

DE MUG

De mug

Over steekmuggen en de verspreiding van ziekten

Redactie:

dr. ir. Chantal Reusken

dr. Marieta Braks

dr. Jannes van Everdingen

dr. Jim van Steenbergen

prof. dr. Jos van den Broek (infographics)

dr. ir. Astrid van de Graaf (eindredactie)

Joy Kerklaan MSc (coördinator)



Over stichting Biowetenschappen en Maatschappij

Stichting Biowetenschappen en Maatschappij (BWM) is in 1969 op initiatief van prinses Beatrix en prins Claus opgericht om het Nederlandse en Vlaamse publiek te informeren over ontwikkelingen binnen de biowetenschappen (life sciences) en de daaraan verbonden maatschappelijke implicaties te bespreken. BWM verspreidt daartoe, zowel online als gedrukt, populairwetenschappelijke informatie over actuele thema's in de gezondheids- en biowetenschappen, geschreven door vooraanstaande wetenschappers. BWM verschaft inzicht in actuele en toekomstige ontwikkelingen en toepassingen van de biowetenschappen en de betekenis en gevolgen daarvan voor mens, natuur en maatschappij. De thema's worden zorgvuldig geselecteerd op maatschappelijke relevantie.

Vier keer per jaar worden publicaties uitgebracht in de vorm van boeken en cahiers die beschikbaar zijn via de boekhandel en via de webshop van BWM. Alle online informatie is kosteloos beschikbaar via de website.

www.biomaatschappij.nl



© 2022 stichting Biowetenschappen en Maatschappij

Omslag en vormgeving: Nico Richter

© Illustraties: zie de afzonderlijke illustraties

ISBN 978 90 8803 115 1

NUR 860, 911

Alle rechten voorbehouden | All rights reserved
Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd
en/of openbaar gemaakt door middel van druk,
fotokopie of op welke andere wijze en/of
door welk ander medium ook, zonder voorafgaande
schriftelijke toestemming van de uitgever.

www.uitgeverijlias.nl



INHOUD

Inleiding 9

De hoogst irritante steekmug 9

– Jaap van Dissel

1. Overall muggen 13

1.1 De mug: van ei tot lastpak 13

– Sander Koenraad

Kader Ken uw muggen 17

– Wim Van Bortel, Olivier Briët & Arjan Stroo

1.2 Wie eet wie? De plaats van de mug in het voedselweb 19

– Maarten Schrama, Sam Boerlijst & Mees van Horssen

1.3 Muggendiversiteit van moeras tot stad 23

– Arjan Stroo

Kader Griendtsveen, pittoresk dorp of eldorado voor
steekmuggen? 25

– Piet Verdonshot

Kader Muggen in de stad 28

– Jan Buijs & Floris Brekelmans

1.4 Exotische muggen, nieuwkomers en frequente bezoekers 30

– Adolfo Ibáñez-Justicia & Frans Jacobs

Kader Help! We hebben een muggenplaag in huis 34

– Adolfo Ibáñez-Justicia & Frans Jacobs

- 1.5 Geef muggen geen kans 35
– Marieta Braks & Arjan Stroo
- Vier soorten muggen 38
2. Ziek na een muggenbeet 47
- 2.1 Het virus en de mug: niet altijd een gelukkig stel 47
– Gorben Pijlman
- Kader** De mug als vliegend stempelkussen voor virusoverdracht? 49
– Marieta Braks
- Kader** Kunnen muggen ook bacteriën overbrengen? 52
– Lucia Jonckers Nieboer, Egil Fischer & Marieta Braks
- 2.2 Problemen in het paradijs 53
– Marieta Braks & Johan Reimerink
- Kader** Caribisch Nederland 55
– Marieta Braks & Johan Reimerink
- Kader** Hijs de gele vlag! Philadelphia was weerloos tegen uitbraak van gele koorts 57
– Jaap van Dissel
- 2.3 Malaria in Nederland en de ontdekking van kinine 59
– Marieta Braks & Willem Takken
- Kader** De bloedparasiet 62
– Bram Goorhuis
- Kader** Luchthavenmalaria in België 65
– Wim Van Bortel & Javiera Rebolledo Gonzalez
- 2.4 Europa en de opkomst van het westnijl- en het usutuvirus 66
– Chantal Reusken, Stijn Raven & Johan Reimerink
- Kader** Stierf Alexander de Grote aan het westnijlvirus? 70
– Ewout Fanoy & Geert Veldhuis
- 2.5 Dengue, zika en chikungunya, ver weg en dicht bij huis 71
– Annemiek van der Eijk & Mariana de Mendonça Melo
- Patiëntenverhaal** Dengue in Zuid-Frankrijk: het relaas van een patiënt 76
– Opgetekend door Peter de Vries
- 2.6 De wereld rond met drie zeldzame virusziekten 77
– Chantal Reusken & Heiman Wertheim
- 2.7 Vakantiegangers zijn soms net kanaries 80
– Leo Visser & Bram Goorhuis
- Kader** Het riftdalkoortsvirus 81
– Leo Visser
- 2.8 Hebben exotische muggenvirussen vrij spel in de Nederlandse veehouderij? 84
– Paul Wichgers Schreur
3. Diagnose, behandeling en preventie van muggenoverdraagbare infectieziekten 87
- 3.1 De detective: van kliniek tot laboratorium en terug 87
– Corine Geurts van Kessel & Johan Reimerink
- Kader** Bloedonderzoek op virusinfectie: een lastige klus 90
– Johan Reimerink & Corine Geurts van Kessel
- 3.2 Het gevaarlijkste dier op aarde 92
– Bram Goorhuis
- 3.3 Veilige bloedtransfusie en muggenoverdraagbare virussen 94
– Hans Zaaijer
- 3.4 Vaccinontwikkeling: een prik tegen een prik 96
– Paul Wichgers Schreur
- 3.5 Minder muggen(beten) in de praktijk 101
– Marieta Braks & Jim van Steenberg
- 3.6 Steekmuggenbestrijding 103
– Arjan Stroo & Marieta Braks
- Kader** Muggenbestrijding essentieel voor bouw Panamakanaal 107
– Willem Takken
4. Informatie verzamelen voor bestrijding 109
- 4.1 Speuren naar muggenoverdraagbare virussen in dier, mens en omgeving 109
– Hein Sprong & Marieta Braks
- 4.2 Wilde vogels als informatiebron voor ziektebestrijding 113
– Henk van der Jeugd & Judith van den Brand
- Kader** Het eerste signaal van westnijlvirus in Nederland 115
– Maarten Schrama & Tijs van den Berg

- 4.3 Muggen monitoren in Nederland 118
– Arjan Stroo & Marieta Braks
- 4.4 Verklikkerpaarden en -kippen voor het westnijlvirus 122
– Kees van Maanen
- Kader** De ontdekking van de eerste Nederlandse patiënt met westnijlvirus 125
– Chantal Reusken & Hans van den Kerkhof
- 4.5 Meer zicht op het westnijlvirus in mensen 127
– Eelco Franz, Kees van den Wijngaard & Johan Reimerink
- Patiëntenverhaal** Geen corona, maar wat dan wel? 130
– Opgetekend door Stijn Raven
5. **Wat brengt de toekomst ons?** 131
- 5.1 Virus in winterslaap 131
– Maarten Schrama, Rody Blom & Sander Koenraadt
- 5.2 Ons verleden, heden en toekomst met muggen 134
– Marieta Braks & Maarten Schrama
- Kader** Is het malariagevaar geweken? 138
– Marieta Braks & Jeanine Loonen
- 5.3 Epidemieën voorspellen: het is mistig in de glazen bol 140
– Quirine ten Bosch
- 5.4 Innovatieve muggenbestrijdingsmethoden 143
– Sander Koenraadt
- Kader** Muggenbestrijding met steriele insecten 147
– Marieta Braks
6. **Nawoord** 149
Vinger aan de pols in de schaduw van corona 149
– Chantal Reusken & Marieta Braks

Auteurs en bronnen 151

Register 154

INLEIDING – Jaap van Dissel

De hoogst irritante steekmug



Je herkent het vast. Lig je net lekker te slapen, althans bijna, want juist op het moment dat je je veilig waant in Morpheus' armen, is zij daar. Even weet je het nog niet zeker. En ontken je het probleem. Hoor ik dat wel goed? Is het ...? Ach, ja zeker nu, het nabije gezoem van een mug. Even slaat verontwaardiging toe: hoe krijgt ze

het überhaupt voor elkaar, zoveel geluid te produceren met zo'n klein lijfje. Je arm haalt woest uit in het donker. Even neemt het gezoem af, om onverbiddelijk terug te keren. Het steeds wederkerend gezoem drijft je haast tot waanzin. En je weet het, de mug gaat niet weg. Je moet eruit. Met de muggenmepper in de hand zoek je naar het onbeduidende pluisje dat jou uit de slaap houdt. En heb je eenmaal succesvol uitgehaald en zit ze aan het behang geplakt of, nog erger, aan het plafond, dan volgt het onvermijdelijke opruimen van de bloedvlek.

Een bloedvlek? Maar muggen zijn van nature toch vegetariër? Zuingen ze niet alleen vruchtennectar met hun steeksnuif op?

Dit boek helpt je op weg in alle nieuwtjes en wetenswaardigheden over de steekmug. En niet alleen over de snuffelpaaltjes in hun voelsprietten die de bevruchte vrouwtjesmug in de schemering op weg helpt naar

een bloeddonor. Die bloeddonor kan een mens zijn of een ander zoogdier. Ook vogels, reptielen en zelfs amfibieën kunnen soms de bloedhonger stillen. Hun eiwitrijke bloed is essentieel voor de ontwikkeling van de muggeneitjes. Maar met het bloed komen soms ongenode gasten mee die juist op het prikmoment in het bloed van de bloeddonor circuleren, zoals virussen of malariaparasieten. Omdat er zeer veel muggen zijn, die vaak meerdere bloeddonoren prikken en tussen hen ziekteverwekkers verspreiden, is het volksgezondheidsprobleem groot. De gezondheidsschade voor de mens is ruim twintig keer groter dan die van alle gif- en wurgslangen bij elkaar. Eerlijk gezegd, de problemen zijn niet alleen aan de muggen te wijten. De druk reizende mens draagt een steentje bij door ze op te zoeken! Naast globalisering is daar ook nog de klimaatverandering, die de muggen nieuwe kansen biedt op verspreiding, handhaving en prikfeesten.

Infectieziekten waarvoor de komende decennia de grootste veranderingen worden verwacht zijn westnijlkoorts, knokkelkoorts, tekenencefalitis en leishmaniasis. Deze ziekten worden overgedragen door insecten zoals muggen en zandvliegen, en door spinachtigen zoals teken. Dit noemt men vectoren of 'overdragers'. Het zijn koudbloedige dieren waarvan de verspreiding sterk wordt beïnvloed door de omgevingstemperatuur, luchtvochtigheid en dus ook door de huidige klimaatveranderingen. Temperatuur heeft bijvoorbeeld direct invloed op hun gedrag en voortplantingssnelheid, en daardoor op hoe snel ze virussen doorgeven aan een volgend slachtoffer. Ook de toename in het wereldwijde reizen en handelen zorgen ervoor dat muggen en meeliftende ziekteverwekkers in nieuwe gebieden terechtkomen waardoor lokaal uitbraken optreden. Tot slot kunnen ziekteverwekkers hun verspreidingsgebied vergroten door een andere overdrager of gastheer te 'kiezen'.

In dit boek staan steekmuggen en de virussen en parasieten die zij via een beet overbrengen op mens en dier, in de schijnwerpers. Zowel in het nu, als in de geschiedenis. Muggenoverdraagbare infectieziekten hebben een grote stempel gedrukt op het verloop van de menselijke geschiedenis. Zo liep de opmars van Alexander de Grote en zijn leger naar het Verre Oosten waarschijnlijk spaak door een muggenbeet. De veldheer bezweek vermoedelijk aan westnijlkoorts of mala-

ria. Een ander voorbeeld zijn de schepen met tot slaaf gemaakte inwoners uit Afrika die het gevreesde gelekoortsvirus naar de Nieuwe Wereld brachten, met grote uitbraken in de nieuwe steden tot gevolg. Tijdens de eerste jaren van de aanleg van het economisch zo belangrijke Panamakanaal stierven naar schatting meer dan 25.000 arbeiders aan gele koorts, waarna de aanleg tijdelijk werd stilgelegd. En zo zijn er vele voorbeelden!

Ook in onze moderne tijd staan we voor grote uitdagingen hoe we muggenoverdraagbare infectieziekten het beste kunnen voorkomen en bestrijden. De globalisering een halt toeroepen of zelfs terugdraaien is geen realistische optie. Ook mogen we waarschijnlijk blij zijn als de opwarming beperkt blijft tot één of anderhalve graad Celsius, wat al grote gevolgen heeft. Nu al worden er jaarlijks wereldwijd zo'n 220 miljoen mensen via muggenbeten besmet met de malariaparasiet. Daardoor overlijdt een klein half miljoen mensen.

Het denguevirus, dat knokkelkoorts veroorzaakt, besmet jaarlijks wereldwijd zo'n 390 miljoen mensen via muggenbeten. Hiervan wordt zo'n half miljoen mensen zeer ernstig ziek en ongeveer 25.000 overlijden eraan. Het westnijlvirus is een muggenoverdraagbaar virus dat het grootste verspreidingsgebied kent. Het virus komt op alle continenten voor, met uitzondering van Antarctica, en heeft zich ook in Europa de laatste tien jaar aanzienlijk uitgebreid. Nederlandse reizigers naar tropische bestemmingen krijgen dan ook stevast het advies om met malariatabletten, klamboes en DEET op pad te gaan. En als je thuis toevallig een waterpoel met fonteintje hebt, zorg dan voor de juiste vissen en kikkers die helpen om muggen in Nederland te bestrijden.

Hoewel muggenoverdraagbare infecties in het Europese deel van het Koninkrijk der Nederlanden momenteel zeldzaam zijn, is dat in het verleden zeker anders geweest. In het Caribisch deel komen veel van bovengenoemde ziekten nog steeds voor. Ze zijn een hinder voor de bewoners en kunnen de vakanties van toeristen verknallen. De verwachting is dat in de toekomst muggenoverdraagbare infectieziekten ook in Nederland steeds vaker voorkomen. Het opduiken van het usutuvirus in 2016 en het westnijlvirus in 2020 getuigen hiervan.

Dit boek neemt je mee in de wereld van steekmuggen. De tocht voert langs de biologie van muggen en de ziekteverwekkers die zij overdragen, afgewisseld met historische verhalen, anekdotes en leuke weetjes. Wat zijn muggen? Hoe leven ze, waar kun je ze vinden en wat kunnen we doen om muggenbeten te voorkomen? Zijn muggen ook nuttig? Waarom kunnen bepaalde muggensoorten wel virussen overdragen en andere niet? Hoe herken je die muggensoorten die 'gevaarlijk' kunnen zijn? Wat zijn belangrijke virusziekten die muggen verspreiden, hoe komen ze aan hun naam en welke klachten kun je krijgen na een muggenbeet? Waarom is het soms zo moeilijk voor artsen en laboratoriumonderzoekers om vast te stellen wat de oorzaak van je klachten is?

Ook wordt er stilgestaan bij het belang om zicht te houden op de dreigingen en risico's van muggenoverdraagbare infectieziekten in ons koninkrijk en op andere plekken in de wereld waar Nederlanders graag naar toe reizen. En hoe we met dit inzicht kunnen werken aan het voorkomen en terugdringen van infecties, bijvoorbeeld met het oog op onze bloedbanken.

Samen met onderzoekers, artsen, beleidsmakers, patiënten heeft de redactie van Biowetenschappen en Maatschappij duidelijk met veel plezier aan dit boek gewerkt. Ik hoop dat het een tip van de sluier kan oplichten en je je laat verwonderen over de mug en de virussen en parasieten die zij overbrengen.

Als die irritante steekmug je dan toch uit de slaap houdt, kun je de tijd vullen met dit boek.

Veel leesplezier!

1. Overal muggen

1.1 De mug: van ei tot lastpak

– Sander Koenraadt

Je wordt verstoord wakker van heftig gezoem rond je oren. Je doet het licht aan en ziet een dikke, met bloed gevulde mug op de muur zitten. Zucht, te laat! De volgende dag resteert een jeukende bult als aandenken van de nachtelijke bezoeker. Waarom heeft deze mug nu juist mij te grazen genomen? En waarom heeft-ie dat bloed eigenlijk nodig?

Steekmuggen zijn notoire lastpakken. In de zomer zorgen ze vaak voor veel overlast en in de winter lijken ze totaal verdwenen. Steekmuggen zijn er in allerlei maten en kleuren, wereldwijd staat de teller inmiddels op 3586 formeel erkende soorten steekmuggen. Maar dit aantal verandert met enige regelmaat omdat er, op basis van nieuwe inzichten in bijvoorbeeld de genetica, ook weer nieuwe soorten worden ontdekt en beschreven. In het insectenrijk behoort de familie der steekmuggen (Culicidae) tot de muggen (Nematocera) en die vormen samen met de vliegen (Brachycera) de orde der tweevleugeligen (Diptera).

Van ei naar larve

Ondanks al deze variatie hebben muggen allemaal een vergelijkbaar bouwplan en zijn de meeste soorten strikt afhankelijk van bloed om hun levenscyclus te voltooien. De eitjes worden door de vrouwtjesmuggen op of zeer nabij het wateroppervlak afgezet. Muggensoorten van het geslacht *Culex* doen dat in pakketjes van soms wel driehonderd eitjes die netjes in rijtjes aan elkaar geplakt zijn. Andere soorten, onder andere van het geslacht *Aedes*, zetten hun eitjes individueel af en spreiden hun toekomstige nageslacht soms uit over meerdere plekken die water bevatten. *Anopheles*-muggen hebben weer duidelijk herkenbare kleine luchtzakjes aan hun eitjes zitten, waarmee deze prima blijven drijven op het water.

Afhankelijk van de omstandigheden, met name de omgevingstemperatuur, komen de muggeneitjes na enkele dagen uit. De larven zwemmen vrij rond in het water, ze zijn dus aquatisch, maar hebben wel zuurstof uit de lucht nodig om te overleven. De larven hebben daarvoor een klein ademhalingsbuisje, sifon genoemd, aan het uiteinde van hun lichaam. Met dit snorkeltje hangen ze aan het wateroppervlak om zuurstof op te nemen. De larven nemen regelmatig een duik naar beneden om te gaan eten. Daarbij doen zij zich tegoed aan allerlei algen, bacteriën en organisch materiaal. De larven groeien door totdat hun 'jasje' te klein wordt, dan gooien ze hun oude huidje af en gaan door naar het volgende larvenstadium. Op deze manier worden vier stadia afgelegd totdat de volgende grote verandering op poten staat: de verpopping.

Van pop naar mug

Net als de larven zijn ook de poppen mobiel en kunnen ze zich door het water bewegen. De pop eet niet meer, maar is druk bezig met de grote gedaanteverandering tot volwassen mug. Tijdens dit proces, dat enkele dagen duurt, worden onder andere de vleugels aangelegd en de pootjes gevormd.

Eenmaal volgroeid barst de huid van de pop open. De volwassen mug kruipt eruit en gaat met de poten op het wateroppervlak staan. De net uitgekomen mug neemt even de tijd om de huid uit te laten harden en het hemolymfe, het bloed van de mug, rond te pompen, om vervolgens het luchtruim te kiezen.

Partner zoeken

Als volwassen steekmug heeft het vrouwtje twee grote uitdagingen: een mannelijke partner vinden en vervolgens een geschikte gastheer voor een bloedmaaltijd. Voor de paring bestaan er verschillende strategieën, maar meestal komen de mannetjes samen in grote zwermen. Deze muggenwolken zijn soms rond de schemering waar te nemen en zijn eigenlijk één grote orgie: de vrouwtjes komen op deze zwermen af. Eén mannetje is de gelukkige en paart met een invliegend vrouwtje. De daad zelf is binnen hooguit enkele seconden gebeurd. Het vrouwtje slaat het sperma vervolgens op in een speciaal orgaantje, de spermatheca, en doet daar haar hele verdere leven mee (weken tot maanden).

Hoe mannetjes en vrouwtjes elkaar precies herkennen en hoe de vrouwtjes een zwerm weten te lokaliseren, blijft voor de wetenschap nog steeds een raadsel. Waarschijnlijk spelen geuren een belangrijke rol in deze speurtocht. Het is ook bekend dat mannetjes en vrouwtjes hun vleugelfrequenties, en dus hun gezoem, aan elkaar aanpassen als teken van herkenning. Mannetjes hebben namelijk kortere vleugels en moeten meer vleugelbewegingen maken om te vliegen; daardoor maken ze een hoger zoemgeluid dan vrouwtjes.



FEIT OF FABEL? De muggen van een muggenzwerm bijten niet

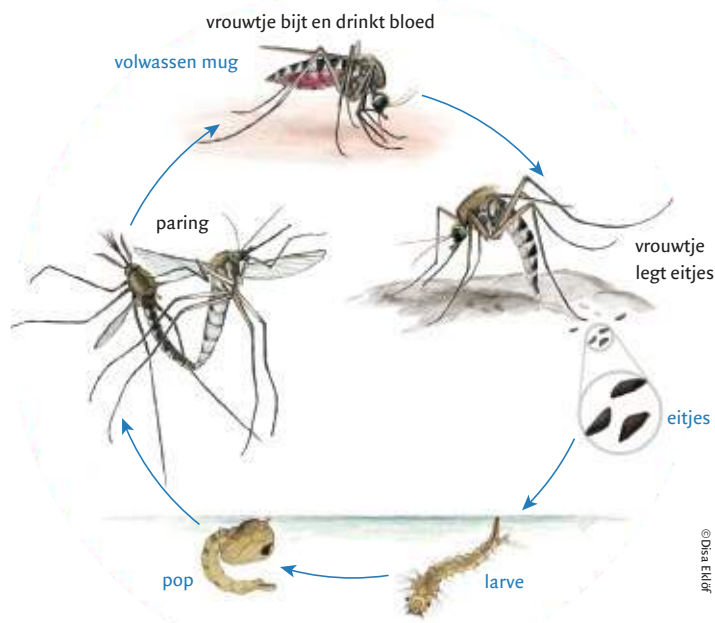
FEIT De zwerm muggen of vliegen die vaak 's avonds in de tuin dansen, kunnen grasvliegjes, dansmuggen of een zwerm steekmuggenmannetjes zijn. Ze behoren wel tot de orde der Diptera (tweevleugeligen), maar ze bijten niet.

Bloed prikken

De vrouwtjesmuggen gaan vervolgens op zoek naar bloed van een bepaalde gastheer. Ze hebben de eiwitten en andere stoffen uit het bloed nodig als bouwstoffen voor de aanleg van hun eitjes. De aanwezigheid van hogere concentraties koolstofdioxide (CO₂) uit de adem van gewervelde dieren is een eerste belangrijke aanwijzing voor steekmuggen dat er iets te halen valt. Mannetjesmuggen leven alleen van plantensappen, die ze met hun steeksnuif opzuigen.

Verschillende soorten steekmuggen hebben zo hun eigen voorkeur

LEVENSZYCLUS VAN EEN AEDES MUG



Figuur 1. Levenscyclus van de steekmug Aedes. Bron: ECDC/EFSA, 2021. Tekeningen: Disa Eklöf

waar ze hun bloed vandaan halen. Sommige bijten bij voorkeur mensen, andere houden meer van koeien, varkens, schapen of vogels. Zelfs reptielen en amfibieën kunnen de pineut zijn. De uitdaging voor het vrouwtje is natuurlijk om de juiste gastheer te lokaliseren. Ook hierbij spelen geurstoffen een belangrijke rol. Van muggen die op zoek zijn naar mensen is bekend dat ze afgaan op stoffen zoals ammonia, melkzuur en andere vetzuren. Deze geurstoffen stoot elk mens in meer of mindere mate uit, en de samenstelling van dat geurmengsel bepaalt hoe aantrekkelijk iemand is, voor een mug dan.

De steekmug is waarschijnlijk het meest gehate beestje ter wereld en heeft een grote impact op ons dagelijkse leven. Van de Dalai Lama is de treffende uitspraak: 'Als je denkt dat je te klein bent om een verschil te maken, probeer dan maar eens met een mug te slapen.'

