

Insecten als vijanden van volksgezondheid

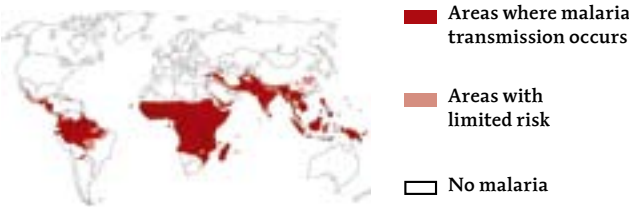
Willem Takken

Diverse insectensoorten voeden zich met bloed van mensen en dieren. Het eiwitrijke bloed dient dan als voedingsstof voor de eitjes. Talloze ziekteverwekkende micro-organismen maken van deze eigenschap gebruik door zich via deze insecten te laten transporteren van de ene naar de andere gastheer. De ziekteverwekkers zijn voor hun voortbestaan afhankelijk geworden van de bloedzuigende insecten omdat hun ontwikkelingscycli alleen in het insect kunnen plaatsvinden. De bekendste 'vector' is de malariamug, die de eencellige parasiet *Plasmodium* overbrengt. De gevaarlijke pestbacterie (*Yersinia pestis*) en het gele koortsvirus worden ook door insecten overgebracht. Er zijn echter nog meer belangrijke vectorziekten. Ziekten met mogelijk grote maatschappelijke gevolgen in de toekomst.

De Griekse historicus Herodotus beschreef hoe soldaten van het Griekse leger, die in Klein Azië vochten, getroffen werden door een ziekte die hoge koorts veroorzaakt die om de twee dagen terugkwam. Velen stierven aan de gevolgen van de ziekte. Het is waarschijnlijk de eerste diagnostische beschrijving van malaria. Pas 2000 jaar later, in de Middeleeuwen, kreeg de ziekte zijn naam mal'aria, ofwel moeraskoorts. In de Pontijnse moerassen bij Rome werden elke zomer honderden mensen ziek door een periodieke koorts, soms met fatale gevolgen. De ziekte werd toegeschreven aan kwalijke dampen ('slechte lucht') die uit het moeras opstegen, maar de werkelijke oorzaak werd pas in 1898 ontdekt. De steekmug *Anopheles labranchiae* bleek bloedparasieten van de ene mens op de andere over te brengen. Achttien jaar eerder had de Franse arts Laveran ontdekt dat de ziekte malaria veroorzaakt werd door een bloedparasiet die hij *Plasmodium* noemde. In de mug maakt de parasiet een geslachtelijke ontwikkeling door, waarna uit de nieuw gevormde bevruchte eicel (zygote) duizenden jonge parasieten ontstaan die in de speekselklier van de mug terechtkomen. Bij een beet van een geïnfecteerde mug, worden nieuwe parasieten in de bloedbaan van de mens geïntroduceerd, waarna deze ziek kunnen worden.

Vliegende injectienaalden

Malaria is maar één van de talloze ziekteverwekkers die door insecten worden overgebracht (figuur 1). In de loop van de evolutie hebben honderden micro-organismen een associatie gevormd met insecten, gebruikmakend van de eigenschap dat vele insecten zich voeden op dieren waarin de micro-organismen tot ontwikkeling komen (figuur 2). De monddelen van het insect fungeren als vliegende injectienaald, waarbij het parasitaire organisme van de ene naar de andere gastheer getransporteerd kan worden. Naast humane ziekten, worden ook dierziekten door insecten overgebracht. Bloedzuigende insecten brengen niet willekeurig een micro-organisme over. In de loop van de evolutie zijn nauwe associaties ontstaan tussen ziekteverwekkers en hun vectoren. Bijvoorbeeld, alleen tsetsevliegen kunnen parasitaire trypanosomen overbrengen en slechts enkele soorten van de tsetsevlieg brengen de slaapziekteparasiet (*Trypanosoma brucei brucei*) over. Naast bloedzuigende insecten, spelen ook teken, die van dierlijk bloed afhankelijk zijn, een belangrijke rol als vector. Tabel 1 geeft een overzicht van enkele belangrijke vectorziekten en hun vectorsoorten.



Figuur 1
Plaatje globale verspreiding malaria en malariamug.

