in Nederland en de ons omringende landen.

*Diabrotica virgifera* bleek een soort waaraan in de jaren 1978-1999 veel experimenteel onderzoek is gedaan. Het selecteren van klimaatgerelateerde parameterwaarden leverde dan ook weinig problemen op, hoewel soms sprake was van een verwarrende veelheid van cijfers ( $PDD$ ). De klimatologische voorkeuren van een soort zijn tot op zekere hoogte af te leiden uit de werkelijke geografische verspreiding, namelijk het gebied waar de soort inheems is of zich al langdurig heeft gevestigd. Op grond hiervan gekozen en/of experimenteel verkregen parameterwaarden moeten via de functie 'Compare Locations' getoetst worden aan de werkelijke verspreiding, willen zij toepasbaar zijn op een gebied waar de soort (nog) ontbreekt. Dit kan een proces vereisen van onderlinge afstemming van waarden, vooral wanneer onzekerheden over tolerantiegrenzen van een soort blijven bestaan.

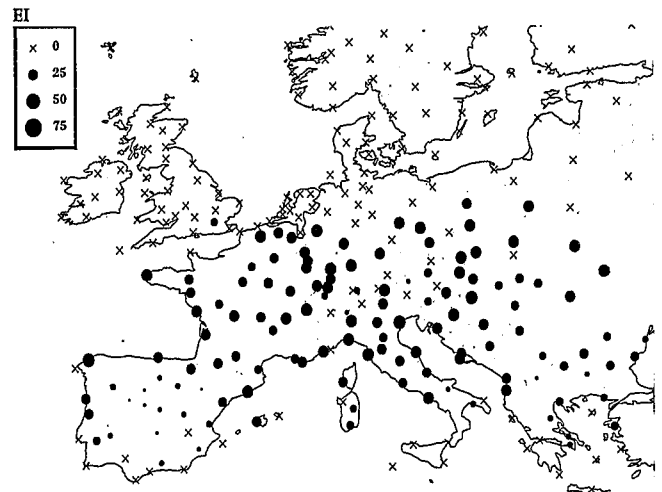
Figuur 5. Temperatuurafhankelijke ontwikkeling van *D. virgifera* en  $PDD$ -waarden uit literatuur.

Auteurs <sup>1)</sup>	Bijzonderheden	Graaddagen
<b>ontwikkeling van eieren</b>		
A	50% uitkomen v. eieren bij 11 °C (populatie S. Dakota)	236
B	post-winterrust eieren tot uitkomen eieren; lab. exper. > 11 °C	258
C	50% uitkomen v. eieren bij 11.2 °C (populatie Illinois)	354
<b>ontwikkeling van largen &amp; poppen</b>		
D	uitkomen eieren tot ontsnappen adulten (gem. m./vr., 18-27 °C)	434
<b>volledige ontwikkeling (PDD)</b>		
A en D	post-winterrust eieren tot ontsnappen adulten (236 + 434)	670
B en D	post-winterrust eieren tot ontsnappen adulten (258 + 434)	692
C en D	post-winterrust eieren tot ontsnappen adulten (18-27 °C)	753

<sup>1)</sup> Literatuurverwijzingen en literatuurlijst zijn te vinden in De Boer, 2002



Figuur 6. Potentiële verspreiding van *Diabrotica virgifera virgifera* in Europa, PDD: 670.



Figuur 7. Potentiële verspreiding van *Diabrotica virgifera virgifera* in Europa, PDD: 788.

In het CLIMEX-handboek zijn 'Templates' (mallen) voor parameterwaarden opgenomen. Iedere 'Template' heeft betrekking op een klimaatgebied op aarde (b.v. mediterraan of gematigd) en bestaat uit een reeks van cijfers. Deze cijfers kunnen als parameterwaarde voor temperatuur, vocht en stress voor een willekeurige soort worden ingevoerd. De 'Templates' zijn nuttig wanneer de onderzoeker over weinig 'harde' cijfers voor een soort beschikt. In de *Diabrotica*-studie zijn indices voor vocht en warmtestress aan de 'Templates' ontleend.

CLIMEX is een gebruiksvriendelijk programma en lijkt derhalve geschikt voor onderwijsdoeleinden. Inzicht kan worden verkregen in eenvoudige modelbouw via een iteratief proces, en in biogeografie en klimatologie. Via de 'Metmanager' kan gemakkelijk worden gewisseld van het ene geografisch kader naar het andere (b.v. van continent naar land en terug). De kartografische kwaliteit van de output is matig, vooral wanneer wordt ingezoomd op een klein land als Nederland (van de waddeneilanden is alleen Texel afgebeeld). De mogelijkheid bestaat om de CLIMEX-output te exporteren naar het GIS-programma Arcview, waardoor de mogelijkheden van bewerking en presentatie van verspreidingskaarten enorm toenemen.

## Literatuur

- Baufeld, P. & S. Enzian, 1999. Simulations model for spreading scenarios of Western Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera*) in case of Germany. *Diabrotica Abstracts 1*. European and Mediterranean Plant Protection Organisation (EPPO), France (Paris).
- De Boer, D., 2002. Distribution potential of *Diabrotica virgifera* in The Netherlands and surrounding countries. Rapport Plantenziektkundige Dienst, Wageningen.
- EPPO, 2002. Situation of *Diabrotica virgifera virgifera* in the EPPO region. Reporting Service No. 1, 2002-01-01. European and Mediterranean Plant Protection Organisation (EPPO), France (Paris).
- KNMI, 1992. Climatological data of stations in The Netherlands. Koninklijk Meteorologisch Instituut, Publicatie Nr. 150-27, De Bilt.
- Krysan, J.L., R.F. Smith, T.F. Branson & P.L. Guss, 1980. A new subspecies of *Diabrotica virgifera* (Coleoptera: Chrysomelidae): description, distribution and sexual compatibility. *Annals of the Entomological Society of America* 73 123-130.
- Reynaud, P., 1999. The risk of establishment of *Diabrotica virgifera* LeConte in France. *Pflanzenschutzberichte* 57: 46-51.
- Suthurst, R.W., G.F. Maywald, T. Yonow & P.M. Stevens, 1999. CLIMEX: Predicting the effects of climate on plants and animals. Version 1.1. CSIRO, Queensland, Australia.