Ken uw muggen

– Wim Van Bortel, Olivier Briët & Arjan Stroo

De ene mug is de andere niet. Wereldwijd zijn er ongeveer 3500 soorten steekmuggen, in Nederland komen meer dan dertig soorten voor. Steekmuggen zijn vervelend en veroorzaken hinder, en sommige soorten kunnen ziekteverwekkers overdragen. Er zijn steekmuggen die virussen overdragen, zoals het denguevirus of het zikavirus, andere dragen juist weer parasieten over, zoals de malariaparasiet.

Het is daarom belangrijk om muggen te identificeren. Zo weten we met welke soort we te maken hebben en of ze ziekteverwekkers kunnen overdragen. Hiervoor kijken muggenexperts naar de kleuren op de poten, de vleugels en het lichaam van de steekmug. Dit is niet eenvoudig, want de verschillen zijn soms klein. Sommige soorten kunnen we helemaal niet op basis van uitwendige kenmerken onderscheiden. Hiervoor is een genetische analyse in een gespecialiseerd laboratorium nodig.

Het identificeren van steekmuggen is werk voor experts, maar ook leken kunnen een steekmug in grote lijnen van andere insecten onderscheiden. Een opvallend kenmerk is de schuin naar voren wijzende naaldvormige steeksnuut die wordt gebruikt om nectar op te zuigen, en ook bloed als het een vrouwtjesmug is. Andere kenmerken zijn zes relatief lange dunne poten, vleugels met schubben en twee (veerachtige) antennes.

Ongeveer 2 procent van de muggen (Nematocera) in Nederland is een steekmug. Steekmuggen (Culicidae) zijn gemakkelijk te verwarren met bijvoorbeeld dansmuggen (Chironomidae) of langpootmuggen (Tipulidae), maar deze insecten hebben geen steeksnuut en drinken geen bloed (zie figuur 2). Verder zijn er nog de knutten of knijten (Ceratopogonidae) en kriebelmuggen (Simuliidae) die wel bloed drinken, ook al hebben zij geen lange steeksnuut.

Na dit hoofdstuk (blz 38) staat uitgebreide informatie over twee inheemse soorten: de huissteekmug (*Culex pipiens*) en de

STEEKMUG



steekmuggen - Culicidae (*Culex pipiens* – vrouwtje)

- muggen met een lange steeksnuit [1]
- vleugels met schubben
- lange poten
- afmeting 3-6 mm

DANSMUG



dansmuggen - Chironomidae

- korte monddelen [1]
- bochel [2]
- geen schubben op de vleugels
- achterlijf meestal langer dan vleugels [3]

LANGPOOTMUG



langpootmuggen - Tipulidae

- geen lange steeksnuit
- doorgaans veel groter dan steekmug
- zeer lange poten
- afmeting 7-40 mm

Figuur 2. Het verschil tussen de steekmug en twee andere muggenfamilies die zich niet met bloed voeden. Bron: ECDC/EFSA/NVWA, 2021. Foto's: Anders Lindström

grote steekmug (*Culiseta annulata*), en over twee invasieve exotische soorten: de Aziatische tijgermug (*Aedes albopictus*) en de gelekoortsmug (*Aedes aegypti*). De huissteekmug is de meest voorkomende steekmug in Nederland, de grote steekmug wordt door leken vaak verward met de Aziatische tijgermug, de meest ongewenste invasieve exoot. De gelekoortsmug is wereldwijd de belangrijkste verspreider van virussen en wordt ook in Nederland sporadisch geïntroduceerd.

Deze informatie komt uit de Soortzoeker invasieve steekmuggen in Europa. De soortzoeker is gemaakt in opdracht van het Europees Centrum voor ziektepreventie en -bestrijding (ECDC) en

in het Nederlands vertaald door de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) om invasieve steekmuggen te onderscheiden van inheemse muggen. De soortzoeker is te vinden op <https://www.eis-nederland.nl/steekmuggen>.

1.2 Wie eet wie? De plaats van de mug in het voedselweb

– Maarten Schrama, Sam Boerlijst & Mees van Horssen

Wat betreft hun plek in het voedselweb zijn steekmuggen fascinerende beestjes. Terwijl muggenlarven vrijwel uitsluitend bacteriën en algen eten, halen volwassen muggen, zowel mannetjes als vrouwtjes, hun energie voornamelijk uit plantensuikers. Op hun beurt vormen muggen een belangrijk onderdeel van het dieet van andere dieren, zowel op land als in het water. Toch staan muggen niet helemaal onderaan de voedselketen. Muggenvrouwtjes hebben eiwitten nodig voor het leggen van eitjes en zijn daarom voor een bloedmaaltijd afhankelijk van dieren uit de hoogste treden van de voedselketen, waaronder vogels, amfibieën en zoogdieren (zoals de mens). Een mug is daarmee eigenlijk ook een soort toppredator.

Veilige oases

Muggen zijn uitstekende pioniers als het erom gaat nieuw ontstane broedplekken te koloniseren. De vrouwtjes leggen hun eitjes in tijdelijke waterlichamen zoals poeltjes, boomholten, bromelia's en andere containers gevuld met (regen)water. Ook autobanden, emmers, bierblikjes en regentonnen zijn tegenwoordig erg in trek als plek om zich voort te planten. Deze habitats (leefgebieden) hebben een aantal zaken gemeen. Enerzijds warmen ze zeer snel op, wat zorgt voor een hoge ontwikkelingssnelheid van zowel de koudbloedige larven als de microben waarmee zij zich voeden. Hierdoor kunnen muggen zich in deze milieus bijzonder snel ontwikkelen; in minder dan twee weken van ei tot volwassen mug. Anderzijds zijn deze broedplekken meestal (nog) niet gekoloniseerd door hun predatoren (natuurlijke vijanden),



Figuur 3. Een wildrooster is een voorbeeld van verborgen voorplantingsplekken voor muggen. © Sam Boerlijst

waardoor de muggen zich veilig tot volwassen mug kunnen ontwikkelen. De meest efficiënte muggeneters – amfibieën, bootsmannetjes en libellenlarven – zijn eenvoudigweg trager in het koloniseren van nieuwe habitats.



MUGGENFEITJES

- Er zijn ongeveer 3500 steekmugsoorten in de wereld.
- In Nederland komen 36 inheemse steekmugsoorten voor.
- Een steekmug weegt gemiddeld 5 mg.
- De grootte van een steekmug ligt tussen 0,3 en 0,6 cm.
- Muggen hebben een topsnelheid van 1 km per uur, maar dat houden ze maar heel kort vol.
- Strikt gezien steken steekmuggen niet, maar bijten en zuigen ze met hun monddelen. Insecten met een angel, die steken!
- Een mug heeft twee tot vijf minuten nodig om zich helemaal vol te zuigen.
- Een mug zuigt ongeveer 3 mg bloed op, dat is 0,003 ml.

Muggenlarveneters

Toch loert ook in tijdelijke poeltjes gevaar. Amfibieën zoals salamanders en kikkers eten graag muggenlarven en zijn uitstekend in staat om na verloop van tijd de tijdelijke waterpoeltjes te koloniseren. Een amfibievriendelijke tuin met schuin aflopende oevers, voldoende vegetatie en aanwezigheid van dood hout is daarom niet alleen een goed idee voor gezonde amfibieënpopulaties maar voorkomt ook overlast door muggen. Verder is deze omgeving aantrekkelijk voor andere waterdiertjes die het op muggenlarven hebben voorzien, zoals libellenlarven, bootsmannetjes en waterspinnen.

Muggenlarven eten elkaar overigens ook op, met name de grotere muggenlarven staan bekend om hun kannibalistische gedrag. Larven van sommige muggensoorten zoals die van de olifantsmug (*Toxorhynchites* spp.) hebben het op muggenlarven van andere soorten voorzien. Deze muggen nemen zo voldoende eiwitten op tijdens het larvenstadium waardoor ze als volwassen olifantsmug geen bloed meer nodig hebben. Helaas komen deze muggensoorten in Nederland niet voor.

Niet alle muggensoorten komen voor in tijdelijke wateren. Van malariamuggen (*Anophelinae*) is bekend dat ze veelal in permanente wateren zitten, net als de gewone huissteekmug (*Culex pipiens*). Op deze plekken zijn vissen zoals stekelbaarsjes zeer efficiënte muggeneters. In andere delen van de wereld worden vissoorten zoals guppies en muskietenvisjes speciaal uitgezet voor het klein houden van muggenpopulaties, bijvoorbeeld in ondergrondse waterreservoirs (cisternen) in Caribisch Nederland. Sommige muggensoorten hebben trucs bedacht om te ontsnappen aan predatie in permanente wateren. Een mooi voorbeeld is de plantenboorsteekmug, *Coquillettidia richardii*, die als larve ademt via stengels van waterplanten, en daardoor alleen maar tussen de planten uit hoeft te komen om zich te ontpoppen (zie ook 1.3 Muggendiversiteit van moeras tot stad).

Het bestrijden van muggen met predatoren kan langduriger werken dan bestrijdingsmiddelen tegen larven (larviciden). Larviciden zijn slechts drie tot zes weken actief en worden daarna afgebroken, terwijl predatoren in de omgeving aanwezig blijven. Dit geldt uiteraard niet in zeer tijdelijke habitats. In tuinen is het daarom interessant om hoge aantallen snel verspreidende predatoren te introduceren om plaatselijk muggenpopulaties te onderdrukken.



Figuur 4. Ook veel spinnen doen zich tegood aan volwassen muggen, zoals de zebraspring-spin (*Salticus scenicus*) © Sam Boerlijst

De beste broedplek zoeken

Behalve naar de afwezigheid van predatoren zoeken vrouwtjesmuggen ook actief naar de meest voedselrijke poel voor hun kroost. Vrouwelijke muggen kunnen bijvoorbeeld ‘proeven’ of de microbiële samenstelling van een waterpoel geschikt is en of er andere muggen zijn die eerder voor dezelfde plek hebben gekozen. Dat is een teken dat het een geschikte poel is en de kans is kleiner dat de larven worden opgegeten. Daarnaast zoeken veel soorten naar zuurstofarme, voedselrijke plekken waarin predatoren niet goed gedijen. Muggen gedijen zelf uitstekend in dit soort milieus, omdat ze ademen via een adem-buisje (sifon) aan het achterlijf.

Muggen als snack

Volwassen muggen staan prominent op de menukaart van vliegende insecteneters zoals vleermuizen en vogels. In de meeste gevallen gaat het echter niet om steekmuggen maar om de nauw verwante dansmuggen. Deze muggen hebben geen steeksnuiter en kunnen daarom ook niet bijten.

Dat vleermuizen ook steekmuggen eten is recent aangetoond in studies die sporen van steekmuggen-DNA in vleermuizenpoep hebben aangetroffen. De kleinere soorten zoals dwergvleermuis en water-vleermuis lijken meer steekmuggen te eten dan grotere soorten. Die vangen meer grote insecten, zoals nachtvlinders. Van kleinere soorten vleermuizen is ook bekend dat ze de verplaatsing van volwassen steekmuggen in een landschap volgen, wat een indicatie is dat muggen een onderdeel zijn van het dieet. Of steekmuggen daadwerkelijk de hoofd-moot van het vleermuizendieet vormen, is echter niet bekend. Evenmin is bekend of de aanwezigheid van vleermuizen invloed heeft op de hoeveelheid muggen in de omgeving (wat vaak wordt geclaimd).

Wat wel zeker is, is dat mensen op het menu staan van de mug, waarschijnlijk al vanaf het moment dat de mens haar intrede op deze planeet deed.

1.3 Muggendiversiteit van moeras tot stad

– Arjan Stroo

Overal in Nederland komen steekmuggen voor, maar niet overal dezelfde soorten en hoeveelheden. De omgevingsfactoren die bepalen waar welke soorten kunnen leven, hebben vooral te maken met de eisen die de muggen stellen aan de plek waar de larven kunnen opgroeien. De voorkeur van de volwassen mug zelf speelt minder duidelijk een rol; de relatie met hun omgeving is meestal niet erg specifiek en daardoor ook minder sturend.

Voedsel zoeken

Alle volwassen steekmuggen halen voedingsstoffen uit plantensappen en de vrouwtjes bijten daarnaast gastheren voor een bloedmaaltijd. In Nederland zijn er echter geen plantensoorten waarvoor muggen een allesbepalende rol als bestuiver spelen en omgekeerd is

geen enkele mug sterk afhankelijk van één bepaalde nectarbron.

De bloemen die muggen voor hun nectar bezoeken zijn allerlei schermbloemigen, zoals fluitenkruid, die geen specifieke relatie met hun bestuivers hebben. Plantensoorten zoals de oorsilene hebben meer specifieke bestuivers: bepaalde soorten muggen, vliegjes en nachtvindertjes.

Ook bij de keuze voor een bloedmaaltijd bestaan er geen echt soortspecifieke relaties. Wel hebben veel steekmuggen voorkeur voor bepaalde hoofdgroepen, sommige soorten bijten uitsluitend vogels, terwijl andere liever zoogdieren verkiezen. De mug *Culex territans* bijt als enige muggensoort in ons land bij voorkeur kikkers of andere amfibieën.



FEIT OF FABEL? Mannetjessteekmuggen zuigen geen bloed, dus hebben ze ook geen steeksnuit

FABEL Alle steekmuggen hebben een lange steeksnuit, zowel de mannetjes als de vrouwtjes. Hiermee zuigen ze plantensappen op. Alleen de vrouwtjes gebruiken hem ook om bloed op te zuigen.

Beschutte en vochtige plekken

Behalve enig verschil in voedselzoekgedrag hebben volwassen steekmuggen ook een voorkeur voor een bepaald terreintype. Niet elke soort kan even goed omgaan met droge omstandigheden en veel muggen mijden liever open terrein. Ook al zijn hierop weer uitzonderingen. Zo wordt de Nederlandse malariamug *Anopheles maculipennis* bijvoorbeeld veelvuldig aangetroffen in veenweidelandschappen, zelfs als beschutting ontbreekt. Ook enkele *Aedes*-soorten, zoals *Aedes flavescens*, komen graag in open gebieden voor waar ze hun eitjes afzetten in de modder van opdrogende plassen. Het volgende voorjaar komen die eitjes dan uit.

Aan het andere eind van het spectrum staan de echte bosbewoners, zoals *Aedes geniculatus*. De keuze voor het bos heeft, naast een voorkeur voor beschutte plekken met een hoge luchtvochtigheid, ook te maken met de plek waar de larven opgroeien. *Aedes geniculatus* zet haar eitjes af in boomholten of plekken tussen boomwortels waarin regen-

water blijft staan. Voor veel muggensoorten is uiteindelijk een goede plek voor de larven de doorslaggevende factor die de aanwezigheid in een bepaalde omgeving bepaalt.

Op landelijke schaal is er een duidelijke scheiding tussen steekmuggen die vooral voorkomen in de zandgrondgebieden van Nederland, zoals *Aedes communis*, en muggen die algemeen zijn in klei- en veengebieden, bijvoorbeeld *Aedes caspius*. In de klei- en veengebieden leven vooral soorten die een voorkeur hebben voor brakke wateren, zoals *Anopheles atroparvus* of *Aedes detritus*, waarvan de larven zelfs tussen zeekraal kunnen leven. Behalve zouttolerantie kunnen ook de zuurgraad (pH) en voedselrijkdom de geschiktheid bepalen.

Een bijzondere leefomgeving (biotoop) zoals het hoogveen kent veel specifieke insectensoorten. Steekmuggen leven er graag omdat er in de kleine, zure en voedselarme poeltjes weinig concurrentie is. De larven van *Aedes punctor* en *Aedes cinereus* (zie kader 1.3 Griendtsveen, pittoresk dorp of eldorado voor steekmuggen?) kunnen goed met die omstandigheden omgaan en hoewel die soorten geenszins tot hoogvenen beperkt zijn, komen ze er wel in hoge dichtheden voor.

Griendtsveen, pittoresk dorp of eldorado voor steekmuggen?

– Piet Verdonschot

Het eens zo uitgestrekte hoogveengebied De Peel werd vanaf de Middeleeuwen gebruikt voor schapenbeweidings en kleinschalige turfwinning. Ook toen al huisden er moerassteekmuggen in de zompige poeltjes die aan het eind van het voorjaar weer opdroogden. Waarschijnlijk ondervonden alleen schapenhoeders en turfstekers daar last van, want wonen deed men niet in dit gebied, waar rond het jaar 300 nog Romeinse krijgers in verdwenen.

Tot na de Middeleeuwen bestond het landschap uit veenmos en was het waterpeil stabiel, wat voorkwam dat de poeltjes opdroogden. Hierin gedijen veel waterdieren, zoals rovende insecten die de steekmuglarven opeten.

Door grootschalige ontginningen rond 1900 veranderde dit

landschap in landbouwgrond. Wat restte, waren versnipperde, natte veengebieden. Daarin ontstonden duizenden laaggelegen poeltjes: 's winters gevuld met venig, zuur water en 's zomers opgedroogd door de ontstane instabiele grondwaterstand door de landbouw. Hierdoor verdwenen de natuurlijke vijanden van de steekmuggen en ontstond een waar eldorado voor de gewone moerassteekmug, *Aedes cinereus*.

Toen de Peelrestanten tot Natura 2000-gebied werden aangewezen, was dat het startsein voor vérgaand herstel van de waterhuishouding. Met de aanleg van kaden, dammen en stuwen probeerde men een hoger en stabiel waterpeil te realiseren, dat goed is voor het veenmos en slecht voor de steekmug.

Deze 'vernattingsmaatregelen' leidden bij de bewoners van het dorpje Griendtsveen, pal naast de veenrestanten Mariapeel en Deurnesche Peel, echter tot protest. Ze hadden al jarenlang overlast van steekmuggen en vreesden juist een grote toename door deze maatregelen. Daarom is sinds 2015 de steekmuggenpopulatie nauwkeurig gevolgd. De klachten van de bewoners bleken niet ongegrond. Hoewel de overlast door de gewone moerassteekmug in de daaropvolgende jaren jaarlijks en niet steeds in dezelfde periode optrad, bleken de muggenaantallen wel afhankelijk van het weer en de waterhuishouding van het gebied: de grondwaterstand, bodemsamenstelling en gebiedsrichting.

Aan het weer is niets te doen, maar met slim waterbeheer is wel een hoger en stabiel waterpeil mogelijk. Met die opdracht gaat Staatsbosbeheer de komende jaren aan de slag om de muggenoverlast voor het dorp te verminderen.

Larven verstoppen

Omdat muggenlarven opvallende zwemmers zijn en geen verdedigingswapens hebben om zich predatoren van het lijfte houden, komen ze bij voorkeur voor op plekken waar ze zich goed kunnen verstoppen of waar weinig predatoren leven. Verstoppen gaat goed in oeverzones of tussen waterplanten. Zo worden *Anopheles*-larven aangetrof-

fen in relatief groot open water, zoals plassen en vaarten, zolang daar maar drijvende waterplanten zijn die voor schuilplekken zorgen. *Anopheles*-larven hebben dan vaak ook groenige tinten. Een bijzonder voorbeeld van het gebruik van waterplanten vertoont *Coquillettidia richiardii*, waarvan de larven de stengels van waterplanten gebruiken als bron van zuurstof. Ze hoeven dan niet langer naar het wateroppervlak te zwemmen om adem te halen, maar prikken in plaats daarvan hun speciaal aangepaste adembuisje in het luchtkanaal van bijvoorbeeld een lisdodde.

Tijdelijke broedplekken

Veel soorten kiezen voor tijdelijke wateren voor de ontwikkeling van hun larven en ontlopen op die manier dat ze worden opgegeten. De zogenoemde *floodwater-mosquitoes*, 'overstromingsmuggen', leggen hun eitjes op de oever of op plekken waar in het voorjaar door hogere waterstand plassen ontstaan. Een bekende veroorzaker van overlast, *Aedes vexans*, volgt bijvoorbeeld deze strategie. De larven ontwikkelen zich op overstromde grassige oevers, of in wilgenstruweel of rietpercelen waar het water tijdelijk boven het maaiveld staat.

Ook door de keuze voor kleine broedplekken kan predatie worden vermeden. De belangrijkste exotische indringer in Nederland, de Aziatische tijgermug (*Aedes albopictus*), is zo'n uitgesproken *container breeder* die haar eitjes voornamelijk in kunstmatige broedplekken legt zoals regentonnen, bloempotten en vogelbadjes, kortom overal waar regenwater blijft staan in objecten met een rand van hard materiaal. De tijgermuggen leggen hun eitjes op die rand, in de buurt van het wateroppervlak. Door deze voorkeur voor broedplekken zijn ze gebonden aan bewoonde gebieden, waar zulke objecten te vinden zijn. Dit geldt ook voor andere exoten zoals de Aziatische bosmug (*Aedes japonicus*) en de gelekoortsmug (*Aedes aegypti*). Onder de inheemse muggen hebben de huissteekmug (*Culex pipiens*) en de grote steekmug (*Culiseta annulata*) een voorliefde voor dit type broedplek. Doordat deze soorten hun eitjes als vlotjes drijvend op het water afzetten, zijn ze bovendien niet afhankelijk van een harde rand. Ze komen dan ook bijna overal voor. Aangezien ze bij hun verspreiding gebruikmaken van de mogelijkheden die de mens hen biedt, worden ze cultuurvolgers genoemd.



Figuur 5. Sommige muggensoorten leggen honderden eitjes netjes naast elkaar in pakketjes die als vlotjes op het water drijven. Hier legt de huissteekmug een eipakketje op het wateroppervlak van een kommetje met water. © Maarten Schrama

Muggen in de stad

– Jan Buijs & Floris Brekelmans

Veel mensen denken bij muggen aan plekken in de vrije natuur, zoals sloten, vochtige bossen of moerassen. Maar muggen kunnen ook in steden, gebouwen, huizen en tuinen prima leven, zolang er maar stilstaand water aanwezig is om eitjes in te leggen en larven te laten groeien.

In voorgaande winters kwamen er vooral uit oude wijken meldingen van muggenoverlast binnen bij de gemeente Amsterdam en muggenradar.nl. Mensen waren radeloos door het gezoem

en gebijt. Het eerste advies was om de bron met stilstaand water op te sporen. Bij die zoektocht vonden woningeigenaren, soms met wat hulp van bestrijders of gemeenteadviseurs, waterplassen in hun kruipruimten. Deze zaten vol met muggenlarven van de gewone huissteekmug (*Culex pipiens*). Een oplossing hiervoor is de kruipruimte op te vullen met zand of meer isolerende materialen, zoals schelpen of kleikorrels. Of, als de oorzaak een lekke leiding of afvoerbuï was, deze te laten repareren en het water weg te pompen.

Ook buiten woningen leven muggenlarven soms op verrassende plekken. In Utrecht werden bezoekers en omwonenden van een oude begraafplaats overdag fel gebeten door muggen. Op basis van foto's kon de dader worden geïdentificeerd: het was de loodgrijze malariamug (*Anopheles plumbeus*). Boomholten met een laagje water vormen de natuurlijke biotoop van de muggenlarven: uit het water filteren ze hun voedsel, waaronder houtstoffen (lignine). Maar onderzoek in boomholten op de begraafplaats leverde niets op. Al snel daarna rees het vermoeden dat de muggen een andere broedplek hadden gevonden. De eerste bemonstering was direct raak: de larven bleken te leven in ondergelopen grafkelders. Net als in de kruipruimten in Amsterdam was hier de oplossing de grafkelders te vullen met zand of grind om overlast door deze steekmug te beperken.



FEIT OF FABEL? Muggen bijten mensen alleen 's nachts, vogels bijten ze overdag

FABEL Dat hangt af van de muggensoort. In Nederland komen meer dan 30 steekmuggensoorten voor. De muggen die mensen lastigvallen, zijn grofweg in drie groepen in te delen:

- 's nachts: malariamuggen (*Anopheles*)
- schemering: huissteekmuggen (*Culex*)
- overdag: invasieve exoten (*Aedes*), zoals de tijgermug en de gelekoortsmug

1.4 Exotische muggen, nieuwkomers en frequente bezoekers

– Adolfo Ibáñez-Justicia & Frans Jacobs

Door de globalisering, de toename van het handelsverkeer en onze toegenomen reislust is de kans op ongemerkt transport van uitheemse planten- en diersoorten (inclusief muggen) over de wereld steeds groter geworden. Zo zijn er de afgelopen tien jaar meerdere exotische steekmuggen in Nederland opgedoken, met name van het muggengeslacht *Aedes*. Deze muggensoorten leggen eitjes die koude of droge seizoenen goed kunnen overbruggen.