Indeling van micro-organismen	Ziekte	Ziekteverwekker	Vector soort	Gangbare naam van de vector	Verspreiding
Protozoën	Malaria	<i>Plasmodium</i> spp.	<i>Anopheles</i> spp.	malariamug	tropen
	Slaapziekte	<i>Trypanosoma</i> spp.	<i>Glossina</i> spp.	tsetse vlieg	tropisch Afrika
	Leishmania	<i>Leishmaniasis</i> spp.	<i>Phlebotomus</i> & <i>Lutzomyia</i> spp.	zandvliegje	Azië, Afrika, L-Amerika
	Chagas	<i>Trypanosoma</i> spp.	<i>Triatoma</i> spp.	bloedzuigende wants	L-Amerika
	Babesia	<i>Babesia bovis</i> & <i>B. microti</i>	<i>Amblyomma</i> spp.	teek	(sub)tropen
Nematoden	East-Coast Fever	<i>Theileria parva</i>	<i>Ixodes</i> spp.	teek	tropisch O-Afrika
	Rivierblindheid	<i>Onchocerca volvulus</i>	<i>Simulium</i> spp.	buffelvliegje	Afrika, L-Amerika
Bacteriën	Elefantiasis	(1) <i>Wuchereria bancrofti</i> (2) <i>Brugia malayi</i>	<i>Culex quinquefasciatus</i> <i>Anopheles</i> spp.	tropische huismug malariamug	tropen O-Azië, Pacific
	Pest	<i>Yersinia pestis</i>	<i>Xenopsylla cheopis</i>	rattevl	wereld
	Ziekte van Lyme	<i>Borrelia</i> spp.	<i>Ixodes ricinus</i>	Schapenteek (figuur 3)	N-halfrond
	Vlektyfus	<i>Rickettsia prowazekii</i>	<i>Pediculus humanus humanus</i>	kleerluis	wereld
	Anaplasma	<i>Anaplasma marginale</i>	verschillende tekensorten	teek	(sub)tropen
Virussen	Ehrlichia	<i>Ehrlichia chaffeensis</i>	<i>Ixodes</i> spp.; <i>Amblyomma</i> spp.	teek	N-halfrond
	Gele koorts	Flavivirus	<i>Aedes aegypti</i>	gelekoortsmug	Afrika, L-Amerika
	Dengue	Flavivirus	<i>Aedes aegypti</i> ; <i>Aedes albopictus</i>	gelekoortsmug	tropen
	West Nile virus	Flavivirus	<i>Culex pipiens</i>	rioolmug	M-Oosten, Z-Europa, N-Amerika
	Japanse encephalitis	Flavivirus	<i>Culex tritaeniorhynchus</i>	steekmug	Azië
Schimmels	Chikungunya	Alphavirus	<i>Aedes albopictus</i>	steekmug	Azië, Afrika
	"blue tongue"		Ceratopgonidae	kriebelmugje	N-Afrika, Z-Europa
Schimmels	<i>Candida albicans</i>			kakkerlak	wereldwijd
	<i>Aspergillus</i> soorten			kakkerlak	wereldwijd

Tabel 1
Belangrijke infectieziekten die door insecten en teken overgebracht worden.

Figuur 2
Patiënt met beten van oogstmijt.

Bloedmaaltijd

Insecten zijn voor hun voortplanting afhankelijk van voedsel dat voldoende nutriënten bevat voor de eiontwikkeling. Vele soorten voeden zich met plantaardige produkten, maar de bloedzuigende insecten (en teken) hebben zich evolutionair aangepast. Vele soorten voeden zich daarnaast ook met nectar van bloemen en planten, maar enkele soorten nemen uitsluitend bloed op. Voorbeelden hiervan zijn de tsetsevlieg (*Glossinidae*) en de paardevlieg (*Tabanidae*). Zowel mannelijke als vrouwelijke individuen van deze insecten zuigen bloed op en gebruiken deze bloedmaaltijd voor hun stofwisseling en voor het produceren van nakomelingen. Hoe kan het dat insecten zich op dierlijk bloed gespecialiseerd hebben? Bloed bevat immers veel eiwitten en weinig koolhydraten. Plantenetters halen juist hun energie uit koolhydraten. In de loop van de evolutie ontstonden er groepen insecten, die zich specialiseerden op bijvoorbeeld bladvraat of op de sappen van planten. Het zuigen van plantensappen vinden we bijvoorbeeld bij de bladluis (zie hoofdstuk 10). Vanuit deze voedingswijze zijn soorten ontstaan die zich op de huid van vertebraten voeden, waar bij toeval ook bloed opgenomen werd. Het is van daaruit niet moeilijk te redeneren hoe door evolutie bloed de belangrijkste voedingsbron werd. Toch blijft bloed als voedingsstof wel een bijzonder dieet, want voor een optimale vertiering van dierlijk bloed zijn speciale enzymen nodig die de lange eiwitketens kunnen afbreken. Bovendien moet het speeksel van deze insecten een anti-stollingsfactor bevatten, anders raakt de voedingsbuis verstopt