Wanneer de mug deze eitjes legt in goederen die internationaal worden verhandeld, zoals tweedehands banden, liften ze makkelijk mee naar andere landen. Zo is bekend dat de Aziatische tijgermug (*Aedes albopictus*) op deze manier regelmatig in ons land wordt geïntroduceerd.

Lucky Bamboe en autobanden

Het eerste signaal van tijgermuggen in Nederland stamt uit 2005. Een groothandel in bloemen en planten maakte melding van overlast van steekmuggen in een kas waar de sierplant Lucky Bamboe (*Dracaena sanderiana*) werd opgekweekt voor verdere export binnen Europa. De stekjes kwamen uit Zuidoost-Azië. De tijgermug komt van nature in Zuidoost-Azië voor en legt haar eitjes in plekken met stilstaand water net boven het wateroppervlak of op een plantenstengel in contact met water. Ook de stengels van jonge Lucky Bamboe-plantjes krijgen op die manier eivormige passagiers voordat ze op reis naar Nederland gaan. In de kassen worden deze plantjes weer in water gezet, samen met de muggeneitjes. Eenmaal in contact met het water ontwikkelen de eitjes zich via larven en poppen tot volwassen muggen, die vervolgens voor overlast zorgen.

Een andere veelvoorkomende invoerroute van exotische of invasieve muggen is de internationale handel in gebruikte autobanden. Via deze route kwam in 2009 de eerste melding van een invasieve mug in Nederland, de Amerikaanse rotspoelmug (*Aedes atropalpus*). Sinds 2010 duikt elk jaar de tijgermug op bij bedrijven die handelen in twee-

dehands banden. Meer incidenteel zijn via deze route ook andere muggensoorten geïntroduceerd zoals de gelekoortsmug (*Aedes aegypti*), de Aziatische bosmug (*Aedes japonicus*), een Japanse soort (*Aedes flavopictus*) en recent de Koreaanse bosmug (*Aedes koreicus*).



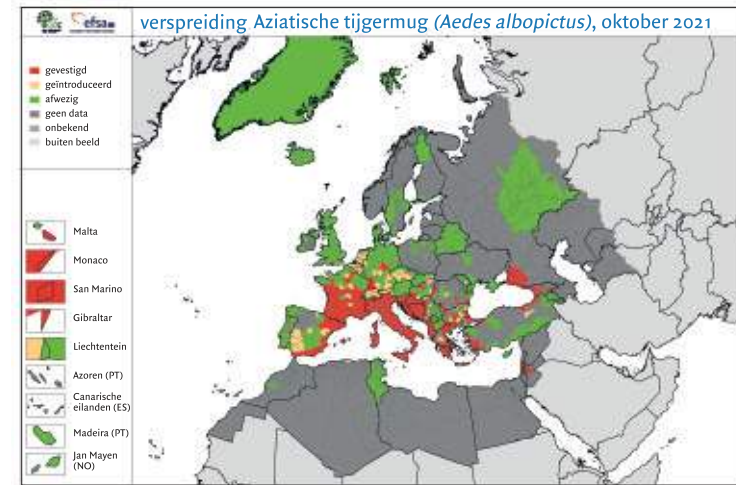
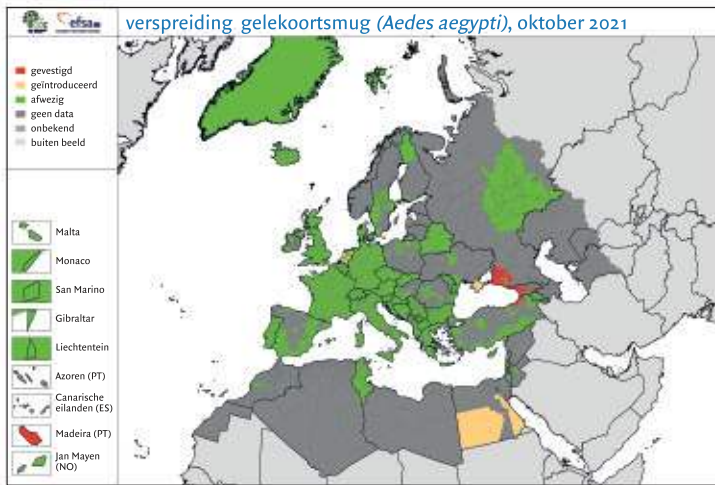
FEIT OF FABEL? Spijkerstof is zo dik dat muggen er niet doorheen kunnen bijten

FABEL Bedekkende kleding helpt om het aantal beten te verminderen, maar spijkerbroekstof is niet te dik voor de mug. In het algemeen geldt wel: hoe dikker de stof, des te lastiger het is voor de mug om er doorheen te prikken.

Verspreiding over Europa

De Aziatische tijgermug werd in Europa voor het eerst gesignaleerd in 1979 in Albanië, en in het midden van de jaren tachtig ook in de Verenigde Staten en Brazilië. Na een snelle kolonisatie van grote delen van de wereld dook de tijgermug in de jaren negentig ook op in Noord-Italië via import van gebruikte banden. Vanaf Italië begon een verdere opmars naar aangrenzende landen in Europa. Het is bekend dat volwassen tijgermuggen makkelijk kunnen meeliften met (vracht)auto's. Door het snelle transport via het Europese hoofdwegennet kunnen ze levend andere locaties bereiken zoals de eindbestemming of rustplaatsen langs de snelweg.

Op de Nederlandse toegangswegen zijn er in 2020 voor het eerst eitjes van de tijgermug gevonden in muggenvallen bij tankstations en wegrestaurants langs de snelweg in Noord-Brabant. Deze eitjes zijn hoogstwaarschijnlijk afkomstig van zwangere vrouwtjesmuggen die in auto's, caravans of vrachtwagens vanuit Zuid-Europese regio's waren meegelift naar Nederland. Op de Brabantse parkeerplaatsen vonden de muggen een broedplek en legden hun eitjes. Deze bevindingen versterken het vermoeden dat dit de invoerroute is van de tijgermuggen die sinds 2016 elk jaar in woonwijken worden gevonden. Behalve de vrouwtjes kunnen ook eitjes en larven meeliften via goederen uit het zuiden.



Figuur 6a, 6b [rechts]. De huidige bekende verspreiding van de gelekoortsmug en de Aziatische tijgermug in Europa (oktober 2021). Bron: ECDC/EFSA

Vestiging van tijgermug voorkomen

Eenmaal in Nederland treffen tijgermuggen in woonwijken allerlei geschikte broedplekken aan met stilstaand water. Het gaat dan bijvoorbeeld om met regenwater gevulde emmers, vijvers zonder vissen of met veel beplanting, of niet afgedekte regentonnen. Ook plastic speelgoed of parasolvoeten met een klein laagje water kunnen fungeren als geschikte broedplekken voor de tijgermug. Vondsten van exotische muggen worden gedaan tijdens inspecties door de overheid op hoogrisicolocaties zoals kassen, bedrijven die handelen in tweedehands banden en invoerhavens, of door burgers in woonwijken. Alle meldingen worden volgens het draaiboek van het uitroeiingsprogramma afgehandeld (zie 3.6 Steekmuggenbestrijding).

Aziatische bosmug in Nederland

Ondanks de vele introducties is door dit uitroeiingsprogramma vestiging van de tijgermug tot nu toe voorkomen. Helaas heeft een andere exotische muggensoort, namelijk de Aziatische bosmug zich wel permanent weten te vestigen. Deze muggensoort werd in 2012 voor het eerst opgemerkt in de gemeente Lelystad in een van de honderden

muggenvallen van de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit. Na verder onderzoek bleek dat de soort zich al had verspreid door de hele Flevopolder.

De bosmug kan in bossen bijvoorbeeld met water gevulde boomholten gebruiken als broedplek. Door de goede aanpassing aan het Nederlandse klimaat, de aanwezigheid van populaties in dichtbijgelegen delen van België en Duitsland, en het gebruik van bossen als leefomgeving is het te verwachten dat deze soort binnenkort ook andere gebieden in Nederland koloniseert.

Met het vliegtuig

Recent onderzoek op luchthaven Schiphol laat zien dat gelekoortsmuggen, tijgermuggen en andere exotische muggensoorten (waaronder malariamuggen) ook worden ingevoerd via de cabine en de bagagecontainers van vliegtuigen. De invoer via deze route wordt gefaciliteerd door grote muggenpopulaties in de buurt van de luchthavens van herkomst, waarvandaan de muggen passagiers of bagagemedewerkers volgen en terecht komen in de cabine of in bagagecontainers. Deze muggen bereiken Schiphol binnen enkele uren (zie ook kader 2.3 Luchthavenmalaria in België).

De aanwezigheid van exotische steekmuggen in Nederland is onge-

Help! We hebben een muggenplaag in huis

– Adolfo Ibáñez-Justicia & Frans Jacobs

In april 2019 kreeg de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) een melding van muggenoverlast in een woonkamer in Huizen. Volgens de bewoonster was de muggenplaag al sinds februari aan de gang. Ze had ook duidelijke foto's van de steekmuggen meegestuurd. Medewerkers van de NVWA wisten de muggen op basis van de foto's te identificeren als gelekoortsmuggen (*Aedes aegypti*), een voor Nederland exotische muggensoort. Bij inspectie van de woonkamer werd deze bevinding bevestigd met de vangst van zowel volwassen exemplaren als larven uit water in de plantenspotten.

Het antwoord op de vraag hoe deze tropische muggensoort in een Nederlandse huiskamer terecht kwam, er kon overleven en zich zelfs wist te vermenigvuldigen, was te vinden in de reisgeschiedenis van de bewoonster en de temperatuur in haar woonkamer. De bewoonster, een enthousiast hobbyist in kamerplanten, vertelde dat ze vaak het Caribisch gebied bezoekt. Tijdens de laatste reis had ze stekjes van de agave meegenomen. In Nederland had ze de stekjes in water gezet om ze te laten wortelschieten, een bekende stekmethode. Het probleem was dat gelekoortsmuggen de stekjes als broedplek hadden uitgekozen en er eitjes op hadden afgezet. Toen de gelekoortsmuggeneitjes op deze stekjes in Nederland in contact kwamen met water, ontwikkelden ze zich via larven en poppen tot overlast veroorzakende volwassen muggen. De bewoonster zat er graag warmjes bij en hield de huiskamer op 24 °C, een temperatuur die gunstig is voor de ontwikkeling van de eitjes tot volwassen muggen. Bij de bewoners konden de muggen vervolgens makkelijk een bloedmaaltijd nemen en de aanwezigheid van water onder in de potten van de orchideeën elders in de kamer, zorgden voor geschikte nieuwe broedplekken in deze subtropische woonkamer. Door de broedplekken te verwijderen en muggenvallen te plaatsen werden de problemen uiteindelijk snel opgelost.



Figuur 7a. Mogelijke broedplekken voor muggen in de tuin na een regenbui.

wenst en wordt om die reden gemonitord. Bestrijding is cruciaal om te voorkomen dat deze exoten zich vestigen, met name de tijgermug, en om de kans te verkleinen dat overdracht van virusziekten zoals dengue, chikungunya en zika ook in Nederland kan plaatsvinden.

1.5 Geef muggen geen kans

– Marieta Braks & Arjan Stroo

Steeds meer gemeenten en ook bewoners zijn actief om de openbare ruimte en eigen terreinen te vergroenen en regenwater vast te houden zodat het niet direct het riool inloopt. Bewoners worden daarvoor gevraagd om in hun eigen tuin bijvoorbeeld tegels te verwijderen en een regenton te plaatsen. Het is daarbij wel belangrijk om te voorkomen dat de regenton vervolgens niet een bron van steekmuggen wordt die de barbecue of nachtrust verstoren. Steekmuggen zoals de huissteekmug (*Culex pipiens*) en de grote steekmug (*Culiseta annulata*), maar ook de invasieve Aziatische tijgermug (*Aedes albopictus*) die zich mogelijk in Nederland gaat vestigen (zie 1.4 Exotische



Figuur 7b. Maatregelen om te voorkomen dat muggen broeden in plekje in de tuin. Bron: mmdc.org. Aanpassing: Jos van den Broek

muggen, nieuwkomers en frequente bezoekers), blijven relatief dicht bij hun oorspronkelijke broedplek, tot tientallen meters. Muggen-overlast in de tuin wordt doorgaans veroorzaakt door broedplekken in diezelfde tuin, of die van de directe bureu.

Muggen leggen hun eitjes in stilstaand water in schotelletjes onder bloempotten, dakgoten, regentonnen en parasolvoeten, maar ook in water dat blijft staan op dekzeilen van tuinmeubels of haardhout, of in opblaasbadjes. Ongemak van zoemende muggen of jeukende muggenbulten is te voorkomen door ervoor te zorgen dat muggen geen eitjes meer kunnen leggen in de omgeving:

- controleer regelmatig de tuin of het balkon op stilstaand water
- ververs het water of gooi het weg
- sluit regentonnen af om te voorkomen dat muggen er eitjes in leggen
- houd vissen in de vijver
- plaats een fonteintje in de vijver zodat het wateroppervlak in beweging blijft

gewone huissteekmug

Culex pipiens



© Anders Lindström/SVA



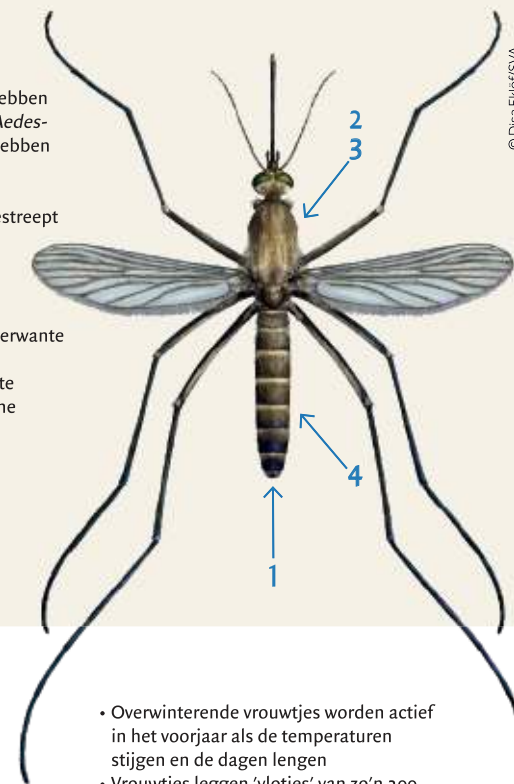
© Anders Lindström/SVA

kenmerken

1. Muggen van het genus *Culex* hebben een afgerond achterlijf terwijl *Aedes*-muggen een puntig achterlijf hebben
2. De grondkleur is bruingeel
3. Geen patroon op het borststuk
4. Bovenzijde van het achterlijf gestreept

te verwarren met

- *Culex pipiens* kan moeilijk van verwante soorten worden onderscheiden
- De soorten in de groep zijn niet te verwarren met invasieve exotische soorten in Europa



© Dina Eklef/SVA

status in Europa

- inheems

verspreidingskaart

<https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps>

ecologie (habitat, broedplekken)

- *Culex pipiens* kan vrijwel elk type water bewonen. De larven worden aangetroffen in tijdelijke maar ook in permanente wateren: vijvers met vegetatie, rijstvelden, langs rivieroeveren in rustige gedeeltes, in overstromde delen, in poelen en geulen en af en toe zelfs in boomholtes
- Ook kunstmatige broedplekken worden veel gebruikt: ondergelopen kelders, bouwputten, straatputten, regentonnen en allerlei bakjes, emmers, potten etc. waarin regenwater blijft staan
- Helder water maar ook water dat sterk verontreinigd is met organisch materiaal
- Ze tolereren zelfs in beperkte mate brak water zoals kustmoerassen of rotspoeltjes in het kustgebied
- Vrouwjes overwinteren in vorstvrije schuilplaatsen zoals kelders, grotten, bunkers en groeven

- Overwinterende vrouwjes worden actief in het voorjaar als de temperaturen stijgen en de dagen lengen
- Vrouwjes leggen 'vlotjes' van zo'n 200 eitjes op het wateroppervlak; de eitjes kennen geen rustperiode maar komen snel uit zodra de embryonale ontwikkeling is voltooid (duurt \pm 24 uur)
- De larvale ontwikkeling duurt 6-24 dagen afhankelijk van de temperatuur
- Larven kunnen worden aangetroffen van het voorseizoen tot aan de eerste vorst
- In de zomer en de vroege herfst kan *Culex pipiens* in hoge dichtheden worden aangetroffen

bijtgedrag

- Vrouwjes van *Culex pipiens*-vorm *pipiens* bijten vogels (buiten), en hebben rustplekken buiten
- Vrouwjes van de *molestus*-vorm van *Culex pipiens* bijten vooral mensen en zoogdieren (binnenshuis of buiten) en rusten binnenshuis
- Ze kunnen het eerste 'vlotje' eitjes leggen zonder eerst een bloedmaaltijd te hebben genomen (= autogenie)
- Huissteekmuggen zijn het meest actief na zonsopkomst en voor zonsopkomst

grote steekmug

Culiseta annulata


inheems



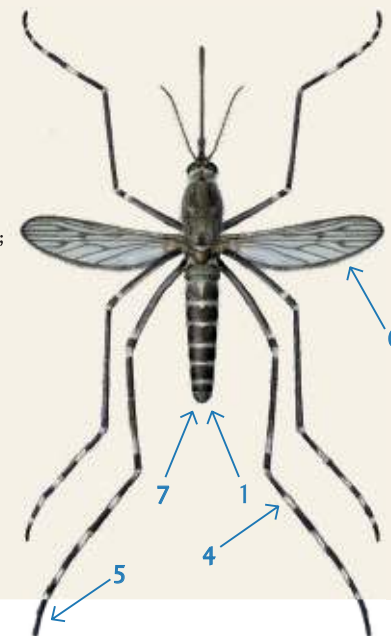
© Anders Lindström/SVA



© Anders Lindström/SVA

kenmerken

1. Muggen van het genus *Culiseta* hebben een afgerond achterlijf (in tegenstelling tot *Aedes*-muggen, waar het achterlijf puntig is)
2. Groot
3. Donkerbruin met lichte markering
4. Tarslid 1 (het eerste na de scheen) heeft een opvallende witte ring in het midden; de tarsleden 2-4 hebben witte ringetjes aan de basis
5. Tarslid 5 (dat aan het einde van de poten) is geheel donker geschubd
6. Vleugels hebben veel schubben op de aders en daarnaast donkere vlekken van schubben
7. Bovenzijde achterlijfsegmenten met basale lichte bandjes



© Disa Eklof/SVA

te verwarren met

Culiseta longiareolata; *Aedes cantans*

status in Europa

- inheems

verspreiding

- Komt in heel Europa voor, maar is algemener in het noorden dan in het zuiden, waar de soort grotendeels wordt vervangen door *Culiseta longiareolata*

verspreidingskaart

<https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps>

ecologie (habitat, broedplekken)

- Deze soort overwintert als adult in kelders, bunkers, grotten en stallen, wat zelfs 's winters tot enige overlast kan leiden
- Eitjes worden gelegd in stilstaand water: in sloten en greppels maar ook in drinkbakken regentonnen en andere plaatsen waar veel regenwater in blijft staan; zelfs mestopslag met voldoende water kan geschikt zijn; ook is de soort vrij zouttolerant
- Eitjes worden gelegd in 'vlotjes', zoals bij *Culex pipiens*
- Adulten zijn vanaf het vroege voorjaar actief met een piek in de populatie in september

bijgedrag

- Bijt mensen, binnen en buiten
- Daarnaast andere dieren waaronder soms ook vogels
- De soort bijt vooral 's nachts

gelekoortsmug

Aedes aegypti


invasief

© Anders Lindström/SVA

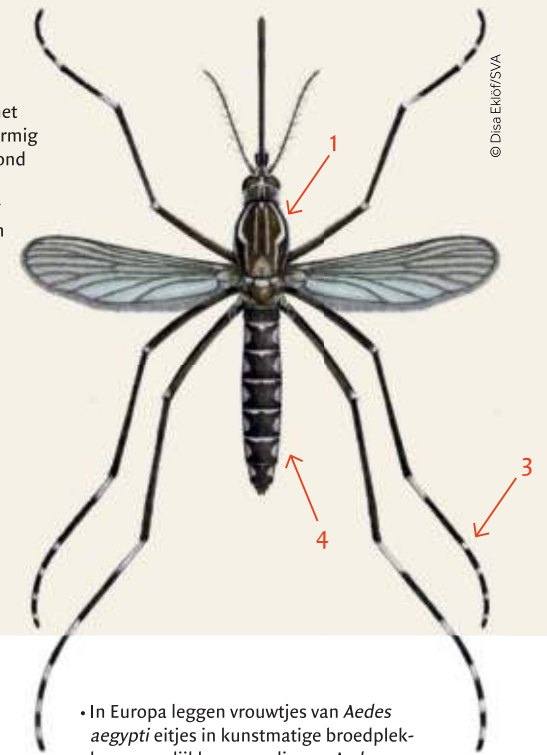


© Anders Lindström/SVA



kenmerken

1. Scutum (rug van het borststuk) met zilverwitte schubben in een liervormig patroon op een donkere ondergrond
2. Kleine tot middelgrote mug
3. Contrastrijke zwartwitte tekening
4. Zilverwitte markering op poten en achterlijf



© Disa Eklof/SVA

te verwarren met

Aedes albopictus, *Aedes cretinus*

status in Europa

- exoot, invasief
- herkomst: tropisch Afrika

verspreidingskaart

<https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps>

komt binnen via

- Luchthavens
- Handel in tweedehands autobanden

ecologie (habitat, broedplekken)

- Van oorsprong komt *Aedes aegypti* voor in bosgebieden waar boomholten als habitat dienen
- De soort is nu algemeen in (sub)tropische gebieden, in de directe omgeving van mensen
- De soort voelt zich thuis in steden en dorpen

- In Europa leggen vrouwtjes van *Aedes aegypti* eitjes in kunstmatige broedplekken, vergelijkbaar aan die van *Aedes albopictus*. Bruikbare habitats zijn o.a. aardewerk, regentonnen, waterreservoirs, lege blikjes, bloempotten, (kapotte) flessen en afgedankte banden
- Op Madeira is *Aedes aegypti* het hele jaar actief met een piek van augustus-oktober
- De eitjes zijn droogteresistent
- Anders dan *Aedes albopictus* kan *Aedes aegypti* geen eitjes leggen die in diapauze gaan en vorst kunnen overleven

bijgedrag

- Mensen, sporadisch andere zoogdieren
- De vrouwtjes bijten met name overdag op schaduwrijke plaatsen soms 's nachts binnenshuis in verlichte ruimtes
- Vrouwtjes kunnen meerdere keren bijten om een bloedmaaltijd te nemen voor de volgende ei-afzet

Aziatische tijgermug

Aedes albopictus


invasief



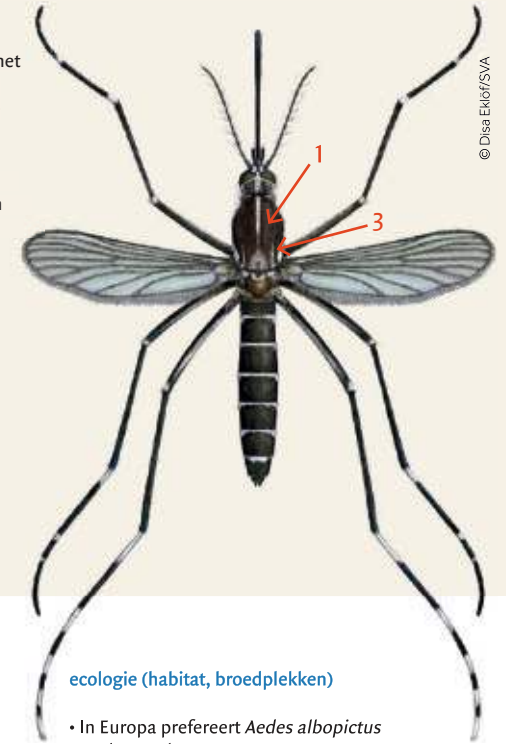
© Anders Lindström/SVA



© Anders Lindström/SVA

kenmerken

1. Karakteristiek scutum (de rug van het borststuk) met een middenlijn van zilverwitte schubben op een zwarte ondergrond
2. Middelgroot
3. Witte strepen op de achterste helft van het scutum, aan weerszijde van de witte middenlijn, zijn kort en bereiken zeker het midden van het scutum niet



© Disa Eklof/SVA

te verwarren met

Aedes cretinus; *Aedes aegypti*

status in Europa

exoot, invasief
herkomst Azië

verspreidingskaart

<https://www.ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps>

komt binnen via

- Eitjes van *Aedes albopictus* worden geïmporteerd met gebruikte banden en Lucky Bamboo-plantjes
- Volwassen muggen kunnen meeliften met wegverkeer, vliegtuigen en terugkerende vakantiegangers

ecologie (habitat, broedplekken)

- In Europa prefereert *Aedes albopictus* steden en dorpen
- In ons gematigde klimaat is *Aedes albopictus* actief van juni tot oktober
- *Aedes albopictus*-vrouwtjes kunnen eitjes leggen die vorst en droogteperiodes overleven
- Van de diapauze-eitjes van de Europese *Aedes albopictus* is aangetoond dat ze koudeperiodes van -10 °C doorstaan, terwijl tropische *Aedes albopictus*-eitjes slechts -2 °C overleven
- Larven ontwikkelen zich in kunstmatige broedplekken zoals gebruikte autobanden, regentonnen, straatkolken, drinkbakken etc.; natuurlijke broedplekken zijn plekken waar water in planten blijft staan, bijvoorbeeld boomholten

bijtgedrag

- Vrouwtjes bijten agressief, doorgaans overdag, bij uitzondering 's nachts binnenshuis
- *Aedes albopictus* bijt meestal mensen, maar ook huisdieren en wilde zoogdieren, vogels, reptielen, en zelfs amfibieën afhankelijk van het aanbod

2 Ziek na een muggenbeet

2.1 Het virus en de mug: niet altijd een gelukkig stel

– Gorben Pijlman

Muggen zijn niet alleen irritant zoemende insecten, maar kunnen ook ziekteverwekkers overdragen naar mens en dier: de mug is de zogenoemde vector, de ‘overdrager’. Niet iedere mug is gevaarlijk, maar dat is moeilijk aan de buitenkant af te lezen. Veruit de meeste muggensoorten dragen helemaal geen ziekteverwekkers over, terwijl andere betrokken zijn bij de grootschalige verspreiding van allerlei virussen en parasieten, met name in tropische gebieden.

Neem bijvoorbeeld de gelekoortsmug (*Aedes aegypti*), een muggensoort die betrokken is bij nagenoeg alle grote uitbraken van gele koorts, dengue (knokkelkoorts), chikungunya en zika, die we de afgelopen jaren hebben gezien. Waarom veroorzaakt juist deze mug zulke grote problemen terwijl andere muggensoorten slechts als vogelvoer dienen? Een belangrijke voorwaarde is dat de mug daadwerkelijk zelf besmet kan worden door een ziekteverwekker en die daarna ook weer kan doorgeven. We noemen deze eigenschap ‘vectorcompetentie’.

Binnen in de mug

Om te begrijpen hoe vectorcompetentie werkt, zoomen we in op de mug zelf en nemen een virus als voorbeeld van een ziekteverwekker. Het begint met een mug die tijdens haar beet een bloedvat aanprijkt om bloed te drinken. Daarbij spuit ze ook een beetje speeksel in dat antistollingsstoffen bevat, zodat het bloed blijft vloeien. Dit bloed heeft ze nodig als eiwitbron voor de ontwikkeling van de muggen-eitjes. Alleen vrouwtjesmuggen hebben bloed nodig, de mannetjesmuggen hebben genoeg aan nectar en andere plantensappen.

Wanneer de mug iemand prikt die een muggenoverdraagbaar virus onder de leden heeft, zal dit virus met het bloed in de maag van de mug belanden. Pas als het virus in grote hoeveelheden vanuit de maag in het speeksel van de mug terechtkomt, kan de mug het virus verder verspreiden.



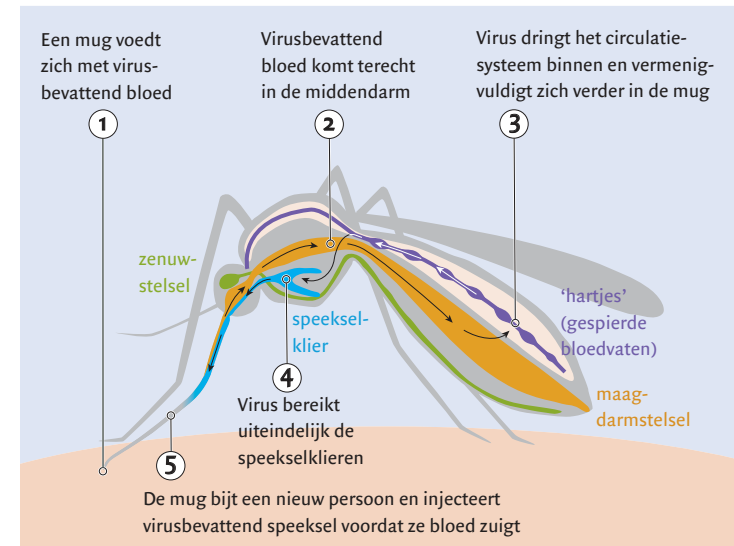
FEIT OF FABEL? Als je een mug voelt bijten, is het vaak al te laat

FEIT In ieder geval is het te laat om een muggenbult te voorkomen. De mug 'spuugt' eerst stoffjes in om het bloed vloeibaar te houden, waarop je lichaam reageert met een bult.

Om in het speeksel te komen moet het virus een aantal barrières in de mug overwinnen. Zo moet het virus de cellen van de maagwand kunnen infecteren. Wanneer dat lukt, kan het virus zich na vermenigvuldiging verder verspreiden door de hele mug heen. Zelfs de pootjes, vleugeltjes en antennes van de mug bevatten dan virus.

Wanneer het virus vervolgens ook in staat is om de speekselklieren van de mug te infecteren en zich in een tot twee weken voldoende virus in het speeksel ophoopt, komt bij een volgende bloedmaaltijd een klein beetje virus mee met het speeksel van de mug. Als dat dan vervolgens in de huid van het slachtoffer komt, wordt die persoon geïnfecteerd. Zo is de cirkel rond en is het virus succesvol van gastheer naar gastheer overgebracht.

Muggen hebben zelf geen last van de virusinfectie. Virus en mug zijn gezamenlijk zo geëvolueerd dat het virus de mug niet negatief beïnvloedt. Als de mug ziek zou worden, en bijvoorbeeld niet meer kan



Figuur 8. Nadat het virus met het bloed in de maag van de mug is terechtgekomen, legt het een hele route in het muggenlichaam af. Eenmaal in de speekselklieren van de mug kan het zich verder verspreiden naar nieuwe gastheren via muggenbeten. © Stichting BWM

vliegen, kan zij ook geen bloedmaaltijd meer nemen en het virus overdragen. Wel zien we soms dat geïnfecteerde muggen iets korter leven. Interessant is dat een infectie door het denguevirus ertoe kan leiden dat de geïnfecteerde mug vaker, maar korter bloed neemt. Men denkt dat het virus de mug manipuleert (in evolutionaire zin) om de virus-transmissie te bevorderen.

De mug als vliegend stempelkussen voor virusoverdracht?

– Marieta Braks

Virussen of parasieten die door muggen worden overgedragen komen in mens en dier terecht via het speeksel dat een mug inspuist tijdens het bijten. Dit wordt 'biologische overdracht' genoemd. De mug is dan zelf geïnfecteerd met het virus. Maar kun-

nen muggen virussen ook overdragen door ze fysiek te verslepen van de ene naar de andere gastheer, dus door ze mechanisch over te dragen? De mug hoeft dan zelf niet geïnfecteerd te zijn, zij zou het virus dan via de monddelen als een soort stempelkussen kunnen overdragen.

Mechanische overdracht door muggen wordt vaak geopperd als er geen andere verklaring voor de overdracht voorhanden is. Bij de konijnenziekte myxomatose, veroorzaakt door het myxomavirus, wordt bijvoorbeeld vaak naar muggen gewezen als verantwoordelijk voor de mechanische overdracht van het ene konijn op het andere. Het myxomavirus kan zich immers niet in muggen of andere bijtende en bloedzuigende geleedpotigen vermenigvuldigen. Muggen hebben echter niet de juiste eigenschappen om een grote rol te kunnen spelen in de mechanische overdracht van ziekteverwekkers.

De kans op mechanische overdracht neemt toe met de grootte van de monddelen en met de hoeveelheid bloed die een insect per keer kan opzuigen. Vandaar dat grote bloedzuigende insecten zoals dazen en stalvliegen wel uitstekende mechanische overdragers zijn. Bovendien moeten deze gemeen bijtende insecten voor een maaltijd vaak meerdere gastheren bijten, omdat ze vanwege hun pijnlijke beet verjaagd worden voordat ze genoeg bloed binnen hebben. Dat is gunstig voor de mechanische overdracht van ziekteverwekkers die maar kort op monddelen kunnen overleven.

Wie past bij wie?

Niet bij elke muggenbeet vindt virusoverdracht plaats van mug naar mens. Dat gebeurt slechts bij enkele combinaties van bepaalde virussoorten en muggensoorten. Meestal infecteert het virus, eenmaal in de maag van de mug, de rest van de mug niet en komt het ook niet in het speeksel terecht.

Veel onderzoek is er tegenwoordig op gericht om uit te zoeken waarom dat eigenlijk zo is. Zijn er genetische verschillen tussen muggensoorten die dit verschil kunnen verklaren? Of ligt de verklaring in

genetische verschillen tussen de virussen zelf? Zo is bijvoorbeeld de uitbraak van chikungunya in 2005-2006 enorm in omvang toegenomen door een spontane verandering in een van de eiwitten aan de buitenkant van het chikungunyavirus, waardoor de tijgermug (*Aedes albopictus*) dit virus opeens veel beter kon overdragen dan de oorspronkelijke vector, de tropische *Aedes aegypti*. Omdat de tijgermug zich uitstekend kan handhaven in gematigde klimaatgebieden, inclusief Nederland (zie 1.4 Exotische muggen), werd het potentiële verspreidingsgebied voor chikungunya opeens veel groter. Dit tropische virus kan ook in Europa mensen besmetten wanneer het per ongeluk wordt binnengebracht door terugkerende reizigers.

Om niet lijdzaam te hoeven afwachten welke virusvarianten er gaan ontstaan, zijn veel laboratoriumproeven erop gericht om te voorspellen waar de voorkeur van een virus voor een bepaalde muggensoort vandaan komt. Door gerichte genetische modificatie van virussen kunnen wetenschappers erachter komen hoe dit op moleculair niveau wordt geregeld. Dit soort proeven wordt uitgevoerd in streng beveiligde laboratoria (*biosafety level 3*) om te voorkomen dat virussen of muggen uit het lab kunnen ontsnappen en in de leefomgeving terechtkomen. Het einddoel is om de infectie in de mug beter te begrijpen en daarmee te kunnen voorspellen welke virus-mugcombinaties een risico gaan vormen voor mensen in een bepaald gebied.

Drie voor de prijs van één

In tropische gebieden in Zuid-Amerika, Afrika en Azië doen veel virusziekten de ronde. Al tientallen jaren is daar erg veel overlast door dengue, met name in de grote steden, waar veel gelekoortsmuggen voorkomen. Er wordt geschat dat wereldwijd zo'n vier miljard mensen risico lopen om met dengue besmet te raken. Dat is een enorm aantal. In Zuid-Amerika zijn daar sinds 2013 en 2015 het chikungunya- en het zikavirus bijgekomen, virussen die zich als een olievlek over het continent hebben verspreid (zie 2.2 Problemen in het paradijs).

Het is bekend dat er af en toe patiënten in het ziekenhuis belanden die besmet zijn met meerdere muggenoverdraagbare virussen tegelijkertijd. Het is waarschijnlijk dat meerdere infectieuze muggenbeten na elkaar verantwoordelijk zijn voor deze dubbelinfecties. Maar wetenschappers ontdekten dat deze virussen ook naast elkaar in dezelfde

Kunnen muggen ook bacteriën overbrengen?

– Lucia Jonckers Nieboer, Egil Fischer & Marieta Braks

Muggen verspreiden een flink aantal virussen en parasieten die schadelijk zijn voor de mens, maar er is weinig bekend over de overdracht van ziekmakende bacteriën door muggen. Er zijn wel wetenschappelijke publicaties waarin wordt gesuggereerd dat muggen een rol spelen in de verspreiding van enkele infectieuze bacteriën, met name *Francisella tularensis*, de bacterie die tularemie veroorzaakt. Tularemie of hazenkoorts is een zoönose die soms ernstig kan verlopen. Mensen die veel in contact komen met in het wild levende dieren lopen een groter risico om tularemie op te lopen. Muggen worden al decennia in verband gebracht met de verspreiding van deze ziekte.

Aanwijzingen hiervoor komen uit verschillende laboratoriumproeven waarin bleek dat muggenlarven de bacterie kunnen opnemen uit water, en uit het feit dat besmette muggen soms zorgen voor besmetting van buisjes met bloed of proefdieren. Dit gebeurt echter slechts incidenteel. Verder lieten enkele veldonderzoeken zien dat besmette muggen voorkwamen in gebieden waar de ziekte zich op dat moment onder mensen voordeed. Een deel van de patiënten gaf aan gebeten te zijn door een mug vlak voordat ze ziek werden. In andere onderzoeken waren er juist geen besmette muggen ten tijde van de uitbraak. Ook bij laboratoriumexperimenten waarin volwassen muggen zich eerst voedden op besmette proefdieren en een paar dagen later op gezonde proefdieren, werd geen van de gezonde proefdieren ziek.

Sluitend bewijs voor overdracht van *Francisella tularensis* door muggen ontbreekt dus nog steeds. Maar als muggen al een rol spelen in de verspreiding van tularemie, dan is het waarschijnlijk een zeer bescheiden rol ten opzichte van de vele andere manieren waarop de besmetting met *F. tularensis* kan plaatsvinden, zoals tijdens het slachten van hazen en konijnen, door het inslikken van besmet water of vlees, door het inhaleren van geïnfecteerde aerosolen of door beten van dazen en teken.

de mug kunnen voorkomen en dat gelekoortsmuggen in het laboratorium tegelijkertijd dengue-, zika- en chikungunyavirussen kunnen overdragen via hun speeksel. Ook al is de kans waarschijnlijk klein, iemand kan dus met één muggenbeet drie verschillende virussen tegelijk ingespoten krijgen.

2.2 Problemen in het paradijs

– Marieta Braks & Johan Reimerink

Het is half zes 's avonds. We komen net terug van het strand, schoppen onze slippers uit en willen op de veranda van een drankje gaan genieten. Eerst sprayen we DEET op onze voeten om te voorkomen dat we aangevallen worden door de talloze hongerige vrouwtjesmuggen. We zijn gisteren aangekomen op het eiland en nog superalert op de muggen. Maar over een paar dagen zullen we DEET vast weer achterwege laten; je kunt tenslotte niet blijven smeren met dat vieze spul. Je laten lekprikken is de dagelijkse praktijk tijdens het Caribische regenseizoen. We weten dat deze muggensoort virussen kan overbrengen, maar dit jaar zijn er nog geen ziektegevallen gemeld bij de gezondheidsdienst. Dus we wanen ons veilig in dit deel van het Koninkrijk der Nederlanden.

Dit gaat over de gelekoortsmug *Aedes aegypti*, een relatief klein zwart mugje met een wit karakteristiek lijnenpatroon op de rug. De soort is eeuwen geleden met slavenschepen vanuit Afrika geïntroduceerd in de Nieuwe Wereld (zie kader 2.2 Hijs de gele vlag!), inclusief het Caribisch gebied. De soort komt tegenwoordig overal in de tropen en subtropen voor. De bloeddorstige vrouwtjes bijten voornamelijk overdag en (bijna) alleen mensen, daarom leeft deze muggensoort in en rondom het huis.

In Caribisch Nederland is het een eeuwenoude gewoonte om spaarzaam om te gaan met regenwater; zoet water is op de kleine tropische eilanden een kostbaar goed. Daar maakt de gelekoortsmug dankbaar gebruik van. Ze legt haar eitjes van nature nabij stilstaand water dat zich heeft verzameld in boomholten, bromelia's of lege kokosnoten. En tegenwoordig ook in voorwerpen waar regenwater in wordt opgevangen, zoals regentonnen, waterkelders of watertanks (cisternen).

De eitjes kunnen maanden- tot jarenlange droogte weerstaan; ze komen uit zodra de regen valt. Binnen een week kan dat tot overlast leiden. De gelekoortsmug is nauw verwant aan de Aziatische tijgermug, die eveneens grote delen van de Nieuwe Wereld heeft veroverd maar zich tot op heden niet heeft gevestigd in Caribisch Nederland.

Meer dan gele koorts

De gelekoortsmug is het bekendst vanwege de overdracht van het gelekoortsvirus in alle stedelijke gebieden in tropische delen van Zuid-Amerika en Afrika. Maar sinds kort is de mug vooral berucht omdat ze wereldwijd, ook in Caribisch Nederland, de verspreider is van het denguevirus dat knokkelkoorts veroorzaakt. Daarnaast kan deze muggensoort ook nog andere ziekmakende virussen overdragen.

Op 6 december 2013 werden op het Franse deel van Sint Maarten patiënten gemeld met een infectie met het chikungunyavirus. Deze patiënten hadden niet kort geleden gereisd en moesten de infectie dus op het eiland hebben opgelopen. Na deze eerste ontdekking werd het virus in korte tijd aangetroffen in grote delen van het Caribisch gebied en Zuid-Amerika, en dat luidde het begin in van de eerste gedocumenteerde uitbraak van chikungunyavirus in de Nieuwe Wereld. Epidemiologen op Curaçao schatten dat ongeveer 30 procent van de bewoners in deze periode geïnfecteerd werd.

In februari 2015 werd Zuid-Amerika, nu in Noordoost-Brazilië, opnieuw geconfronteerd met een virus dat nog nooit eerder op het continent was gezien, het zikavirus. Dit van oorsprong Afrikaanse virus had in 2007 voor het eerst buiten Afrika tot een aanzienlijke uitbraak geleid op het eiland Yap in Micronesië. Ook dit virus verspreidde zich vervolgens in een razend tempo over het hele gebied. Dit kwam doordat mensen die het virus in het bloed bij zich droegen (met of zonder klachten) naar gebieden reisden waar de gelekoortsmug voorkwam. Deze pikte het virus op via een bloedmaaltijd en gaf het vervolgens door aan de lokale bevolking bij een volgende beet.

Caribisch Nederland

– Marieta Braks & Johan Reimerink

Het Koninkrijk der Nederlanden bestaat sinds de grondwetsherziening in oktober 2010 uit vier landen: Aruba, Curaçao, Sint Maarten en Nederland. Bonaire, Sint Eustatius en Saba zijn Caribische gemeenten binnen Nederland. Aruba, Bonaire en Curaçao, ook wel de ABC- of benedenwindse eilanden genoemd, liggen enkele tientallen kilometers ten noorden van Venezuela. De andere drie eilanden liggen ongeveer negenhonderd kilometer naar het noorden en worden de bovenwindse eilanden genoemd.



Figuur 9. Het Caribisch deel van het koninkrijk bestaat uit de eilanden Aruba, Curaçao, Sint Maarten, Bonaire, Saba en Sint Eustatius. © Stichting BWM



Figuur 10. Het bemonsteren en bestrijden van muggenlarven in een watertank (cistern) op Bonaire. © Marieta Braks



FEIT OF FABEL? Steekmuggen brengen niet alleen malaria, maar ook hiv over van mens op mens

FABEL Het aidsvirus hiv kan wel met besmet bloed door de mug worden opgenomen, maar het virus wordt in de muggenmaag verteerd. Muggen kunnen wel andere virussen overdragen, zoals het westnijl-, het dengue- en het chikungunyavirus. Deze virussen zijn veel beter bestand tegen de maagsappen van de mug dan hiv, kunnen de maagwand passeren en zich vermenigvuldigen in het lichaam van de mug (zie figuur 8). Tijdens het bijten kan de mug via haar speeksel het virus overdragen aan de mens.

Naast de gelekoortsmug veroorzaken de zuidelijke huissteekmug (*Culex quinquefasciatus*) en de zwarte kweldersteekmug *Aedes taeniorhynchus* veel hinder en overlast in Caribisch Nederland. Tot nu toe veroorzaken deze muggen nog geen ziekten in Caribisch Nederland, maar ze zijn wel in staat om meerdere virussen van dier op mens over te dra-

gen. De zuidelijke huissteekmug is een nauw familielid van onze gewone huissteekmug (*Culex pipiens*), die in Europa algemeen voorkomt. In de Cariben broedt ze op dezelfde plekken als de gelekoortsmug, en daarnaast in heel vies water zoals het riool.

De kweldersteekmug is een grote zwarte mug die haar eitjes legt op de modder van hooggelegen delen van mangrovebossen. Na een grote regenval ontwikkelen de larven zich, wat resulteert in grote zwermen muggen die tot enkele kilometers afstand van de mangrove voor enorme overlast kunnen zorgen.

Volgens de meest recente inventarisatie verblijven op de bovenwindse eilanden in totaal twaalf verschillende muggensoorten en op de benedenwindse eilanden elf.

Hijs de gele vlag! Philadelphia was weerloos tegen uitbraak van gele koorts

– Jaap van Dissel

In de nazomer van 1793 liepen ruim 11.000 inwoners van de Amerikaanse stad Philadelphia gele koorts op, een vijfde van de bevolking. Bijna de helft stierf eraan. Philadelphia was niet voorbereid op de uitbraak, angst nam de stad in haar greep. Een kleine 20.000 mensen, waaronder president George Washington en andere leden van de federale regering, ontvluchtten in alle haast de stad. Onder de massale uittocht waren ook veel plaatselijke bestuurders en artsen. Iedereen was doodsbang ziek te worden.

De achterblijvers konden het niet eens worden wat de oorzaak van de plaag was en hoe die aan te pakken. Was het afkomstig van rotting en vuiligheid zoals Benjamin Rush beweerde, een prominent geneesheer, opgeleid in St Thomas Hospital in London en medeondertekenaar van de Declaration of Independence? Hij meende dat gele koorts werd veroorzaakt door onhygiënische omstandigheden, door open riolering en opgestapelde, rottende producten op de dokken en werven. Hij concludeerde dat de ziekte niet van mens op mens werd overgedragen

maar door ‘bedorven’ lucht. Een grondige schoonmaakbeurt, was zijn devies.

Of had gouverneur Mifflin, gesteund door minder prominente geneesheren, het bij het juiste eind toen hij betoogde dat de kiem van de ziekte uit West-Indië kwam? In 1793 ontvluchtten mensen van de Frans-Caribische kolonie Saint Domingue (het huidige Haïti) een verwoestende opstand én een uitbraak van de gele koorts. Duizenden vluchtelingen, met onder hen ongetwijfeld geïnfecteerde passagiers, ontscheepten in de haven van Philadelphia. Mifflin pleitte voor toezicht op binnenlopende schepen.

Gele koorts was een bekende ziekte die zeelieden trof die naar het Caribisch gebied reisden. De ziekte en haar overdrager, de mug *Aedes aegypti*, waren waarschijnlijk in de zeventiende eeuw van West-Afrika naar Zuid-Amerika en het Caribisch gebied gebracht via de slavenhandel. In 1648 resulteerde dit in een eerste uitbraak in de Nieuwe Wereld onder Spaanse bezetters; zij spraken met afgrijzen van *el vomito negro*. De naam ‘gele koorts’ refereert aan de gele ogen en huid van de slachtoffers. Andere symptomen zijn koorts met een relatief trage polsslag en hoofdpijn. Bij ongeveer 15 procent van de patiënten verergert de situatie en treedt heftige buikpijn op, oog-, neus- en huidbloedingen en ‘zwart braaksel’, veroorzaakt door bloedingen in de maag.