Willem Takken



Figuur 3.
De teek *Ixodes ricinus*,
de vector van
Borrelia parasieten.

Fedor Gassner

tijdens de bloedopname. De tsetsevlies heeft zelfs een speciale stofwisseling ontwikkeld, gebaseerd op het aminozuur proline. Hiermee is het mogelijk om snel aan de energie te komen die nodig is voor het vliegen. De aminozuren uit het bloed worden in hoofdzaak gebruikt voor de aanmaak van eiwitten die worden afgezet in de eifollikels. Ze zijn daarmee bouwstenen voor de zich ontwikkelende eitjes.

Overdracht van ziekteverwekkers

De meeste bloedzuigende insecten hebben monddelen die gespecialiseerd zijn in het doorboren van de huid en het vinden van onderhuidse bloedvaatjes. Bij het opzuigen van het bloed kunnen ziekteverwekkende micro-organismen meegenomen worden waarbij ze in de maag van het insect belanden. De meeste micro-organismen gaan hier dood door enzymatische activiteit, maar enkele kunnen overleven. Andere micro-organismen blijven 'hangen' aan de monddelen (het steekorgaan), en kunnen bij een volgende bloedmaaltijd direct doorgegeven worden aan de nieuwe gastheer. Dit proces heet mechanische overdracht, en is vergelijkbaar met de overdracht van virussen door vervuilde injectienaalden. Veel micro-organismen ondergaan echter een ontwikkeling in het insectenlijf. Bij binnenkomst in de insectenmaag verliezen ze hun infectieuze vermogen, en ondergaan een verandering. Uiteindelijk belanden ze in een infectieuze vorm in de speekselklier van het insect. Deze cyclische overdracht is de enige manier waarop het ziekteverwekkende organisme zich kan handhaven en wordt daarom obligaats genoemd. Enkele micro-organismen hebben zelfs een seksuele cyclus in het insect ontwikkeld. Een voorbeeld hiervan is de malariaparasiet, waarbij mannelijke en vrouwelijke voortplantingscellen (gameten) met het bloed worden opgezogen vanuit de gastheer. In de maag van de mug fuseren deze gameten met elkaar en vormen een zygote, waaruit na tien dagen asexuele, infectieuze sporozoieten ontstaan. De sporozoieten worden met het speeksel ingespoten in de bloedbaan van een gastheer, en starten daar een asexuele ontwikkelingscyclus van de parasiet. Deze eindigt met de vorming van mannelijke en vrouwelijke gameten, die weer door de mug kunnen worden opgezogen.

Obligate ontwikkeling

Ziekteverwekkers die een obligate ontwikkeling in het insect doormaken zijn meer afhankelijk van hun vector dan micro-organismen die mechanisch worden overgedragen. De insect-gastheer moet immers voldoende lang in leven blijven om de ontwikkeling van de parasiet plaats te laten vinden. Een korte levensduur van het insect kan fataal zijn voor de overdracht van het micro-organisme. Daarom moet de schade aan de gastheer als gevolg van het parasiteren zo beperkt mogelijk blijven. Tot voor kort werd gedacht dat parasitaire organismen hun insect-gastheer niet nadelig beïnvloedden. Uit recent onderzoek is gebleken dat er toch een vrij groot nadelig effect van de parasitering kan optreden. Malariaparasieten concurreren in de mug met de eifollikels om het beschikbare voedsel, zodat geïnfecteerde muggen minder nakomelingen produceren. Daarnaast verbruikt de mug een deel van de beschikbare energie voor de aanmaak van afweerstoffen, waarmee de ontwikkeling van de parasiet geremd wordt. Ook dan ontstaan er minder nakomelingen. Vrijwel nooit leidt infectie met een ziekteverwekkend organisme tot de dood van het insect. Wanneer dat zou gebeuren, kan het micro-organisme niet doorgegeven worden.