Burgemeester Matthew Clarkson van Philadelphia hield zich wijselijk buiten de redetwist. Hij koos ervoor de dokken te schrobben, straat- en huisvuil op te halen, en gaf opdracht voor de bouw van een drinkwatervoorziening en riolering. Tegelijkertijd werden quarantaineofficieren aangesteld om boten die de Delaware-rivier opvoeren ver voor het aanmeren bij de stad-dokken te controleren op ziekten onder de passagiers. Boten met zieken aan boord moesten voortaan een gele vlag hijsen, de Yellow Jack, en bij Mud Island, ver buiten de stad, in quarantaine.

De combinatie van geïnfecteerde immigranten en broedplekken voor muggen door de natte, hete zomer en de open riolen had uiteindelijk gezorgd voor de perfecte omstandigheden voor

een uitbraak van gele koorts. Philadelphia kwam er door verbeterde stadshygiëne, riolering en drinkwaterleiding gesterkt uit tevoorschijn. Daarvoor was een hoge tol betaald. Na een verlossende vorst, die de muggeneitjes in stilstaand water bevroor, was in november 1793 de uitbraak definitief voorbij en keerden de bewoners terug naar hun huizen.

Het duurde nog een kleine eeuw voordat in 1881 werd vastgesteld dat de ziekte verspreid werd door muggen. In 1927 werd de verwekker als eerste virus bij de mens geïsoleerd.

2.3 Malaria in Nederland en de ontdekking van kinine

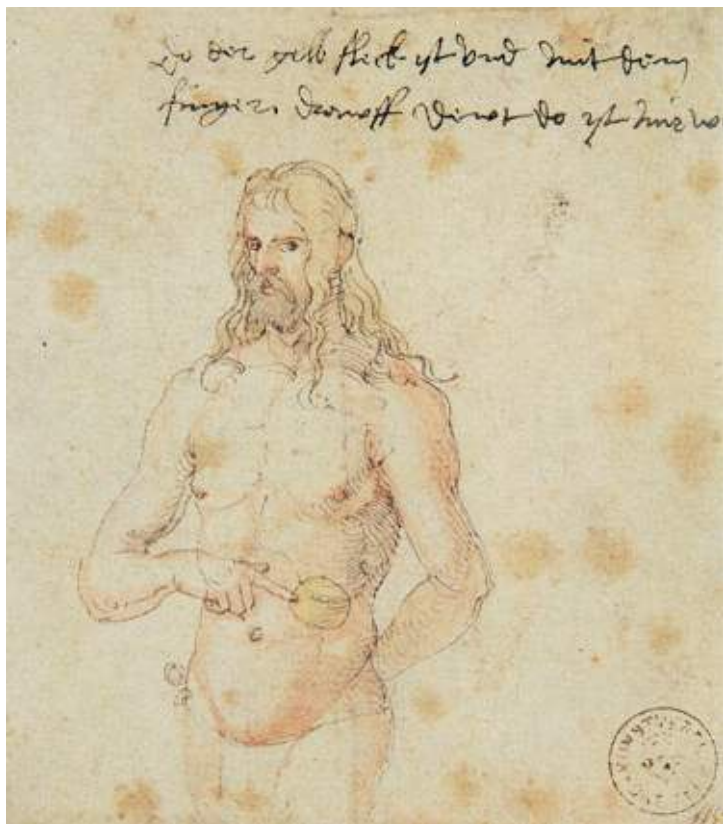
– Marieta Braks & Willem Takken

De meeste mensen denken bij malaria niet aan Nederland, maar eerder aan landen in Afrika (zie 3.2 Het gevaarlijkste dier op aarde). Toch zijn ook Nederland en vele andere Europese landen door de eeuwen heen geteisterd door deze ziekte. Tijdens de Nieuwe Steentijd, 4000 jaar voor Christus, zette malaria in Griekenland en Italië voet aan de grond. Vandaaruit verspreidde de ziekte zich over de rest van het continent, waar zij meer dan twee millennia wijdverbreid heerste.

In de Middeleeuwen hadden de meeste landen in Noord-Europa, inclusief Nederland, onder malaria te lijden. Zo is bekend dat de Duitse kunstschilder Albrecht Dürer (1471-1528) malaria opliep tijdens zijn bezoek aan de provincie Zeeland. De diagnose ‘malaria’ werd pas vier eeuwen later gesteld, aan de hand van een pentekening waarin de schilder naar zijn pijnlijke milt wijst en de symptomen beschrijft.

Kinabast

In de zeventiende eeuw was Europa in de ban van malariabestrijding, waarbij voor het eerst de schors van de kinaboorn werd gebruikt. Volgens de overlevering werd de eerste kinabast ingevoerd in 1640. De echtgenote van de onderkoning van Peru nam kinabastpoeder mee



Figuur 11. Zelfportret van Albrecht Dürer uit 1521. Hij schreef erbij: 'Dit is de gele vlek en wanneer ik er met mijn vinger op druk doet het pijn.' Dit zou suggereren dat Dürer de tekening maakte om naar een dokter te sturen voor diagnose. © Publiek domein

naar Spanje, nadat ze er in Peru mee was genezen van de 'anderdaagse koorts' (een andere benaming voor bepaalde typen malaria). Het poeder heeft lang bekend gestaan onder de Latijnse naam *pulvis comitisae*, 'stof van de gravin'.

De koortswerende werking van kinabast kreeg snel meer bekendheid en de jezuïeten, missionarissen uit Zuid-Amerika, brachten het naar Europa. De ordebroeders verspreidden een grote partij kinabast, na een kerkelijke bijeenkomst, over hun standplaatsen in heel Eu-

ropa. Vanaf die tijd werd het middel 'jezuïetenschors', 'kardinaalschors' of 'heilige schors' genoemd.

In de twee eeuwen die volgden werd kinabast op grote schaal geïmporteerd. Het was omstreeks 1830 dat men in Europa onder ogen zag dat de voorraden aan kina in Zuid-Amerika uitgeput raakten door de grote vraag en door roofbouw op de kinabomen. Kinabomen kwamen



Figuur 12. De bast van *Cinchona officinalis*, grondstof voor kinine. © H. Zell/CC BY-SA3.0

slechts in kleine aantallen voor, verspreid in ondoordringbare oerwouden. Pogingen tot regulering en herplanting van kinabomen in Zuid-Amerika mislukten. Nederlandse en Engelse ondernemers probeerden kinazaden of -planten levend van Zuid-Amerika naar de koloniën in het Oosten te brengen. Toch duurde het tot de tweede helft van de negentiende eeuw voordat de kinaplantages in Nederlands-Indië op gang kwamen.

Twee apothekers slaagden er in 1820 in om de belangrijkste werkzame stof, kinine, uit de bast te isoleren. Dit was een grote vooruitgang in de behandeling van malaria, maar kon grote uitbraken niet voorkomen. Uitbraken van malaria hadden grote invloed op de uitkomst van oorlogen en op projecten zoals het Panamakanaal (zie kader 3.6 Muggenbestrijding essentieel voor bouw Panamakanaal). Hoewel moerassen al eeuwenlang geassocieerd werden met het optreden van malaria had men tot het einde van de negentiende eeuw geen idee wat de ware oorzaak was van de ziekte en op welke wijze de besmetting tot stand kwam.

De bloedparasiet

– Bram Goorhuis

De dodelijkste door muggen overgedragen ziekteverwekker is de malariaparasiet. Malaria kwam vroeger in Europa veel voor, en ook in Nederland tot de jaren vijftig van de twintigste eeuw. Een andere naam voor malaria is 'moeraskoorts': men dacht dat de ziekte werd veroorzaakt door de slechte lucht in moerasgebieden (*mala aria*). Inmiddels weten we dat de verwekker van malaria een eencellige bloedparasiet is, die via muggen kan worden overgedragen.

Wanneer iemand wordt gebeten door een besmette mug, komt de malariaparasiet in diens bloed terecht en van daaruit in de lever. Na gemiddeld ongeveer twee weken verschijnen de parasieten weer in de bloedbaan, waar ze rode bloedcellen infecteren en verwoesten. Er bestaan verschillende soorten malariaparasieten, waarvan *Plasmodium falciparum* de dodelijkste is. Deze

parasiet komt vooral voor in sub-Sahara Afrika en Zuidoost-Azië, en is daar verantwoordelijk voor veel sterfte, met name onder kinderen. De recente ontwikkeling van een werkend malariavaccin is in dat licht een enorme opsteker.

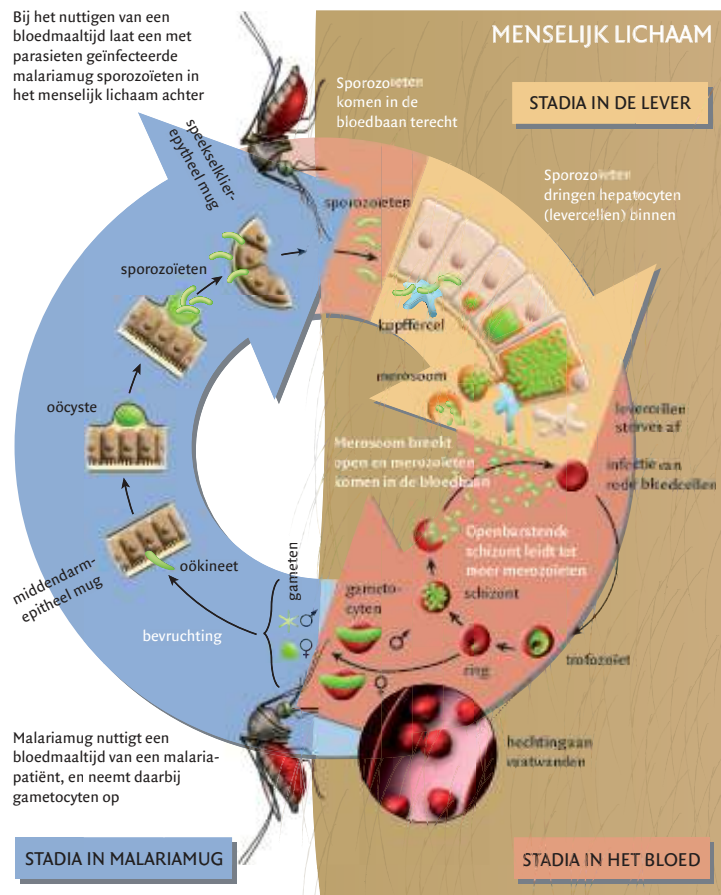
Malariaparasieten en muggen

Een reeks van ontdekkingen bracht tussen 1880 en 1900 aan het licht dat muggen een rol speelden bij de overdracht van veel infectieziekten, waaronder filariasis (worminfectie), gele koorts en ook malaria. De Franse arts en officier Alphonse Laveran ontdekte in 1880 als eerste de malariaparasiet in rode bloedlichaampjes van de mens. Zes jaar later beschreef de Italiaan Camillo Golgi de morfologische verschillen die nog steeds worden gebruikt om twee soorten malariaparasieten, *Plasmodium vivax* en *Plasmodium malariae*, te onderscheiden. De Britse arts Ronald Ross leverde op 20 augustus 1897 uiteindelijk het overtuigende bewijs dat het muggen uit moerassen waren die de malariaparasiet van mens tot mens overbrachten. Dit is inmiddels 125 jaar geleden ten tijde van het ter perse gaan van dit boek.

Deze ontdekkingen staan aan de basis van de aanpak van malaria in Nederland en Nederlands-Indië: hetzij door het terugdringen van de parasiet met geneesmiddelen, hetzij door het terugdringen van de malariamug via beheersmaatregelen. In Indië waren in die tijd malaria-uitbraken een direct gevolg van ingrepen in de natuur, zoals de aanleg van plantages en rijstvelden na ontbossingen.

De Nederlandse kustprovincies kampten in diezelfde periode (1850-1925) regelmatig met grote malaria-uitbraken. De parasieten werden overgebracht door de mug *Anopheles atroparvus*, die ook nu nog in Nederland voorkomt. Deze mug bijt zowel mens als dier. Door de professionalisering van de veeteelt werden ook de dierverblijven en de woning van de bewoners meer gescheiden en verminderde het contact tussen mens en mug. Verder werd de muggenpopulatie teruggedrongen door inpoldering en de Afsluitdijk, waardoor de zilte omgeving verdween waar deze mug zich graag ophoudt.

Het waren vooral het systematisch opsporen en behandelen van malariapatiënten met het antimalariamedicijn chloroquine en het be-



Figuur 13. Overdrachtscyclus van de malariaparasiet tussen mug en de mens, met aandacht voor de locatie van de belangrijkste ontwikkelingsstadia van de parasiet (sporozoïet, merozoïet, gametocyt, ookineet, en oöcyst). Bron: <https://www.jci.org/articles/view/33996/figure/1>. © Stichting BWM

spuiten van stallen, schuren en zolders in woonhuizen met het insecticide DDT, die malaria definitief lieten verdwijnen uit Noord-Holland. Het laatste autochtone geval van malaria werd in 1959 geregistreerd en in 1970 kreeg Nederland, als een van de laatste landen in Europa, van de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) het predicaat ‘Malaria-

vrij’. *Anopheles atroparvus* is echter nooit uitgeroeid (zie ook kader 5.2 Is het malariagevaar geweken?).

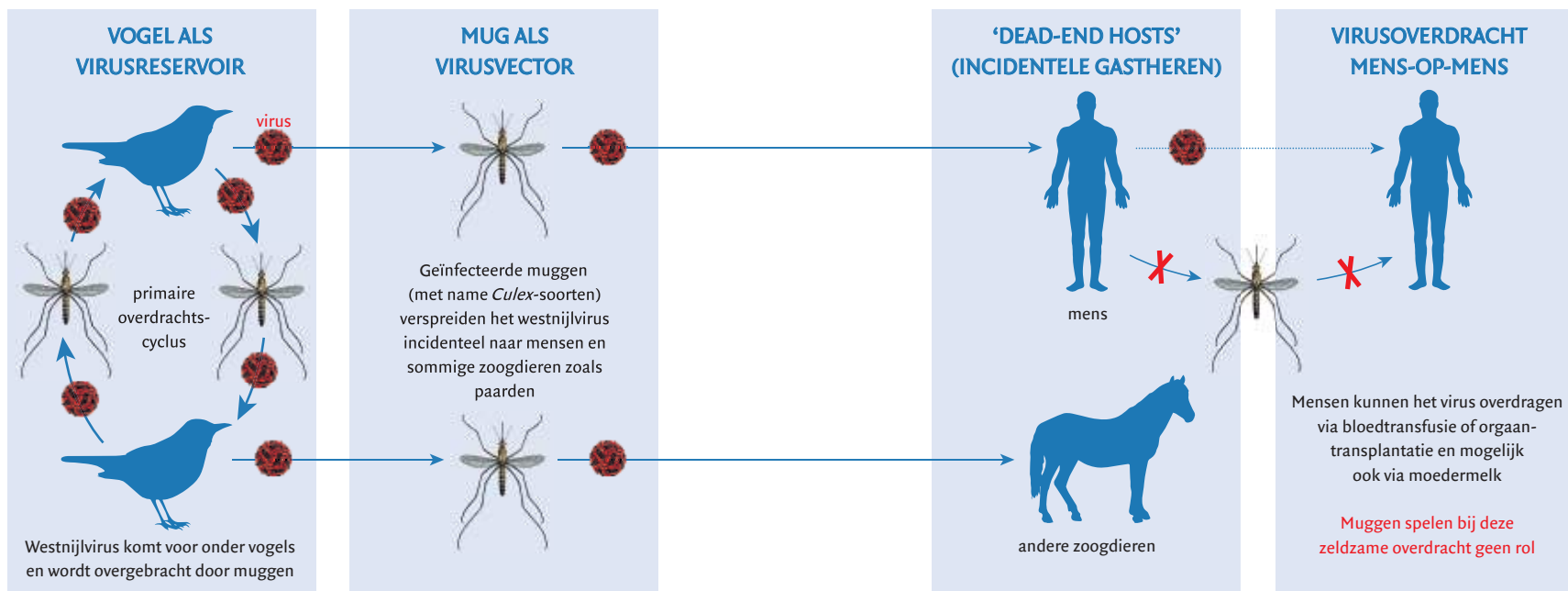
Luchthavenmalaria in België

– Wim Van Bortel & Javiera Rebolledo Gonzalez

Malaria is tegenwoordig een ziekte uit de tropen en voornamelijk bekend bij mensen die terugkeren na een verre reis. Toch raakte eind september 2020 een bejaard Belgisch echtpaar, dat nabij de internationale luchthaven van Brussel woonde, besmet met malaria. Het bejaarde koppel had niet gereisd en moest de ziekte dus via een andere weg hebben opgelopen. Op zoek naar de boosdoeners – de steekmuggen die malaria kunnen overdragen – had een expertteam de omgeving rond het dorp uitgekamd. Ook keken ze of het koppel de ziekte misschien via bloedtransfusie had opgelopen. Dit bleek allemaal negatief.

Daar het echtpaar op minder dan vijf kilometer van de internationale luchthaven van Brussel woonde, waren ze naar alle waarschijnlijkheid gebeten door een besmette exotische malariamug die meegereisd was naar België. Analyse van het genetische materiaal van de malariaparasiet toonde aan dat deze inderdaad uit Afrika kwam. Verder was de parasiet bij beide echtelieden identiek. Dit betekent dat de besmetting was overgebracht door één mug die hen allebei gebeten had. Dat is geen vreemd scenario. Uit onderzoek in Europa is bekend dat exotische malariamuggen soms op de luchthaven worden teruggevonden en dat deze muggen mensen kunnen besmetten. In 2019 kwamen er twee gevallen van luchthavenmalaria voor in Duitsland en in 2020 drie gevallen in Frankrijk.

Luchthavenmalaria blijft een zeldzame ziekte, maar wel een met ernstige gevolgen voor de patiënt, aangezien een vertraagde of gemiste diagnose vaak leidt tot complicaties en sterfte. Daarom is bewustwording van gezondheidswerkers in de buurt van luchthavens, en een betere monitoring van exotische muggensoorten op luchthavens, essentieel.



Figuur 14. Overdrachtscyclus van het westnijlvirus. © Stichting BWM

2.4 Europa en de opkomst van het westnijl- en het usutuvirus

– Chantal Reusken, Stijn Raven & Johan Reimerink

In januari 2018 verdween de merel – Nederlands bekendste tuinvogel – voor het eerst in ruim vijftien jaar uit de top drie van de Nationale Tuinvogeltelling. Twee jaar later werden er voor het eerst mensen in het ziekenhuis opgenomen die in Nederland een hersenvliesontsteking hadden opgelopen, veroorzaakt door een virus afkomstig uit Oeganda. Op het eerste gezicht zijn dit twee losstaande gebeurtenissen, maar is dat ook zo?

De eerste ontdekking

In 1937 werd in het West Nijl-district in Oeganda een nieuw virus gevonden bij een vrouw met koorts. Naar de heersende traditie in de virologie werd het virus vernoemd naar de eerste vindplaats: het west-

nijlvirus. Twintig jaar later werd een kleine vijfduizend kilometer zuidelijker, in Swaziland, een ander virus ontdekt in de steekmug *Culex naevi*. Traditiegetrouw kreeg ook dit virus een naam die verwees naar de vindplaats, de rivier Great Usutu: het usutuvirus. Anno 2020, drie-kwart eeuw later, lijken beide virussen in Nederland voet aan de grond te hebben gekregen.

Via vogels en muggen

Vogels zijn gastheren voor zowel het westnijl- als het usutuvirus en beide virussen worden door steekmuggen van vogel naar vogel overgedragen. Met name zangvogels (*Passeriformes*), valkachtigen (*Falconiformes*) en uilachtigen (*Strigiformes*) zijn gevoelig voor infecties door deze virussen, en het usutuvirus kan zelfs leiden tot massale sterfte onder merels. De hoeveelheid virus in het bloed van deze vogels kan zo hoog worden dat steekmuggen die zich ermee voeden geïnfecteerd

raken en het virus bij de volgende bloedmaaltijd verder verspreiden naar andere vogels.

Steekmugsoorten die efficiënt het westnijn- en usutuvirus kunnen overdragen behoren tot het geslacht *Culex*. In Nederland is de belangrijkste drager de gewone huissteekmug (*Culex pipiens*). Met de beet van een besmette mug worden incidenteel ook zoogdieren, waaronder mensen en paarden, geïnfecteerd. Zoogdieren zijn zogenaamde *dead-end hosts*, wat betekent dat het virusspoor bij hen doodloopt omdat de hoeveelheid virus in hun bloed voor muggen te laag is om besmet te raken tijdens een bloedmaaltijd. Muggen kunnen het westnijn- en het usutuvirus dus niet overdragen van mens op mens, maar bloedtransfusies kunnen dat wel (zie 3.3 Veilige bloedtransfusie en muggenoverdraagbare virussen).

Verspreiding richting het noorden

Geïnfecteerde trekvogels verspreiden het virus over middellange afstanden naar nieuwe gebieden. Daar kan het virus zich via standvogels en lokale muggenpopulaties lokaal verder verspreiden.

Het westnijnvirus komt op alle continenten voor, met uitzondering van Antarctica. In Europa circuleerde het virus sinds de jaren zestig van de vorige eeuw met name in Zuid- en Centraal-Europa. Sinds 2018 wordt het ook veel noordelijker aangetroffen, in Berlijn en Hamburg, en in 2020 in Utrecht.

Het usutuvirus komt voor in Afrika en Europa. De vroegst vastgestelde aanwezigheid van het virus in Europa dateert van 1996 waarin het virus zorgde voor massale merelsterfte in Italië. Tegenwoordig komt het virus voor in grote delen van Europa.

Nare neven en -nichten

Het westnijn- en het usutuvirus behoren tot het geslacht van de flavivirussen in de familie van de *Flaviviridae*. Er zijn veel beruchte flavivirussen, waaronder het denguevirus dat knokkelkoorts veroorzaakt, het gelekoortsvirus, het Japanse encefalitisvirus en het zikavirus. Naast deze muggenoverdraagbare infectieziekten omvatten de flavivirussen ook virussen die door teken overgedragen worden, zoals het in Nederland voorkomende tekenencefalitisvirus.

Zowel het westnijn- als het usutuvirus kunnen bij de mens ernstige

aandoeningen van het centrale zenuwstelsel veroorzaken, zoals een hersenvlies- en hersenontsteking of acute slappe verlamming. De overgrote meerderheid van infecties met het westnijnvirus veroorzaakt echter geen of zeer milde algemene klachten zoals koorts, hoofdpijn, malaise en huiduitslag. Minder dan 1 procent van de besmettingen leidt tot infectie van het centrale zenuwstelsel en ongeveer 10 procent van deze patiënten overlijdt. De kans op een ernstig beloop neemt toe met de leeftijd.

Voor het usutuvirus lijkt het erop dat een ernstig beloop door infectie van het centrale zenuwstelsel veel minder vaak voorkomt. Op dit moment zijn wereldwijd slechts enkele tientallen patiënten bekend en meestal zijn dat personen met een verzwakte afweer door andere onderliggende aandoeningen. Ter vergelijking: in de EU alleen werden in de periode 2010-2018 een kleine drieduizend patiënten met een infectie van het centrale zenuwstelsel door het westnijnvirus gemeld.

Nederland

Het westnijn- en het usutuvirus zijn twee nauw verwante virussen met een vrijwel identieke levenscyclus via dezelfde vogels en muggen, en met een overlap in ziekteverschijnselen. Ruim driekwart eeuw geleden zijn ze op grote afstand van elkaar ontdekt in Afrika, en momenteel verspreiden ze zich allebei steeds verder over Europa.

In 2016 werd de aanwezigheid van het usutuvirus in Nederland voor het eerst kenbaar door grote sterfte onder laplanduil en merels. Ook mensen in Nederland bleken besmet, zonder ziek te worden. In het najaar van 2020 werden de eerste westnijnvirusinfecties bij mensen in Nederland vastgesteld nadat het virus in de late zomer voor het eerst in een grasmus (*Sylvia communis*) was aangetroffen. Uit geïntensiverende monitoring van mensen, vogels, paarden en muggen zijn geen signalen gekomen dat westnijnvirus in 2021 circuleerde. Of het westnijnvirus weer opduikt, moet de komende jaren blijken.

Stierf Alexander de Grote aan het westnijlvirus?

– Ewout Fanoy & Geert Veldhuis

Alexander de Grote, koning van Macedonië en veroveraar van het Perzische rijk tot aan de Indus, overleed op 32-jarige leeftijd in de nacht van 10 juni in Babylon, Mesopotamië (het huidige Irak). Het was 323 voor Christus. Na zijn dood hebben verschillende tijdgenoten over hem geschreven, maar deze bronnen zijn verloren gegaan. Wat rest zijn enkele biografieën uit latere tijd, zoals die van de Griek Plutarchus (26-120 na Christus) die de omstandigheden rondom zijn overlijden beschrijft.

Over de doodsoorzaak is veel gespeculeerd. Vlak voor zijn overlijden zou Alexander tijdens een drinkgelag bij een vriend veel alcohol hebben genuttigd. Kort daarna werd hij ernstig ziek met scherpe buikpijn. Vervolgens had hij twee weken hoge koorts met koude rillingen, buikpijn, dorst en algehele malaise. Hij werd verward, kreeg verlamingsverschijnselen en uiteindelijk stierf hij.

Alle mogelijke bronnen melden dat het om een vergiftiging zou gaan. Maar ook andere doodsoorzaken worden genoemd: een maagperforatie, een alveesklierontsteking door overmatige alcoholconsumptie of een infectieziekte. Griep lijkt onwaarschijnlijk, aangezien er geen uitbraak onder zijn troepen beschreven is. Malaria is een mogelijkheid, hoewel de typerende malariakoorts ontbreekt. De verlamingsverschijnselen kunnen door verschillende virussen worden veroorzaakt, bijvoorbeeld door een polio-infectie. Een westnijlvirusinfectie verloopt meestal zonder klachten (80 procent), maar kan leiden tot hoge koorts, hoofdpijn, spierpijn en in zeldzame gevallen tot verlamingsverschijnselen.

Is de dood van Alexander de Grote door het westnijlvirus ook een realistische veronderstelling? Het virus komt van oudsher voor in het Midden-Oosten en Alexander kwam in de moerasrijke gebieden tussen de Eufraat en de Tigris veelvuldig in contact met *Culex*-muggen. Toen hij aankwam bij de stadspoorten van

Babylon zag hij volgens Plutarchus raven rondvliegen die elkaar aanvielen, sommige vielen dood neer. Dit beeld past bij een uitbraak van het westnijlvirus onder vogels. In de Oudheid kende men voorspellende waarde toe aan het gedrag van vogels, dus het kan zijn dat Plutarchus dit ‘dode vogel’-element zelf aan de tekst heeft toegevoegd om Alexanders dood aan te kondigen.

Gezien de hoge koorts en het ernstige ziektebeloop ligt een malaria-infectie het meest voor de hand, maar een westnijlvirusinfectie kan niet uitgesloten worden. De werkelijke doodsoorzaak blijft voorwerp van speculatie.

2.5 Dengue, zika en chikungunya, ver weg en dicht bij huis

– Annemiek van der Eijk & Mariana de Mendonça Melo

Een tien weken zwangere vrouw meldt zich begin januari 2016 bij haar huisarts met klachten van hoofdpijn, gewrichtspijnen en jeukende huiduitslag. Ze is drie dagen daarvoor teruggekomen uit Suriname. Zij heeft daar met kerst haar familie bezocht en is veelvuldig gebeten door muggen. Ze wil graag weten of de muggenbeten schadelijk zijn voor haar ongeboren kind.

Deze vraag komt niet uit het niets. In 2015-2016 was er namelijk een grote uitbraak van het zikavirus in Midden- en Zuid-Amerika en het Caribisch gebied. Infecties door het zikavirus verlopen over het algemeen mild, maar tijdens deze uitbraak werden er steeds meer kinderen geboren met een te kleine schedelomtrek, omdat de hersenen zich niet volledig hebben ontwikkeld (microcefalie). Daarnaast traden er verlammingen op bij mensen die geïnfecteerd waren (syndroom van Guillain-Barré).

Oude bekenden

Het zikavirus dat op het westelijk halfrond arriveerde, was geen onbekende; in 1947 was het ontdekt in het Ziika-bos in Oeganda, tijdens een onderzoek naar gele koorts bij wilde apen. Voordat het zikavirus

verscheen, had het westelijk halfrond in 2013-2015 al te maken gehad met uitbraken van een ander virus, het chikungunyavirus, dat in 1952 ontdekt was bij leden van de Makondestem in Tanzania. Dit muggen-overdraagbare virus verspreidt zich net als het zikavirus via geïnfecteerde reizigers, die het virus vervolgens overbrengen op lokaal aanwezige steekmuggen. In 2004-2007 veroorzaakte het chikungunyavirus een zich snel verspreidende epidemie die begon met een uitbraak op het Oost-Afrikaanse kusteiland Réunion en die vervolgens de Indische Oceaan overstak naar Azië. In 2013 arriveerde het chikungunyavirus op het westelijk halfrond.

Onder al het geweld van het zika- en chikungunyavirus verdween de aandacht voor het denguevirus naar de achtergrond. Het denguevirus veroorzaakt al decennialang uitbraken van knokkelkoorts, met jaarlijks honderd tot vierhonderd miljoen besmettingen.

Verspreiding via de gelekoortsmug of de tijgermug

De verspreiding en overdracht van het dengue-, het zika- en het chikungunyavirus naar de mens in de tropische gebieden van Midden- en Zuid-Amerika, inclusief het Caribisch gebied, gebeurt met name door de gelekoortsmug (*Aedes aegypti*). De Aziatische tijgermug (*Aedes albopictus*) is verantwoordelijk voor de verspreiding onder mensen van chikungunya- en denguevirus in andere delen van de wereld, zoals Afrika en Azië.

Door de aanwezigheid van de tijgermug in Zuid-Europa vinden ook daar sporadisch besmettingen of uitbraken plaats met deze drie virussen, nadat ze door lokale muggen zijn opgepikt uit het bloed van reizigers uit regio's waar deze virussen algemeen aanwezig zijn. Zo zijn er in Italië uitbraken geweest van chikungunya en dengue (2007, 2017, 2020), in Kroatië van dengue (2010) en kent Frankrijk vrijwel jaarlijks lokale besmettingen met dengue, chikungunya of zika (zie kader 2.5 Dengue in Zuid-Frankrijk: het relaas van een patiënt). Wanneer een besmetting met één van deze virussen wordt vastgesteld, treedt meteen een bestrijdingsplan in werking om verdere verspreiding tegen te gaan en om te voorkomen dat de virussen permanent voet aan de grond krijgen in Zuid-Europa.

> **Figuur 15. Vier belangrijke muggenvectoren van vijf belangrijke muggenoverdraagbare ziekten.** © Anders Lindström en CDC



gelekoortsmug
Aedes aegypti

vrouwte



Aziatische tijgermug
Aedes albopictus

vrouwte



gewone steekmug
Culex pipiens

vrouwte



malaria mug
Anopheles spp.

vrouwte



1

chikungunya

Geïnfecteerde mensen hebben koorts en hevige gewrichtspijn, verschijnselen die maanden kunnen aanhouden.

2

zika

Milde ziekte met lichte klachten, lage koorts en jeuk, maar in de meeste gevallen asymptomatisch. Bij pasgeborenen kunnen ernstige complicaties optreden, zoals hersenbeschadiging door een verkleinde schedelomvang.

3

dengue (knokkelkoorts)

De meeste geïnfecteerden hebben koorts die zeven dagen aanhoudt. Jaarlijks zijn er wereldwijd zo'n 390 miljoen gevallen, wat het de belangrijkste door muggen overgedragen ziekte maakt.

4

westnijkoo

Met name onder ouderen komen ernstige ziekteverschijnselen voor. Naar schatting wordt gemiddeld 1 op de 225 geïnfecteerde personen ernstig ziek.

5

malaria

De ziekte kost wereldwijd jaarlijks ongeveer 450.000 doden. Vroege diagnose en snelle behandeling kan ziekte en dood voorkomen. Profylaxe is beschikbaar.



FEIT OF FABEL? Meerdere muggenbeten bij elkaar kunnen van één mug zijn

FEIT Wanneer een vrouwtjesmug tijdens het bloedmaal wordt verstoord, kan ze direct opnieuw bijten om voldoende bloed te verzamelen. Meerdere beten vlak bij elkaar kunnen dus van dezelfde mug zijn die steeds werd gestoord, maar ook van meerdere muggen. Muggen doen ook vaak proefboringen terwijl ze over de huid lopen op zoek naar een goede plek om bloed te tappen. Ook daardoor kan één mug meerdere muggenbulten veroorzaken.

Of via seksueel contact

Het zikavirus is het eerste muggenoverdraagbare virus waarvan is vastgesteld dat het ook via seksueel contact kan worden overgedragen. In 2008 keerde een Amerikaanse onderzoeker uit Senegal terug naar Colorado in de Verenigde Staten. Een week na thuiskomst werd hij ziek. Een aantal dagen later werd zijn vrouw, die niet in Afrika was geweest, ook ziek. Bij beiden werd besmetting met het zikavirus vastgesteld. Aangezien de muggensoorten die het zikavirus kunnen overdragen niet in Colorado voorkomen, was de meest aannemelijke verklaring dat het virus is overgedragen tijdens seksueel contact dat had plaatsgevonden voordat de man klachten kreeg. Tijdens de grote uitbraak in 2015-2016 werden meer gevallen van seksuele overdracht van het zikavirus beschreven en werd de aanwezigheid van het virus in sperma aangetoond.

Vergelijkbare ziekteverschijnselen

Na een muggenbeet waarbij virus wordt overgedragen, kunnen binnen een tot veertien dagen ziekteverschijnselen optreden. De meeste mensen krijgen de eerste klachten na een incubatietijd van drie tot zeven dagen. De ziekteverschijnselen van dengue, zika en chikungunya lijken erg op elkaar (zie tabel 1). Dit maakt het voor artsen erg moeilijk om op basis van een ziektebeeld vast te stellen wat de patiënt onder de leden heeft. De naam 'chikungunya' is ontleend aan het Makonde en betekent 'dat wat krombuigt'. Daarmee verwijst de naam, net zoals 'knokkelkoorts' (dengue), naar de soms invaliderende gewrichts-

klachten. Meer dan 75 procent van de mensen die besmet raken met deze virussen heeft echter geen of alleen milde klachten. De belangrijkste verschijnselen zijn koorts, huiduitslag, hoofd- en spierpijn en gewrichtsklachten.

Tegen dengue, chikungunya en zika is geen gerichte behandeling of vaccinatie beschikbaar; alleen de symptomen kunnen worden bestreden, bijvoorbeeld met pijnstillers. Daarom zijn maatregelen die voorkomen dat de mug kan bijten, zoals het dragen van bedekkende kleding en het insmeren van de onbedekte huid met een muggenwerend middel, van groot belang.

Jaarlijks worden in Nederlandse ziekenhuizen veel reizigers opgevangen die met een van deze infecties zijn teruggekeerd. Reizigersgeneeskundigen wereldwijd moeten continu up-to-date zijn om reizigers te kunnen informeren over risico's en te adviseren over beschermende maatregelen (zie 2.7 Vakantiegevers zijn soms net kanaries, en 3.2 Het gevaarlijkste dier op aarde).

kenmerk	zika	dengue	chikungunya
koorts	🦟🦟🦟	🦟🦟🦟	🦟🦟🦟
spierpijn/gewrichtspijn	🦟🦟	🦟🦟🦟🦟	🦟🦟🦟🦟
huiduitslag	🦟🦟	🦟🦟	🦟🦟🦟
jeuk	🦟🦟	🦟🦟	🦟🦟
conjunctivitis ¹	🦟🦟🦟	—	🦟
hevige pijn achter de ogen	🦟	🦟🦟	🦟🦟
oedeem in de ledematen ²	🦟🦟	—	—
lymfadenopathie ³	🦟	🦟🦟	🦟🦟
hepatomegalie ⁴	🦟	🦟🦟	🦟🦟
bloedingen	—	🦟	—

1 Ontsteking van het slijmvlies van het oog.

2 Vochtophoping waar vocht normaal niet of nauwelijks aanwezig is.

3 Opgezetten lymfeklieren.

4 Vergroting van de lever.

Tabel 1. Belangrijkste ziekteverschijnselen bij zika, dengue en chikungunya.

DENGUE IN ZUID-FRANKRIJK: HET RELAAS VAN EEN PATIËNT

– Opgetekend door Peter de Vries

‘Vakantie vieren we met het gezin altijd in een Europees land, wel in het zuiden om zeker te zijn van lekker weer. Zuid-Frankrijk is lekker warm, vrijwel altijd droog dus heerlijk buiten genieten van terrasjes en dineren onder een sterrenhemel. In ieder geval geen gedoe met vaccinaties, klamboes en het risico op nare virussen. Die verhalen hoor je soms van mensen na een verre reis. Niets voor ons.

Mijn vrouw ziet een tijgermug in de lavendel naast ons huis aan de Zuid-Franse kust; we lachen haar uit. Muggen zijn sowieso geen probleem, ze vinden mij niet lekker en dat beetje kriebelen...

De vakantie is alweer voorbij en we rijden terug met de auto. Ik heb last van mijn rechteroor. Dat oor dat altijd verstopt raakt en door het zwemmen in zee kan ontsteken.

Mijn dochter blijft achter bij een vriendinnetje. Ze krijgt koorts maar ach, je bent moe, te veel uitgeweest, een beetje koorts hoort daarbij. Paracetamol helpt redelijk, maar 41 °C koorts is wel veel.

Bij mij trekt de oorpijn na een paar dagen weg, maar dan komt de koorts. Neem maar geen paracetamol, zegt mijn vrouw, dan ziet de dokter hoe ziek je bent. Die middag constateert de dokter dik 40 °C koorts en voor het ontstoken oor krijg ik antibiotica.

Mijn dochter keert terug uit Frankrijk. Haar koorts is nog fors en haar huid ziet er vreemd uit: rood gespikkeld. Terwijl bij mij de koorts langzaam wegtrekt, gaat mijn dochter langs verschillende huisartsen. De eerste denkt aan Pfeiffer, de tweede ziet een huidandoening die nooit meer overgaat en bij de derde overheerst de angst voor corona, die vraagt wat ze in hemelsnaam komt doen. Pas als we bij een internist terecht komen worden de symptomen herkend: dengue.

Ook ik krijg dagen later die rare gespikkelde huid, vooral op mijn benen, alleen veel minder duidelijk. Ook ik had dus dengue.

Wat resteert is het verlies van een gevoel van veiligheid en de zorg om niet weer gebeten te worden. We sprayen veel en als mijn vrouw muggen herkent, lachen we niet meer.’

2.6 De wereld rond met drie zeldzame virusziekten

– Chantal Reusken & Heiman Wertheim

In de virologie was het tot voor kort een goed gebruik om nieuwe virussen te vernoemen naar de eerste vindplaats van het virus. Zo zijn het westnijlvirus, het usutuvirus en het zikavirus vernoemd naar locaties op het Afrikaanse continent. Tijdens de coronapandemie heeft de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) afstand genomen van deze oude traditie door de diverse varianten van het virus SARS-CoV-2 niet langer aan te duiden naar het land of de streek van herkomst maar met een letter uit het Griekse alfabet. Zo werden de Engelse en de Indiase variant omgedoopt tot ‘alfa’ en ‘delta’. Dit om stigmatisering van landen te voorkomen.

Veel virussen die door muggen naar de mens worden overgedragen zijn echter ontdekt in de jaren dertig tot zeventig van de twintigste eeuw en hun namen getuigen nog van de plaats van ontdekking. Een aantal belangrijke virussen uitgelicht.

Ross Rivervirus

In Australië worden de meeste muggenoverdraagbare ziekten bij mensen veroorzaakt door het Ross Rivervirus, in 1959 vernoemd naar de Ross River in Queensland, en het Barmah Forestvirus, in 1974 vernoemd naar de Barmah-moerasgebieden in Victoria. Voornamelijk het Ross Rivervirus veroorzaakt af en toe ook uitbraken op eilanden in de Grote Oceaan, zoals Nieuw-Guinea en Fiji. Kangoeroes en wallaby's zijn de voornaamste gastheren van deze virussen, die overgedragen worden door steekmuggen van de geslachten *Aedes* en *Culex*.

Er is een aantal gevallen bekend van Nederlandse toeristen die op vakantie in Australië met het Ross Rivervirus werden besmet. Begin 2015 werden bij een van de grootste uitbraken in Australië circa achtduizend mensen besmet. Besmettingen verlopen doorgaans (55-75 procent) zonder medische klachten, maar kunnen gepaard gaan met koorts, huiduitslag, algehele malaise en pijnlijke, opgezwollen gewrichten.

Sindbisvirus

Begin jaren vijftig van de vorige eeuw werd in de gemeente Sindbis in de Nijldelta, Egypte, een nieuw virus aangetroffen in steekmuggen en kraaien. Het virus werd 'sindbisvirus' genoemd. In de loop van de jaren zestig werd duidelijk dat ook mensen met het virus besmet konden worden. Het sindbisvirus is een vogelvirus dat tussen zangvogels en hoendervogels wordt overgedragen door *Culex*- en *Culiseta*-muggen. Af en toe worden ook mensen via een besmette steekmug geïnfecteerd; zij kunnen het virus echter niet verder verspreiden.

Het sindbisvirus komt voor in Afrika, Azië, Europa en Australië. Opmerkelijk is dat grote uitbraken onder mensen – met tussenpozen van jaren – in Europa alleen voor Scandinavië zijn beschreven. Besmetting van mensen vindt in Noord-Europa meestal plaats van juli tot en met september, wanneer er veel muggen zijn en veel mensen de bossen in-trekken om bessen te plukken. De ziekte wordt daarom in Zweden ook wel de 'augustus-septemberziekte' genoemd. Andere benamingen voor ziekte door het sindbisvirus zijn de ziekte van Ockelbo (Zweden) of Pogosta (Finland), en de Karelische koorts (Rusland).

Besmettingen van mensen zijn in Nederland nog niet beschreven, al doet de vondst van antistoffen in standvogels vermoeden dat het virus hier wel aanwezig is. Net zoals bij het verwante Ross Rivervirus, verloopt het merendeel van de besmettingen zonder klachten. Ziekte uit zich in lichte koorts, huiduitslag, gewrichtspijn en soms spierpijn en misselijkheid.

Oropouchevirus

In Trinidad werd in 1955 in een laboratorium bij de Oropouche-rivier een virus geïsoleerd uit bloed van een bosarbeider met koorts. Het virus kreeg de naam oropouchevirus. Vijf jaar later werd in Brazilië hetzelfde virus gevonden in een drievingerige luiaard. Ook kapucijn- apen, zwarte brulapen, zwartoorpenseelaapjes en stekelratten, maar ook vinkachtigen, tangaren en duiven kunnen reservoirs voor het oropouchevirus zijn.

Het virus wordt van dier naar dier overgebracht door steekmuggen van de geslachten *Aedes* en *Culex*. Af en toe worden in deze junglecyclus ook mensen geïnfecteerd. Grote uitbraken onder mensen vinden plaats in stedelijke gebieden nadat het virus via besmette personen

vanuit de jungle naar de stad is meegelift. Deze cyclus is vergelijkbaar met die van het gelekoortsvirus in Zuid-Amerika. Opmerkelijk is dat het virus in de stad niet via steekmuggen van mens naar mens gaat, maar via knutten, kleine steekvliegjes (*Ceratopogonidae*).

Sinds de ontdekking van het oropouchevirus zijn meer dan dertig uitbraken onder mensen beschreven in Peru, Trinidad en Tobago, Brazilië en Panama. Hierbij zijn vermoedelijk meer dan een half miljoen mensen besmet geraakt. Dit is waarschijnlijk nog een forse onderschatting omdat het ziektebeeld erg lijkt op dat van andere virusinfecties. Oropouchekoorts wordt naast plots hoge koorts gekenmerkt door algehele malaise zoals hoofdpijn, spierpijn, misselijkheid en braken, rillingen, gewrichtspijn en duizeligheid. Deze klachten gaan uiteindelijk vanzelf over en duren drie tot zes dagen.

Rijke historie

De reis langs plekken op de wereld waar muggenoverdraagbare virussen en de ziekten die zij veroorzaken, ontdekt en vernoemd zijn, is nog veel langer. Inkoo (Finland), Tahyna (Tsjechië), Lacrosse (VS), Wesselsbron (Zuid-Afrika), Murray Valley (Australië), Iquitos (Peru), Caraparu (Brazilië) en Semliki forest (Oeganda) zijn slechts enkele voorbeelden van plekken die voortleven in de naam van een veelal minder bekend virus (zie ook 2.7 Vakantiegangers zijn soms net kanaries en 2.8 Exotische muggenvirussen).

Het is jammer dat deze traditie verloren lijkt te gaan. De benaming van virussen naar de eerste vindplaats zegt namelijk ook iets over de omstandigheden waaronder het virus gedijt en schetst de rijke historie van virusontdekkingen.



FEIT OF FABEL? Muggen vinden sommige mensen 'lekkerder' en die worden veel vaker gebeten

FABEL De ene mens is niet 'lekkerder' of heeft een 'dunnere huid' dan de andere. Misschien worden deze mensen door hun lichaamsgeur en CO₂-uitstoot wel makkelijker gevonden door muggen. Een andere factor is dat sommige mensen veel minder last hebben van muggenbeten doordat ze weinig of geen muggenbulten ontwikkelen, waardoor het lijkt of ze minder worden gebeten.

2.7 Vakantiegangers zijn soms net kanaries

– Leo Visser & Bram Goorhuis

Vroeger werden kanarievogels gebruikt om mijnwerkers te waarschuwen voor giftige gassen diep onder de grond. Wanneer de vogel van zijn stokje viel, was er iets grondig mis en zaak zo snel mogelijk naar de bovengrond terug te keren. Vakantiegangers zijn soms net als deze ‘kanaries in een kolenmijn’. Ze kunnen onvermoed ziekteverwekkers oppikken op hun verre vakantiebestemming. Eenmaal terug in Nederland kan de ziekte zich openbaren en daarmee het eerste alarmsignaal zijn voor de lokale overheid van een uitbraak in een vakantieoord. De zieke reiziger vertelt dus iets over wat er zich afspeelt elders in de wereld. De volgende ziektegeschiedenissen illustreren dit.

Riftdalkoorts en malaria

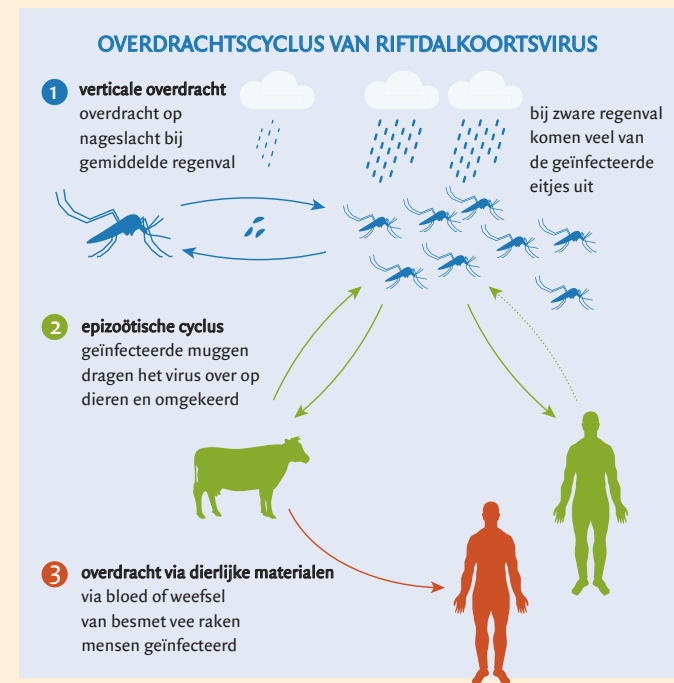
Een 58-jarige man is net teruggekeerd van een werkbezoek in Ethiopië. Na doorverwijzing door zijn huisarts bezoekt hij de reizigerskliniek wegens koorts, griepig gevoel en hoofdpijn. Tijdens zijn verblijf waren er opvallend veel muggen. Bij lichamelijk onderzoek viel de arts een kleinvlekkige huiduitslag op.