Maatschappelijke effecten

De grote verscheidenheid aan vectorziekten en hun vectorsoorten maakt duidelijk dat deze pathogenen al vanaf het begin van de evolutie een associatie met insectensoorten zijn aangegaan. Uit de antieke oudheid is bekend dat Egyptische farao's overleden zijn aan malaria en leishmania. Ook in Romeinse graven zijn onlangs mummies gevonden waaruit de malariaparasiet kon worden geïsoleerd. Een van de grote Bijbelse plagen was de builenpest. Een bekend gevolg van deze ziekte is de massale ontvolking van Europa in de 14e eeuw (box 1). Tekeningen van mensen op antieke vazen en aardewerk uit de Peruaanse kuststreken tonen met grote regelmaat de groteske littekens op de huid veroorzaakt door leishmania. Tussen de 14e en 19e eeuw zijn vele staatslieden (koningen en regenten) aan malaria overleden. Ook werden talloze oorlogen en koloniale veroveringen verloren door het uitbreken van een vectorziekte. Afrika kreeg de bijnaam 'white man's grave', en malaria en gele koorts hebben een snelle ontwikkeling van de Verenigde Staten in de weg gestaan. De vloot van de Verenigde Oostindische Compagnie heeft nog in de 18e eeuw enorm veel malariaslachtoffers gekend in de baai van Jakarta (Batavia).

Bij het begin van de 20e eeuw was de levenscyclus van vele vectorziekten ontdekt. Door het invoeren van goede bestrijdingsmaatregelen konden vectorziekten in vele landen effectief bestreden worden. Aanvankelijk gebeurde dit met insecticiden, maar door het ontstaan van resistentie tegen deze middelen en vanwege milieuroisico's veroorzaakt door deze chemische middelen worden insecticiden steeds vaker vervangen door milieuvriendelijke biologische middelen.

Omdat effectieve bestrijding hoge kosten met zich meebrengt, kon deze voornamelijk plaatsvinden in geïndustrialiseerde landen. Hierdoor konden deze landen zich snel ontwikkelen en een relatief hoog sociaal-economisch niveau bereiken. Preventieve maatregelen werden genomen waardoor vectorziekten niet meer terugkwamen. Deze situatie deed zich niet voor in ontwikkelingslanden, waar het voortdurend aan middelen ontbreekt om een effectieve bestrijding op grote schaal uit te voeren. Om die reden worden vectorziekten als malaria, leishmania en Chagas ook wel 'ziekten van de armoede' genoemd. In ontwikkelingslanden staan vectorziekten een snelle ontwikkeling in de weg: mensen die ziek zijn of zieke kinderen moeten verzorgen nemen niet aan het arbeidsproces deel. Chronisch zieke kinderen lopen een ernstige achterstand op in de ontwikkeling

Box 1 De pest: vlooien en ratten langs de zijderoute

De builenpest wordt veroorzaakt door de pestbacterie (*Yersinia pestis*). De ziekte komt van nature onder knaagdieren voor (vooral ratten), en wordt van het ene naar het andere dier overgebracht via de rattevlo (*Xenopsylla cheopis*). De bacterie ontwikkelt zich in de slokdarm van de vlo, waar bacteriële enzymen zorgen voor het klonteren van het bloed, waardoor de darm verstopt raakt. Hierdoor braakt de vlo de bacterie uit via de steeksnuut, zodat de bacterie effectief terechtkomt in het lichaam van een nieuwe gastheer. De darmverstopping zorgt er ook voor dat de vlo vaker steekt vanwege honger.