Een reiziger met koorts is best een puzzel voor een arts. Meestal is het een van de veelvoorkomende reizigersziekten met soortgelijke koortsklachten, zoals malaria, dengue en chikungunya, maar soms is het iets heel anders. Aan de hand van de reisroute, de tijd sinds terugkeer en klachten zoals vlekjes, gewrichtspijn, hevige hoofdpijn of opvallende bloedingen kan een arts de puzzelstukjes toch in elkaar schuiven. Laboratoriumonderzoek vormt dan het sluitstuk om het vermoeden te bevestigen. Bij de man werd uiteindelijk riftdalkoorts vastgesteld. De locatie, de tijd sinds terugkeer waarin de klachten waren ontstaan en het ziektebeeld van koorts met vlekjes passen hierbij.

Het riftdalkoortsvirus

– Leo Visser

Riftdalkoorts (Rift Valley fever) wordt veroorzaakt door een virus uit het geslacht van de phlebovirussen (familie Phenuiviridae). In het wild komt het virus voor bij vee in delen van Afrika en het Midden-Oosten. Doorgaans raken mensen besmet door contact met zieke dieren, maar ook *Culex*- of *Aedes*-muggensoorten kunnen het virus overbrengen naar de mens. Na overvloedige regenval zijn er zoveel muggen dat ook mensen muggenvoer worden en door geïnfecteerde muggen worden gebeten. Na een muggenbeet ontstaat meestal een onschuldig, griepig ziekte-



Figuur 16. Overdrachtscyclus van het riftdalkoortsvirus. © Stichting BWM

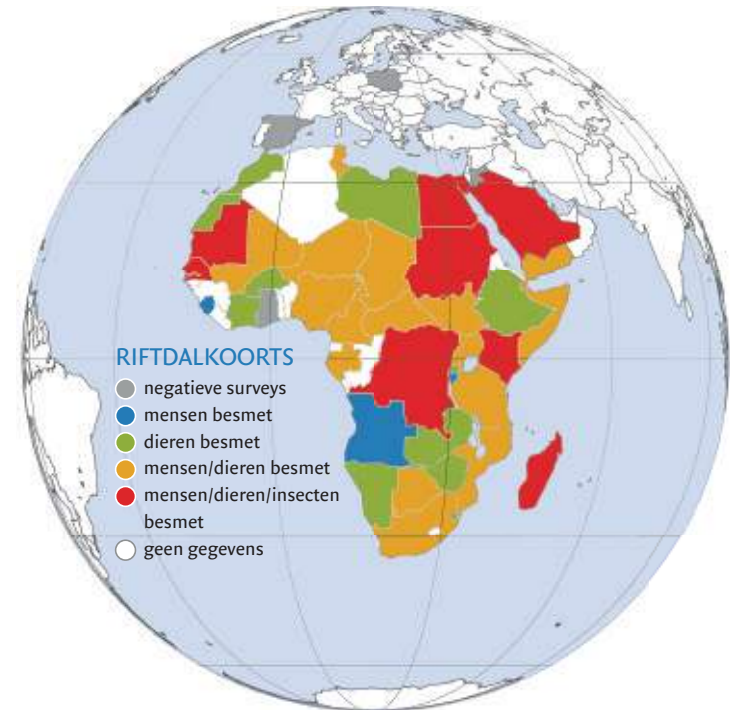
beeld. Maar soms kunnen ernstige klachten optreden zoals plotselinge bloedingen van huid en slijmvliezen, of oog- of hersenontsteking. Het gebied waar het riftdalkoortsvirus voorkomt, lijkt zich uit te breiden van Afrika naar het Midden-Oosten langs de wegen waar vee wordt verhandeld.

Een 70-jarige geoloog wordt met ernstige malaria opgenomen in het ziekenhuis. Aanvankelijk werd aan griep gedacht. Hij had zijn dochter in Zuid-Afrika bezocht en daar zou al jaren geen malaria meer voorkomen. De resultaten van het bloedonderzoek vertellen een heel ander verhaal. Bijna een vijfde van de rode bloedcellen bevat een of meer malariaparasieten. Later blijkt dat er in het gebied dat hij had bezocht voor het eerst sinds jaren weer malaria voorkwam. De overvloedige regenval had ervoor gezorgd dat de malariamuggen weer tot in dit gebied waren doorgedrongen.

Besmettelijke souvenirs

Dat reizigers infectieziekten als ongewenst souvenir kunnen meenemen is niet nieuw. Zo werd de pest vierhonderd jaar lang via de zijderoute en handelsschepen telkens opnieuw van Centraal-Azië naar Europa verscheept. Uit voorzorg werden de scheepsbemanning en hun handelswaar in quarantaine geplaatst om te voorkomen dat de pest in de havensteden voet aan wal zou zetten. Tegenwoordig zijn schepen door vliegtuigen vervangen. In 2019 werden 4,3 miljard mensen per vliegtuig vervoerd. De snelheid en schaalgrootte waarmee mensen en ziektekiemen zich over de hele wereldbol verplaatsen, zijn nog nooit zo groot geweest.

Bij het signaleren van deze bijzondere ontwikkelingen spelen reizigersklinieken een belangrijke rol. Ze houden als het ware de vinger aan de pols van de publieke gezondheid elders in de wereld. Sinds 1995 heeft een zestigtal reizigersklinieken van over de hele wereld zich verenigd in het internationaal netwerk Geosentinel om informatie met elkaar en de lokale autoriteiten uit te wisselen. Zo werd in 2018 aan de hand van meerdere meldingen van gele koorts bij terugkerende reizigers uit Brazilië aangetoond dat de infectie zich had uitgebreid naar



Figuur 17. Landen met besmettingen van mensen, dieren en insecten met het riftdalkoortsvirus gedurende 1999-2021. Bron: van Gerken et al., 2021



FEIT OF FABEL? Muggen zoemen om je bang te maken

FABEL De beweging van de vleugels tijdens het vliegen veroorzaakt het zoemgeluid. Dus zoemen doet de mug niet expres. In de hele evolutie van de mug is het zoemen niet verdwenen, dus nadelig is het klaarblijkelijk niet. Afhankelijk van je gehoor en de frequentie van het zoemen, is het te horen.

randstedelijke gebieden die tot dan toe vrij waren geweest van gele koorts. Ook werd duidelijk dat dengue veel vaker in sub-Sahara Afrika voorkomt dan tot dan toe gedacht.

Dit geeft aan hoe belangrijk het is om de oorzaak van een ziekte vast te stellen: een zieke reiziger kan net als een kanarie de aanwezigheid van een opkomende infectieziekte verklikken.

2.8 Hebben exotische muggenvirussen vrij spel in de Nederlandse veehouderij?

– Paul Wichgers Schreur

Muggenoverdraagbare virusinfecties in de veehouderij gaan terug tot het allereerste begin van de domesticatie van vee, zo'n tienduizend jaar geleden. Van de ruim 3500 steekmuggensoorten in de hele wereld vindt maar een beperkt groepje de mens aantrekkelijk; het merendeel van de steekmuggen voedt zich bij voorkeur op andere dieren dan de mens. Door het houden van schapen, koeien, geiten, varkens en pluimvee, en de grote schaal waarop dit gebeurt, is het voor bepaalde muggensoorten wel heel makkelijk geworden om een bloedmaal te bemachtigen.

Daarnaast verschuiven door wereldwijde veranderingen in landgebruik, klimaat en mobiliteit de verspreidingsgebieden van exotische muggen en virussen voortdurend. Deze virussen introduceren vervolgens weer ziekten die van oudsher niet voorkomen in onze Texelaar schapen, zwartbonte melkkoeien en Friese stamboekpaarden.

Muggenplagen

In hartje zomer lopen paarden soms bijna volledig ingepakt in een deken in de wei. Dit is niet om ze te beschermen tegen de nachtelijke kou, maar tegen de overlast door hongerige steekmuggen en irritante vliegen. Deze vliegende deken geven Bonfire of Salinero net wat extra comfort. Bovendien dragen de dekens indirect bij aan het inperken van het risico op muggenoverdraagbare virusinfecties. Deze infecties zorgen steeds vaker voor problemen in mens en dier. Maar om nu alle koeien, schapen en varkens voortaan van een dekentje te voorzien en kippen onder een klamboe te huisvesten, dat is een weinig realistisch scenario. Er zullen in de toekomst andere maatregelen, zoals vaccinatie, nodig zijn om muggenvirussen buiten onze landsgrenzen te houden.

Ook koe Bertha, met haar rustige karakter en drie keer zo grote huidoppervlak als boer Herman, is stilstaand in een wei of stal zonder kleding een makkelijke prooi voor een hongerige mug. Als Bertha dan ook nog graag verkoeling zoekt in een nabij slootje met stilstaand water, of graag een kijkje neemt bij de oude gierkelder waarin regenwater is vermengd met mest, wordt het voor de muggen wel erg makkelijk gemaakt om binnen een paar weken miljoenen eitjes te leggen en een explosie aan nageslacht achter te laten.

Muggenplagen zijn op zichzelf al erg vervelend voor mens en dier, ze worden pas echt een probleem wanneer de muggen virussen met zich meedragen die ernstige ziekten veroorzaken. Een drietal voorbeelden van dit soort veterinaire virussen die ook mensen kunnen infecteren.

Het Japanse encefalitisvirus

Het Japanse encefalitisvirus, nauw verwant aan het westnijlvirus en usutuivirus (zie 2.4 Europa en de opkomst van het westnijl- en usutuivirus), is een van de belangrijkste muggenoverdraagbare virussen die problemen in de veterinaire sector veroorzaakt. Vooral varkens, paarden, ezels, runderen en vogels, met name reigers en ooievaarachtigen, zijn, naast de mens, gevoelig voor een infectie met dit virus. Bij paarden, ezels, runderen en mensen gaat het veelal om zenuwverschijnselen terwijl bij varkens abortus of doodgeboorte optreedt. Bij schapen, geiten, honden, katten en vogels verlopen besmettingen met het virus vaak zonder klachten.

Het virus komt vooralsnog voornamelijk voor in Azië waar het zich verspreidt met de hulp van *Culex*-muggen. Aangezien de Europese populatie aan landbouwhuisdieren behoorlijk lijkt op die van de Aziatische, en muggensoorten die het virus kunnen overdragen ook in Europa voorkomen, is de kans aanwezig dat het virus zich in de toekomst ook in Europa gaat vestigen. Voor zowel paarden, varkens als mensen zijn vaccins tegen dit virus beschikbaar.

Het riftdalkoortsvirus

Een ander virus dat ook aan de poorten van Europa rammelt, is het virus dat riftdalkoorts veroorzaakt. De ziekte kan tijdens uitbraken miljoenen dieren en tienduizenden mensen treffen (zie ook 2.7 Vakan-

tiegangen zijn soms net kanaries). Het virus veroorzaakt vooral ernstige ziekte in schapen, maar ook runderen en geiten zijn gevoelig. Bij pasgeboren lammeren kan het overlijdenspercentage oplopen tot 100 procent. Daarnaast veroorzaakt het virus in drachtige schapen massaal abortus.

Het verspreidingsgebied van het riftdalkoortsvirus is tot nu toe beperkt gebleven tot Afrika en het Arabische schiereiland. De muggensoorten (van de geslachten *Culex* en *Aedes*) die het virus in deze gebieden verspreiden, komen echter ook in West-Europa en Noord-Amerika voor. Ook voor dit virus zal het een kwestie van tijd zijn voordat de eerste gevallen in Europa worden gemeld. Of de muggen en het virus zich in het Nederlandse klimaat kunnen handhaven, is nog lastig in te schatten.

De equine encefalitisvirussen

Er zijn drie verschillende virussen die hersenontsteking bij paarden kunnen veroorzaken, oftewel equine encefalitisvirussen. Deze drie virussen, te weten de Westerse, Oosterse en Venezolaanse equine encefalitisvirussen, komen momenteel in met name Midden- en Zuid-Amerika voor maar rukken op naar andere delen van de wereld, inclusief Europa. Deze virussen vermenigvuldigen en verspreiden zich op grote schaal in vogels via steekmuggen, onder andere *Culiseta melanura*. Het virus wordt af en toe overgebracht op paarden en soms op mensen, die eindgastheren zijn. Paarden ontwikkelen koorts, anorexia en soms ernstige zenuwverschijnselen ten gevolge van hersen(vlies)ontsteking, veelal met een fatale afloop.

Er zijn nog veel meer virussen die de veehouderij bedreigen. Deze kunnen verspreid worden via muggensoorten die al in Nederland aanwezig zijn of die zich hier nieuw vestigen. Van een groot aantal van deze virussen is al veel bekend. Er zijn zelfs al vaccins tegen ontwikkeld.

Toch kunnen we altijd worden verrast door een volledig onbekend muggenoverdraagbaar virus. Daarom blijft voortdurend onderzoek nodig naar interacties tussen mug, virus en dier, naar vaccins en naar virusverspreiding.

3 Diagnose, behandeling en preventie van muggenoverdraagbare infectieziekten

3.1 De detective: van kliniek tot laboratorium en terug

– Corine Geurts van Kessel & Johan Reimerink

Het werk van een (arts-)microbioloog in een laboratorium is te vergelijken met dat van Sherlock Holmes die altijd op zoek is naar ‘de dader’. Om de dader – in dit geval de ziekteverwekker – te identificeren is het belangrijk dat het arsenaal aan laboratoriumtechnieken up-to-date is. Om de pakkans te verhogen, moeten de onderzoekers verder een uitgebreide kennis hebben van ziektebeelden, symptomen, mogelijke ziekteverwekkers en welke laboratoriumtechnieken nodig zijn om die op te sporen. Soms is de dader snel gevonden, vaak komt er heel wat speurwerk aan te pas wanneer de boosdoener niet op het lijstje van meest waarschijnlijke ziekteverwekkers voorkomt.

Ziek terug van vakantie

Op een dag komt er een tiener met ouders op de tropenpoli. Het gezin was net teruggekeerd van zomervakantie in Azië. Alleen de laatste paar dagen was de tiener misselijk geworden, ze moest overgeven,

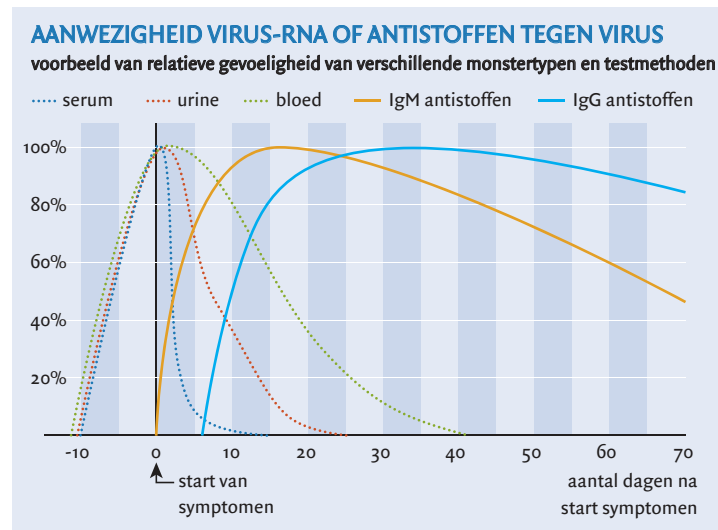
had hoofdpijn en een beetje koorts. De ouders vertelden enthousiast dat ze tijdens de rondreis door de jungle hadden gewandeld en lekker hadden gegeten. Het enige nadeel waren de vele muggen in de avond.

De poli-arts neemt contact op met het laboratorium, vertelt het verhaal en vraagt welke diagnostiek hij moet aanvragen. De microbioloog haalt direct een aantal aanwijzingen uit het verhaal omtrent de locatie, de duur van de klachten, blootstelling aan muggen en eventuele dieren, en mogelijke voedsel gerelateerde infecties. De microbioloog maakt een lijstje met mogelijke verwekkers, hoe deze zijn aan te tonen en welke lichaamsmaterialen (bloed, urine, feces) van de patiënt hiervoor nodig zijn. Ook bedenkt de arts welke informatie er nog ontbreekt in het verhaal en welke vragen de poli-arts nog moet stellen. Zo is het bijvoorbeeld belangrijk om te weten of de tiener voor de vakantie gevaccineerd is, en zo ja, waartegen.

Zoeken naar het virus en antistoffen

Een virale infectie kan worden aangetoond door het virus zelf of het erfelijke materiaal van het virus in het bloed van de patiënt op te sporen. Dat geeft vaak het snelste resultaat, maar het nadeel is dat het tijdsvenster waarin dit kan voor veel muggenoverdraagbare infecties maar heel kort is. Op het moment dat een patiënt bij de dokter komt en de klachten heel hevig zijn, kan het toch zo zijn dat het virus niet meer te vinden is. De klachten kunnen het gevolg zijn van schade die het virus of de eigen afweerreactie heeft aangebracht. Daarom kijken onderzoekers of er antistoffen aanwezig zijn die door het immuunsysteem zijn gemaakt tegen het virus. Antistoffen zijn een belangrijk onderdeel van de afweer tegen een virusinfectie; ze binden aan het virus en kunnen zo voorkomen dat er nieuwe lichaamscellen worden geïnfecteerd. Ze maken het virus onschadelijk. Vaak worden antistoffen gevonden binnen een week na het ontstaan van de klachten, de eerste dagen zijn ze nog niet aantoonbaar.

De tiener wordt daarom gevraagd om bloed en ontlasting te geven voor een PCR-onderzoek naar het erfelijke materiaal (DNA of RNA) van specifieke virussen. Dit zijn na een reis naar de tropen de bekende reizigersvirussen die vaak door muggen worden overgedragen, maar het is ook belangrijk om naar virussen te kijken die overal zijn op te lopen,



Figuur 18. Theoretische weergave van de aanwezigheid van virus-RNA in lichaamsvloeistoffen (gestippelde lijnen) en de antistofreactie tegen het virus in serum (oranje en blauwe lijnen). Bron: RIVM

zoals bijvoorbeeld het cytomegalovirus en het Epstein-Barrvirus, veroorzaker van de ziekte van Pfeiffer. Omdat de tiener voor de reis niet was gevaccineerd tegen reizigersziekten, maar wel haar vaccinaties tegen kinderziekten heeft gehad, wordt in eerste instantie gezocht naar tropische virussen: het chikungunya-, zika-, dengue- en Japanse encefalitisvirus. De ontlasting wordt onderzocht op aanwezigheid van virale veroorzakers van diarree.

Kruisreacties

In het bloed van de tiener vinden de onderzoekers al snel een spoortje virus-RNA van het Japanse encefalitisvirus, waarmee de dader lijkt te zijn gevonden. De antistoffen tegen het Japanse encefalitisvirus zijn torenhoog in het bloed, maar er worden ook antistoffen gevonden tegen het zika-, dengue- en gelekoortsvirus, allemaal virussen uit het geslacht van de flavivirussen. Deze vondst is op zich niet vreemd, het is bekend dat testen die antistoffen aantonen tegen deze flavivirussen

niet erg specifiek zijn. Dat betekent dat als er in bloed veel antistoffen zitten tegen Japanse encefalitisvirus, de test ook tegen het denguevirus een positief signaal kan geven. Dit heet kruisreactiviteit, een verwarrend maar bekend fenomeen. Daarom is het van groot belang om op het laboratorium ervaren microbiologen te hebben die weten hoe ze testuitslagen moeten interpreteren. Bij twijfel of bij een bijzondere uitslag wordt soms een specialistisch laboratorium geraadpleegd voor bevestiging van de diagnose, bijvoorbeeld door te kijken hoe de antistoffen precies werken en aan welk virus ze kunnen binden: de virusneutralisatietest (zie kader 3.1 Bloedonderzoek op virusinfectie: een lastige klus).

Bloedonderzoek op virusinfectie: een lastige klus

– Johan Reimerink & Corine Geurts van Kessel

Of iemand besmet is met een muggenoverdraagbaar virus, is niet altijd eenvoudig met zekerheid vast te stellen. In het lab moet dan in het afgenomen bloed van een patiënt specifieke antistoffen tegen dat virus worden gevonden die het immuunsysteem heeft aangemaakt. Er zijn drie verschillende typen antistoffen in het spel. Zodra het lichaam de aanwezigheid van een virus als een indringer herkent, worden eerst zogenaemde IgM- en IgA-antistoffen aangemaakt. Daarna volgen de IgG-antistoffen. Deze antistoffen binden zich aan de eiwitten aan de buitenkant van het virus waardoor het niet meer aan onze cellen kan hechten, de cel binnendringen en zich vermenigvuldigen.

IgM en IgA-antistoffen zijn meestal alleen vlak na de infectie aanwezig en zijn maar kort – ongeveer drie maanden – aan te tonen. IgG-antistoffen daarentegen kunnen jaren aanwezig blijven in het bloed. Dat betekent dat het aantonen van IgG-antistoffen niet direct zegt of de infectie recent heeft plaatsgevonden. Daarnaast worden deze antistoffen ook aangemaakt na vaccinatie. Voor enkele muggenoverdraagbare infectieziekten bestaan al vaccins, bijvoorbeeld voor gele koorts, het Japanse encefalitis en sinds kort, malaria.

Een ander probleem bij diagnostiek is dat antistoffen, opgewekt door een virusinfectie, in de test vaak niet alleen reageren met indicatoren voor dat specifieke virus, maar ook met die voor verwante virussen. Daarnaast kunnen ook antistoffen die zijn opgewekt door vaccinatie tegen verwante virussen of door eerdere onopgemerkte virusinfecties het testresultaat verstoren. Hierdoor is het soms moeilijk om op basis van een enkele antistoftest precies vast te stellen met welk virus iemand besmet is.

Dit kan worden opgelost door veertien dagen later nog een keer een bloedantistoftest uit te voeren. In geval van een nieuwe infectie zal de hoeveelheid IgG zijn toegenomen en IgM meestal al zijn afgenomen. Een andere oplossing is het uitvoeren van een virusneutralisatietest, die aantoont of de antistoffen in het bloed ook echt in staat zijn aan het virus te hechten. Deze test is veel specifiek, maar wordt alleen gedaan door specialistische laboratoria omdat hier het kweken van cellen en infectieus virus bij nodig zijn.

Tot slot is er nog een ander fenomeen dat bloedonderzoek op antistoffen bemoeilijkt: de zogenaemde *original antigenic sin*. Dit fenomeen kan optreden als een persoon achtereenvolgens geïnfecteerd wordt met virussen die erg op elkaar lijken. Het immuunsysteem reageert op de nieuwe infectie met het immunologisch geheugen tegen de oudste infectie. Een bloedantistoftest is dan lastig te interpreteren, want die meet voornamelijk antistoffen tegen de infectie die al door het lichaam is opgeruimd.



FEIT OF FABEL? Vrouwjesmuggen steken vaker dan mannetjes

FEIT Officieel steken muggen niet, maar bijten ze en zuigen bloed. Alleen vrouwjesmuggen bijten. Ze hebben het bloed nodig om hun eitjes te ontwikkelen. Normaliter is één beet voldoende voor een pakketje van vijftig tot honderdvijftig eitjes. Na het leggen van de eitjes gaat het vrouwtje opnieuw op zoek naar bloed.

3.2 Het gevaarlijkste dier op aarde

– Bram Goorhuis

Niet de leeuw of de gifslang, maar de mug is voor de mens het dodelijkste dier op aarde. Indirect is de mug verantwoordelijk voor ongeveer twee miljoen doden per jaar. Het gevaar berust op een ruim arsenaal aan ziekteverwekkers dat door muggen kan worden overgedragen. De bloedparasiet die malaria veroorzaakt is hiervan de bekendste. Daarnaast kunnen muggen vele virussen overbrengen zoals het gelekoorts-, dengue-, zika- en chikungunyavirus (zie hoofdstuk 2).