Dieren en mensen die met de pestbaci besmet raken worden ziek. Dit gaat gepaard met hoge koortsen en een typische zwelling van de lymfeklieren in de nek en lies (de 'buielen'). Zonder medische verzorging overlijden veel patiënten aan de ziekte. De introductie van antibiotica heeft geleid tot een sterke afname van de pest, en grote epidemieën komen niet langer voor. Dat was in de Middeleeuwen wel anders. De pest is Europa binnengekomen omstreeks 1348 via de zijderoute vanuit Centraal Azië, de Zwarte Zee en Bosporus naar Venetië. Voor een snelle verspreiding van de pestbacterie waren de woonomstandigheden in de Middeleeuwen ideaal: in de steden woonden de mensen dicht op elkaar in kleine armoedige huizen, waarbij geen enkele vorm van hygiëne bestond. Huishoudelijk afval en fecaliën werden op straat geworpen. Ratten profiteerden hiervan en waren overal aanwezig. De rattevlo bleek een gunstige gastheer voor de bacterie te zijn, die zich in dit insect snel kon vermenigvuldigen. Mensen raakten besmet door beten van vlooien die van stervende ratten oversprongen op de mens. Alleen al in de jaren 1348–1354 stierf een derde van de Europese bevolking aan de pest, die zich vanuit Italië naar West- en Noord-Europa verspreidde. Vanaf 1350 is de pest een blijvende ziekte gebleven in Europa tot aan de 18e eeuw, toen hygiënische maatregelen een einde maakten aan de rattenoverlast in grote steden. Dankzij de introductie van antibiotica is de pest tegenwoordig geen bedreigende ziekte meer, hoewel zij nog steeds wereldwijd voorkomt.

van hun intellectuele capaciteiten. Ironisch genoeg leidt deze economische achterstand automatisch tot het instandhouden van de situatie: als broedplaatsen van malariamuggen niet opgeruimd worden, houdt de ziekte zich vanzelf in stand.

Ieder jaar lopen 500 miljoen mensen een nieuwe malaria-infectie op, en sterven twee á drie miljoen mensen aan de ziekte. Naar schatting verliest Afrika jaarlijks alleen al door malaria een bedrag van 4.9 miljard dollar, en een Afrikaans huishouden 10% aan inkomsten. De verliezen door Afrikaanse slaapziekte zijn eveneens zeer groot, omdat zonder medische behandeling de patiënt zal overlijden. De schattingen van het aantal lijdens aan slaapziekte in 2004 bedragen 500 miljoen mensen. In Zuid-Amerika zijn 18 miljoen mensen geïnfecteerd met de ziekte van Chagas. In Azië breidt het denguevirus zich snel uit, en het Japanse encephalitisvirus is onlangs in Noord-Australië gesignaleerd. De vermoedelijk ernstigste bedreiging voor de humane gezondheid in de tropen is leishmania. Deze ziekte wordt verspreid door een zandvliegje, en medische behandeling is gecompliceerd. Door burgeroorlogen (Afghanistan, Irak, Somalië, Soedan, Oeganda, Tsjaad) kunnen patiënten niet behandeld worden en heeft de ziekte de kans zich verder uit te breiden. In West-Europa en Noord-Amerika maken we ons zorgen om uitbraken van het West Nile virus, omdat hiertegen geen geschikt vaccin bestaat.



De maatschappelijke effecten van vectorziekten zijn veel groter dan algemeen wordt verondersteld. Omdat deze ziekten veelal met armoede gerelateerd zijn, staan ze nauwelijks in de belangstelling en krijgen ze niet voldoende aandacht. Waarschijnlijk is een acute uitbraak van een nieuwe ziekte met veel slachtoffers in geïndustrialiseerde landen nodig om een doorbraak in de preventie en bestrijding in ontwikkelingslanden te realiseren. Met de bestrijding van het HIV-virus lijkt dit wel te lukken, waarom dan niet met eeuwenoude ziekten zoals malaria en leishmania?

Bestrijding

Hoe kon het dat vectorziekten vele eeuwen lang zo veel slachtoffers vergden en dat pas begin 20e eeuw allerlei effectieve bestrijdingsmaatregelen werden ontwikkeld? De mens heeft al vroeg maatregelen moeten nemen om zich tegen deze ziekten te beschermen. Aanvankelijk gebeurde dat met een grote dosis onkunde en bijgeloof omdat oorzaak en verband niet bekend waren. Beschermende maatregelen werden meestal bij toeval ontdekt. In de 16e eeuw beschreven Spaanse monniken in Peru dat de bast van de *Cinchona*-boom een stof bevatte die mensen van periodieke koorts kon genezen. Korte tijd later werden de zieke paus en kardinalen in Rome ermee genezen, en begon de opmars van kinine. Het verband tussen malaria en muggen werd toen nog niet gelegd. Effectieve maatregelen konden pas worden genomen nadat eind 19e eeuw de levenscycli van de ziekteverwekkers ontdekt werden, en insecten als vectoren konden worden aangewezen. De industrialisatie, en versnelde wetenschappelijke ontdekkingen die daarmee gepaard gingen, maakten het mogelijk om de ziekteverwekkers 'zichtbaar' te maken onder de microscoop en om chemische stoffen te isoleren die een geneeskrachtige werking hadden (bijvoorbeeld kinine voor malariabestrijding). De bestrijding kon dus gericht plaatsvinden door de ziekteverwekker uit te schakelen met een medicijn, en het contact tussen vector en humane gastheer te verbreken. Het werd snel duidelijk dat een onderbreking van de overdracht van ziekteverwekkers door insecten zou leiden tot het verdwijnen van de ziekte (box 2). In de tropen werd de klamboe populair, terwijl men wereldwijd probeerde om broedplaatsen van muggen droog te leggen. Spectaculaire successen in de strijd tegen malaria werden behaald in Italië, door drooglegging van de Pontijnse moerassen, en in Noord-Amerika door waterregulering in moerasgebieden van Tennessee en Kentucky. Na de ontdekking van het insecticide DDT kon de bestrijding van de mug pas goed ter hand genomen worden: overal ter wereld werd DDT ingezet tegen muggen (en andere vectorinsecten), totdat de ontwikkeling van resistentie tegen het insecticide een abrupte halt toebracht aan het succes van de malariabestrijding.

Figuur ?
Gebruik extra foto evt
bijschrift of niet?

Figuur ?
Gebruik extra foto evt
bijschrift of niet?

!! Peter/ Ties:
Passen de foto's wel
in tekst? het zijn zijn
enige 'extra' foto's!!

Box 2 Unieke combinatie van mug en parasiet: Malaria in Nederland

Tussen de jaren 1850 en 1950 waren de Nederlandse kuststreken berucht vanwege de ongezonde situatie veroorzaakt door malaria. Mensen werden vooral ziek in het najaar en de vroege zomer. De rest van het jaar werden weinig patiënten gevonden. Nederlandse onderzoekers stelden vast dat het ging om de malariaparasieten *Plasmodium vivax* en *Plasmodium malariae*, die respectievelijk anderdaagse koorts en driedaagse koorts veroorzaakten. Tussen de koortsperiodes door voelden de meeste patiënten zich goed. De ziekte kon behandeld worden met het plantaardige malariamiddel kinine. De vraag was hoe malaria in Nederland werd overgebracht. Het klimaat was niet tropisch, en toch werd de ziekte veel gevonden.

Onderzoekers van het Tropeninstituut in Amsterdam gingen op zoek naar de oorzaak van de ziekte. Ze ontdekten dat malaria werd overgebracht door slechts één muggensoort, *Anopheles atroparvus*. Een nauw verwante soort, *Anopheles messeae*, werd niet als vector aangemerkt. *An. atroparvus* werd vooral aangetroffen in brakwater, en dat verklaarde de opmerkelijke geografische verspreiding van malaria in ons land: er was een opvallende overeenkomst tussen brakwatergebieden en de verspreiding van de ziekte.

Het bleek ook dat *An. atroparvus*, en niet *An. messeae*, in het najaar vaak in stallen en woonhuizen werd aangetroffen. De mug overleeft de winter in volwassen vorm en heeft in die periode regelmatig een bloedmaaltijd nodig. Als in september de buitentemperatuur lager werd, zocht de mug bescherming in stallen en woonhuizen tegen ongunstige klimaatsomstandigheden. Omdat dragers van *P. vivax* of *P. malariae* niet altijd ziektesymptomen (koorts en koude rillingen) vertonen, kunnen zij soms wekenlang als reservoir van de malariaparasiet fungeren. Bij de beet van een malariamug op deze parasietendragers raakt de mug besmet en kan zij bij een volgende beet iemand infecteren. Op die manier raakte soms een heel gezin besmet door de beet van slechts enkele geïnfecteerde muggen. Eenmaal geïnfecteerd verliep de infectie van deze vorm van malaria in een unieke vorm: de incubatietijd van de parasiet in de mens was 9 maanden, terwijl in de tropen deze slechts 14 dagen is. Sommige mensen werden in het najaar geïnfecteerd, en kregen koorts in juni van het volgende jaar. Er was nog geen sprake van resistentie tegen de geneesmiddelen, zodat patiënten genezen konden worden. Door de introductie van het insecticide DDT en goedkope geneesmiddelen (chloroquine) kon malaria in Nederland uitgeroeid worden. Het laatste inheemse geval van malaria werd in 1959 gerapporteerd.

De kans op terugkeer van inheemse malaria is gering. De moderne woningbouw is ongunstig voor *Anopheles atroparvus* en in grote delen van het westen van Nederland is het brakke water vervangen door zoetwater. Bovendien is het aantal natuurlijke dragers van *Plasmodium vivax* verdwenen. Nederlanders die malaria oplopen tijdens een verblijf in de tropen worden meestal effectief behandeld door een arts waardoor er geen reservoir van de parasiet zal ontstaan.



De resistentie werd veroorzaakt door een hoge selectiedruk op de muggen waardoor de enkele muggen die minder gevoelig waren voor het insecticide hun kans grepen. Deze ontwikkeling bleef lang onopgemerkt door een te groot vertrouwen in de werking van insecticiden en de daardoor geringe aandacht voor andere bestrijdingsmaatregelen. Echter nu kwamen er weer mogelijkheden voor het ontwikkelen van alternatieve, milieuvriendelijke bestrijdingsmethoden. Bijvoorbeeld bleek het mogelijk de tsetsevlies met geurvalen effectief te bestrijden. Diverse steekmuggen konden al in het larvale stadium aangepakt worden door drainage, afdekking van het wateroppervlak of met behulp van natuurlijke vijanden. De bacteriën *Bacillus thuringiensis israeliensis* en *Bacillus sphaericus* worden nu grootschalig ingezet voor de bestrijding van vectoren van malaria, filariasis, Japanse encefalitis en rivierblindheid. De ontwikkeling van nieuwe insecticiden, die minder schadelijk zijn dan DDT, maakt toepassing mogelijk op klamboes. Hierdoor is de milieubelasting door chemische bestrijdingsmiddelen aanzienlijk gedaald.

Het feit dat vectorziekten in ontwikkelde landen effectief bestreden worden, en de reeks recente doorbraken in het vinden van milieuvriendelijke bestrijdingsmethoden van vectoren, laten zien dat het mogelijk is om via preventie deze ziekten onder de duim te houden. Toch nemen deze ziekten in ontwikkelingslanden alleen maar toe. De sociaal-economische achterstand van deze landen is de voornaamste oorzaak van de toename van vectorziekten. Er is dus internationale aandacht nodig voor het opheffen van deze voortdurende achterstand. De vectoren en de parasieten hebben door snelle evolutionaire aanpassingen aangetoond zich uitstekend te kunnen handhaven in een moderne samenleving, ook als hun milieuomstandigheden verslechteren. Een slimme benadering voor interventie van hun levenscyclus kan mensenlevens redden en het aantal slachtoffers veroorzaakt door vectorziekten verlagen. Het is daarvoor nodig dat in ziekte-endemische landen de betrokkenen (medische diensten, autoriteiten, entomologen en het publiek) nauw betrokken worden bij het ontwikkelen van effectieve bestrijdingsstrategieën. Internationale programma's zoals bijvoorbeeld het Global Fund (<http://www.theglobalfund.org/en/>), het Millennium Programma van de Verenigde Naties (<http://www.undp.org/mdg/>) en de Bill en Melinda Gates foundation (<http://www.gatesfoundation.org>) zijn voorbeelden van financieringsprogramma's die er naar streven om de gevolgen van vectorziekten wereldwijd te verminderen. In deze programma's wordt nauw samengewerkt met lokale overheden en bevolking. De uitdaging blijft om de komende decennia de overdracht van deze vectorziekten zo te verminderen dat de gezondheidsrisico's blijvend verlaagd worden.

Figuur ?
Gebruik extra foto evt
bijschrift of niet?

!! Peter/ Ties:
Past de foto wel in
tekst? het is 1 van zijn
'extra' foto's!!