De aanwezigheid van malariaparasieten en muggenoverdraagbare virussen verschilt per land en continent en is afhankelijk van vele factoren, waaronder de aanwezigheid van geschikte muggensoorten (zie 2.1 Het virus en de mug: niet altijd een gelukkig stel) en het lokale klimaat. Actuele kennis over waar de bijbehorende infectieziekten heersen is een belangrijk hulpmiddel bij het stellen van de juiste diagnose van infecties bij reizigers (zie 2.7 Vakantiegangers zijn soms net kanaries).

Importziekte

In Nederland zien we malaria vooral als importziekte bij teruggekeerde reizigers die geen malariaprofylaxe hebben gebruikt tijdens hun verblijf in gebieden waar de ziekte heerst. Malariaprofylaxe betekent het preventief slikken van malariatabletten waarmee de ziekte kan worden voorkomen. Het grote risico bij malaria, met name indien veroorzaakt door *Plasmodium falciparum*, is de snelheid waarmee de ziekte uit de hand kan lopen. Het begint met een griepachtig beeld, maar kan al binnen enkele uren overgaan in een ernstige ziekte, die zonder snel medisch handelen fataal verloopt. Voor een arts is malaria daarom een medisch noodgeval, waarbij direct moet worden ingegrepen. Het is dus uitermate belangrijk om bij elke teruggekeerde reiziger uit malariagebieden met koorts aan malaria te denken.

De reden dat malaria zo snel dodelijk kan zijn, is dat de malariaparasieten met exponentieel toenemende snelheid rode bloedcellen kunnen infecteren en vernietigen. Door het massaal verdwijnen van de

rode bloedcellen ontstaat ernstige bloedarmoede. Hiernaast zorgen de verwoeste rode bloedcellen voor massale ontsteking en het ontstaan van stolsels in de bloedvaten, waardoor de hersenen en andere vitale organen in gevaar komen, leidend tot coma, shock en uiteindelijk de dood. Daarom moet bij een vermoeden van malaria direct op de ziekte worden getest.

Wanneer de patiënt malaria blijkt te hebben, moet de behandeling onmiddellijk worden gestart onder observatie van een arts. De meest gebruikte malariamiddelen zijn tegenwoordig artemether/lumefantrine en artesunaat. Tijdige behandeling leidt in vrijwel alle gevallen tot een snelle verbetering van de symptomen, omdat de bloedparasieten door deze medicatie heel effectief worden gedood. Een gevaar voor de toekomst is dat de malariaparasieten resistent worden tegen deze middelen. Dit is inmiddels in Afrika al waargenomen.

Virusinfecties

Naast malariaparasieten kunnen muggen ook bepaalde virussen overbrengen (zie hoofdstuk 2). Tegen deze virussen is in het algemeen geen gerichte behandeling beschikbaar, zoals voor malaria. Toch kan opname in het ziekenhuis bij ernstig verlopende virusinfecties levensreddend zijn. De patiënt kan dan worden ondersteund met vochttoediening, nierdialyse en indien nodig opname op de intensive care.

Omdat ook deze virusinfecties beginnen met een griepachtig ziektebeeld, is het in de eerste plaats belangrijk om malaria uit te sluiten. Ook al is er geen gerichte behandeling beschikbaar, toch is het belangrijk om te weten welk virus de ziekteverwekker is. Het ziektebeeld kan dan verder worden gevolgd en de patiënt wordt niet meer blootgesteld aan allerlei onderzoeken van bezorgde dokters, die ook belastend zijn.

Het vaststellen van een virusinfectie kan een signaal zijn dat ergens op de wereld een uitbraak gaande is. In veel gebieden waar deze virussen heersen wordt namelijk nauwelijks getest. Zo kunnen reizigersklinieken een signaal oppikken dat in een bepaalde regio in de wereld een uitbraak gaande is (zie 2.7 Vakantiegangers zijn soms net kanaries).

3.3 Veilige bloedtransfusie en muggenoverdraagbare virussen

– Hans Zaaijer

Bloedtransfusies kunnen infecties overbrengen van de ene op de andere mens. Ook al voelt een bloeddonor zich gezond, toch kan hij of zij een infectie onder de leden hebben. Daarom wordt in Nederland elke bloeddonatie getest op aanwezigheid van hiv, syfilis en hepatitis B, C en E. Om te bewaken of dit voldoende is, komt de laatste elf jaar de Werkgroep Opdoemende Bloedoverdraagbare Infecties van Sanquin Bloedvoorziening elke twee weken bijeen. Deze werkgroep houdt bij waar ter wereld infectieziekten opduiken die een bedreiging voor de Nederlandse bloedtransfusie kunnen zijn. Vaak betreft dat uitbraken van door muggen overdraagbare virussen, zoals het westnijl-, dengue-, zika- en chikungunyavirus.

Ingevlogen bedreigingen

Een uitbraak aan de andere kant van de wereld kan een directe bedreiging zijn voor de veiligheid van bloedtransfusie in Nederland. Immers, Nederlandse toeristen kunnen daar een virus oplopen en na terugkomst bloed doneren. Omdat het onmogelijk is om sluitend bij te houden in welke streek, wanneer welke uitbraak woedt, geldt voor elke terugkerende reiziger van buiten Europa een simpele regel: minstens vier weken na terugkomst geen bloed geven. Soms is langer uitstel nodig, bijvoorbeeld vanwege kans op malaria.

Binnen Europa is er een gestaag uitdijend gebied waar het westnijlvirus voorkomt. De Nederlandse bloedvoorziening zou te veel donaties mislopen als ook binnen Europa elke reizende donor gedurende de eerste vier weken na terugkomst geen bloed mag doneren. Daarom houdt de werkgroep precies bij, waar in Europa westnijlvirusinfecties bij de mens optreden. Voor donoren die terugkeren uit die Europese gebieden geldt ofwel een uitstel van vier weken, of hun donatie wordt preventief getest op het westnijlvirus.

In Nederland houden we er al lange tijd rekening mee dat het westnijlvirus inheems kan worden. Het breed testen van bloeddonaties op westnijlvirus-RNA is, in afwachting van de eventuele vestiging voorbe-

reid en geïmporteerd. In de zomer van 2020 was het zo ver: bij een grasmus en bij muggen werd het westnijlvirus aangetroffen. Snel daarop werd de infectie vastgesteld bij acht Nederlanders die niet hadden gereisd (zie 2.4 Europa en de opkomst van het westnijl- en usutu-virus en 4.5 Meer zicht op het westnijlvirus in mensen). Volgens plan werd in Nederland gestart met het testen van alle bloeddonaties in de getroffen regio's op het westnijlvirus.

De ernst van infecties door transfusie

Alhoewel in grote delen van de wereld uitbraken van dengue, zika en chikungunya hebben gewoed, is het aantal gemelde ernstige infecties door besmette bloedtransfusies bij die uitbraken minimaal gebleven. Toch maakte een flink aantal donoren op het moment van donatie een infectie door, zonder het te weten en zonder ziekteverschijnselen.

Dat het aantal transfusieongelukken door besmette bloedtransfusies zo laag is, zou kunnen komen doordat sommige muggenoverdraagbare virussen geen of nauwelijks ziekte veroorzaken als de besmetting via transfusie optreedt. Dit in tegenstelling tot situaties waarbij het virus via een muggenbeet is opgelopen. Zelfs bij patiënten met een niet goed werkend immuunsysteem zijn transfusiebesmettingen zonder klachten beschreven. Wellicht hebben het zika-, dengue- en chikungunyavirus een bestanddeel nodig dat in muggenspeeksel zit. Bij de muggenbeet zou die factor samen met het virus in de huid komen en de witte bloedcellen activeren die het virus nodig heeft om een krachtige infectie tot stand te brengen. Bij bloedtransfusie ontbreekt het muggenspeeksel. Het westnijlvirus lijkt de ongunstige uitzondering. Besmettingen via transfusie en transplantatie hebben in de Verenigde Staten aan meerdere patiënten het leven gekost. De bloedvoorziening moet dus vrij zijn van westnijlvirus.

Voor het usutu-virus lijken veiligheidsmaatregelen voor bloedtransfusie niet nodig; over dengue, zika en chikungunya zijn de meningen verdeeld. Frankrijk heeft tijdelijke veiligheidsmaatregelen getroffen, zoals het testen van de donaties of het invliegen van bloed van elders tijdens uitbraken in Franse overzeese departementen.

De toekomst

Het deel van Europa waar het westnijlvirus voet aan grond krijgt, dijt gestaag uit; recente uitbreidingen zijn Duitsland, Andalusië en Nederland. In Zuid-Europa geven het dengue- en het chikungunyavirus steeds vaker kleine, lokale uitbraken, nadat een vakantieganger het virus meenam in zijn of haar bloed en lokale muggensoorten het virus oppikten en verder verspreidden. Er wordt dan ook rekening mee gehouden dat muggenoverdraagbare virussen in Europa steeds vaker en steeds dichterbij voorkomen.

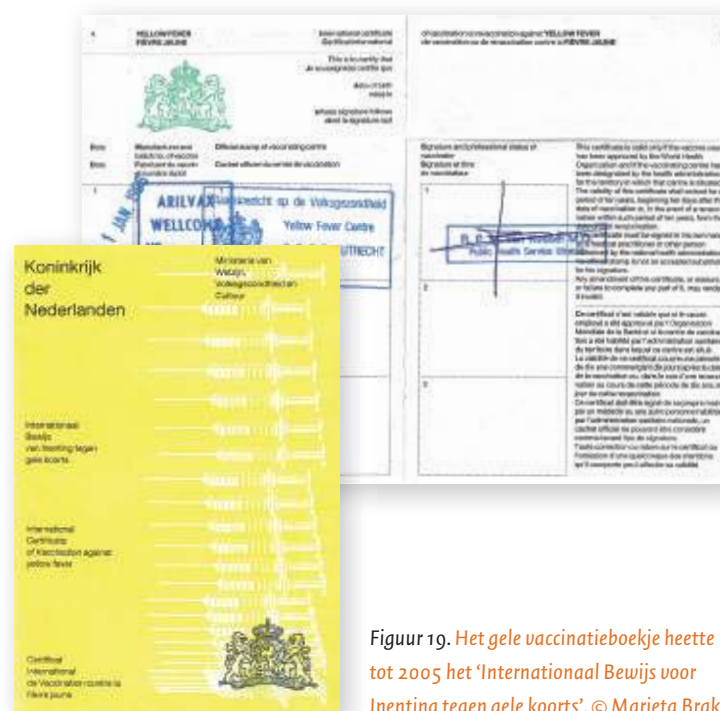
In de Europese Unie is de bloedvoorziening hierop alert en wordt via tijdige implementatie van maatregelen de bloedveiligheid gegarandeerd. Met het oog op de toekomst wordt er bijvoorbeeld gewerkt aan het onschadelijk maken van virussen in gedoneerd bloed. Voor de nog langere termijn wordt er gewerkt aan kunstbloed: gekweekte rode bloedcellen en bloedplaatjes, waarbij virusinfecties van buitenaf geen rol meer spelen.

3.4 Vaccinontwikkeling: een prik tegen een prik

– Paul Wichgers Schreur

Eén van de wapens in de strijd tegen muggenoverdraagbare infectieziekten vormen vaccinaties. De gemiddelde reiziger en backpacker weet dat naast reisadviezen over de algemene veiligheid en politieke situatie in een land ook een inenting belangrijk kan zijn om na een leuke vakantie niet met hoge koorts, huiduitslag en zenuwklachten in het ziekenhuis te belanden.

Er zijn echter tegen een beperkt aantal muggenoverdraagbare infectieziekten vaccins beschikbaar. Voor de mens zijn er vaccins tegen het Japanse encefalitisvirus en het gelekoortsvirus. Dat laatste is een van de oudste vaccins ter wereld, het werd voor het eerst ingezet in 1938. Daarnaast is in sommige landen een vaccin tegen het denguevirus toegelaten en in 2021 heeft de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) een malariavaccin voor kinderen goedgekeurd. Voor dieren, vooral paarden, zijn er ook vaccins beschikbaar tegen het westnijlvirus en in Afrika zijn er voor herkauwers vaccins tegen het riftdalkoortsvirus.



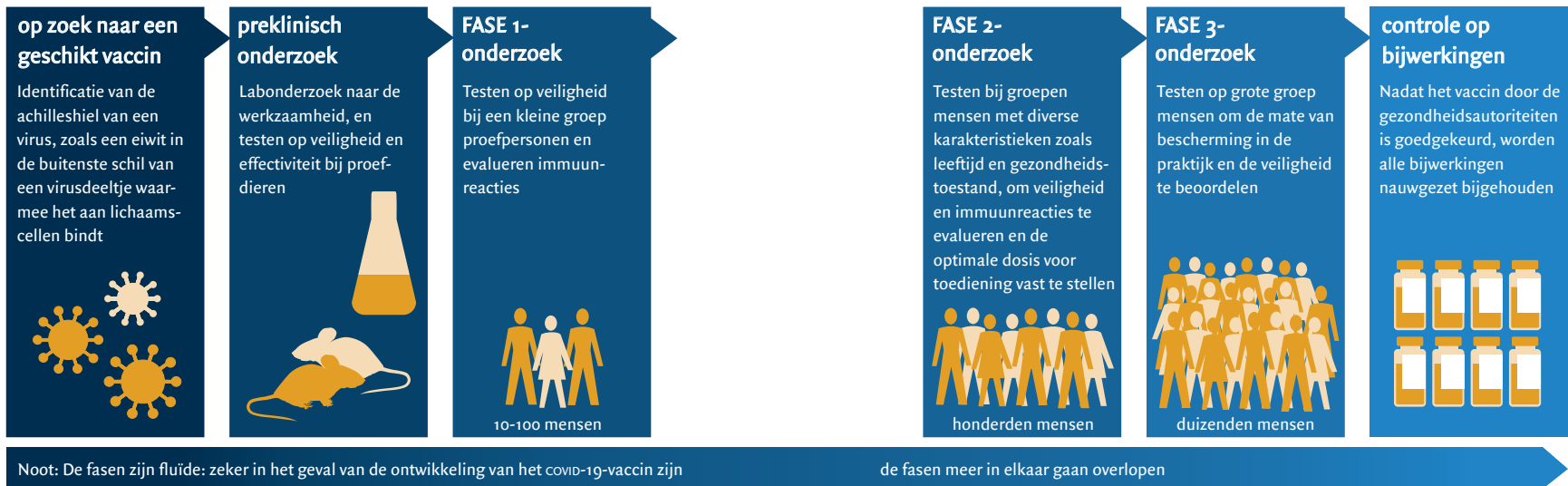
Figuur 19. Het gele vaccinatieboekje heette tot 2005 het 'Internationaal Bewijs voor Inenting tegen gele koorts'. © Marieta Braks

Het beruchte 'gele boekje', dat aan het begin van de zomer in 2021 massaal werd aangeschaft door reizend Nederland om de coronavaccinatie te registreren, dankt zijn kleur aan het nog steeds bestaande doel: de registratie van een vaccinatie tegen gele koorts, zodat men vrijelijk kon afreizen naar landen in Afrika en Zuid-Amerika waar deze inenting verplicht is.

Vaccinontwikkeling van A tot Z

Voor het ontwikkelen van goed werkende vaccins is het zaak de achilleshiel van de ziekteverwekker te identificeren. Die zwakke plek kan bijvoorbeeld een eiwit in de buitenste schil van een virusdeeltje zijn waarmee het virus aan lichaamscellen bindt om de cellen binnen te dringen en zich daar te vermenigvuldigen. Door het eiwit na te maken in het laboratorium en in een vaccin te verwerken, kan het immuunsysteem na vaccinatie hiermee kennis maken. Omdat het eiwit

VACCINONTWIKKELING VAN A TOT Z



Figuur 20. De verschillende fasen in de ontwikkeling van vaccins. Bron: Greenwood et al. (2008). Aanpassingen: Jos van den Broek

lichaamsvreemd is, valt het immuunsysteem dit eiwit aan. Bij een volgende confrontatie met dit eiwit, maar dan door een daadwerkelijke virusinfectie, zal het opgebouwde immunologische geheugen in staat zijn het virus effectief te lijf te gaan.

Ook is het mogelijk om het stukje eiwit te coderen in de vorm van messenger-RNA (mRNA) of een ander, niet-schadelijk virus met deze code te gebruiken als 'vectorvaccin'. Na de vaccinatie maakt het lichaam dan zelf de stukjes viruseiwit waarop het immuunsysteem kan reageren. Daarnaast bestaan er vaccins op basis van levend maar verzwakt virus, dat geen ernstige ziekte meer kan veroorzaken, zoals bij het gelekoortsvaccin.

Het vinden van de achilleshiel van een virus kan een tijdrovend proces zijn, zeker voor muggenoverdraagbare virussen waar nog niet zo veel over bekend is. Is er eenmaal een mogelijk vaccin gevonden, dan moet het eerst uitvoerig op veiligheid en effectiviteit worden getest in (dier)modellen en in grotere hoeveelheden worden geproduceerd.

Uiteindelijk wordt het getest in de mens in zogenoemde fase-I-, -II- en -III-onderzoeken. Dit kost bij elkaar al snel tientallen miljoenen euro's per vaccin.

Dat geld kwam bij de uitbraak van de coronapandemie gemakkelijk op tafel, maar bij de vele andere virusinfecties ligt dat toch wat lastiger. Voor muggenoverdraagbare virussen is het veelal een uitdaging om farmaceutische bedrijven enthousiast te maken voor het ontwikkelen en produceren van een vaccin. Voor hen is het een simpele afweging van kosten versus baten. Daarbij bestaat altijd de kans dat een bepaald vaccin niet zo goed werkt als aanvankelijk gedacht. In economisch opzicht zijn het dus bijna altijd hoogrisicoprojecten. Gelukkig zijn er tegenwoordig wel veel meer publiek-private initiatieven om gezamenlijk aan vaccintechnologie te werken. Een paar oude en recente voorbeelden.

Gelekoortsvaccin, klassiek maar zeer effectief

Eén van de bekendste reizigersvaccinaties is de inenting tegen gele koorts. Deze vaccinatie, die stamt uit de jaren dertig van de twintigste

eeuw, bevat een levend maar verzwakt gelekoortsvirus. Na de toediening van het vaccin gaat het lichaam antistoffen aanmaken tegen deze verzwakte variant en op het moment dat het immuunsysteem in aanraking komt met het ziekmakend virus zullen de antistoffen die tegen het vaccin waren ontwikkeld, bescherming bieden. Dit vaccin is zeer effectief en geeft veelal levenslange bescherming. Een nadeel is echter dat het gelekoortsvaccin vanwege een aantal bijwerkingen niet gebruikt kan worden bij mensen met een verminderde afweer of met bepaalde allergieën. De WHO heeft zich ten doel gesteld om in 2026 alle gelekoortsepidemieën in de wereld te hebben uitgebannen, onder andere door de massale uitrol van vaccins in risicolanden.

Chikungunya- en zikavirusvaccins

Voor het chikungunya- en het zikavirus, beide eveneens (sub)tropische virussen, is de vaccinontwikkeling pas de laatste jaren op gang gekomen (zie ook 2.5 Dengue, zika en chikungunya). Slechts enkele chikungunyavaccins zijn al in klinische onderzoeksfase III beland, de fase waarin het vaccin bij mensen wordt getest in een gebied waar het echte virus van nature voorkomt. Het zal nog wel even duren voordat er een of meer chikungunyavaccins op de markt komen. Ook voor het zikavirus zijn er diverse vaccins in ontwikkeling. Een paar daarvan bevinden zich al in onderzoeksfase I en II, maar de stap naar fase III en vervolgens de markt is nog behoorlijk groot.

Denguevaccins

De ontwikkeling van denguevaccins gaat al terug tot de jaren twintig van de twintigste eeuw. De ontwikkeling van een effectief denguevaccin is echter erg lastig gebleken doordat er vier verschillende typen denguevirus rondgaan waartegen het vaccin bescherming zou moeten bieden. Wanneer een persoon voor een tweede keer geïnfecteerd wordt, maar door een ander type denguevirus dan de eerste keer, kan dit tot zeer ernstige ziekte leiden. Dit kan mogelijk ook gebeuren bij een infectie na een eerdere vaccinatie met een ander virustype. De vaccinontwikkelaars moeten daarom goed onderzoeken of een vaccinatie tegen het denguevirus juist niet het tegenovergestelde bewerkstelligt van wat het doel is. Vanaf 2021 is in sommige landen één denguevaccin beschikbaar, gericht tegen alle vier de typen van het denguevirus.

Antimuggenvaccin

Een heel andere benadering is het voorkomen van virusoverdracht door een vaccin te ontwikkelen dat in de mug verder werkt. Nadat de steekmug gevaccineerd bloed heeft opgezogen, wekt het vaccin in de mug een reactie op tegen de eiwitten in het muggenspeeksel. Hierdoor krijgt het virus geen kans om in de speekselklieren van de mug terecht te komen (zie 2.1 Het virus en de mug) en dus om de mens te infecteren. Deze antimuggenvaccins zijn al bewezen effectief in dieren en zijn onlangs ook voor het eerst in mensen getest op veiligheid. Vervolgstudies zullen moeten uitwijzen of ze hun belofte waar kunnen maken, maar het is in ieder geval een zeer innovatieve en elegante manier om de risico's van muggenbeten in te dammen.



FEIT OF FABEL? Citronellakaarsen houden muggen op afstand

ONBEKEND Het is niet bekend hoe groot de invloed is van citronellakaarsen in het op afstand houden en voorkomen van muggenbeten. Wel is bekend dat citronellaplanten nauwelijks muggen tegenhouden.

3.5 Minder muggen(beten) in de praktijk

– Marieta Braks & Jim van Steenbergen

Alle muggen uit onze omgeving verwijderen is een onhaalbare kaart. Er is wel een aantal mogelijkheden om minder muggenbeten te krijgen, hier en in het buitenland. In grote lijnen zijn er drie elkaar aanvullende strategieën.

– Zorg dat er minder muggen zijn rond het huis

Dat kan door broedplekken te verwijderen of onbereikbaar te maken voor muggen (zie ook 1.5 Geef muggen geen kans). Broedplekken zijn plekken met stilstaand water in de tuin, bijvoorbeeld regenton, plantenschotel, dakgoot en kinderswembadje. Dit stilstaande water moet regelmatig – zeker iedere week – worden weggegooid en vervangen door schoon water. Het aanschaffen van een regenton die muggendicht is, scheelt weer een broedplek.

– *Zorg dat ze niet binnenkomen*

De meest effectieve manier is deuren en ramen te voorzien van horren. Citronella- of ‘muggenplanten’, de geurende geraniums van de variëteit *Pelargonium citrosum* die ieder jaar in kwekerijen en tuincentra ruimschoots te koop zijn, weren zeer weinig of geen muggen. Of en hoe groot de invloed van citronellageurkaarsen in een ruimte is in het op afstand houden en voorkomen van muggenbeten is onbekend.

– *Zorg dat ze niet kunnen of willen bijten*

Door meer bedekkende en dikkere kleding te dragen, maak je het voor muggen al lastiger om te bijten. ’s Nachts onder een klamboe slapen, helpt. Verder zijn muggen niet zo dol op luchtstromen, dus het kan helpen een ventilator op het bed te richten.

Muggen zijn ook te foppen. Muggen komen op geur af en dit kan tegen ze worden gebruikt. Zo zijn er doeltreffende antimuggencrèmes ontwikkeld die lichaamsgeur maskeren. In Nederland zijn 81 insectenwerende middelen (*repellents*) geregistreerd. Al deze producten bevatten een van de volgende vier actieve stoffen: DEET, icaridine, IR3535 en citroeneucalyptusolie met de actieve stof citriodiol. DEET en icaridine zijn de meest effectieve middelen; icaridine is geurloos en tast geen plastics of synthetische stoffen aan.

Citronella is een essentiële geparfumeerde olie die wordt geproduceerd door de bladeren en stengels van citroengrasplanten (*Cymbopogon*). Smeren van citroengrasolie op de huid is bewezen effectief in het weren van muggen, mits zeer regelmatig opnieuw aangebracht. Om effectief te zijn moet de huid elke dertig tot zestig minuten opnieuw worden ingesmeerd. Dat is lastig, maar citroengras is een niet-toxisch natuurproduct en heeft volgens het Europees milieuagentschap (EPA) geen bekende langetermijneffecten. Ook al zijn deze middelen bewezen effectief, ze zijn nooit volledig beschermend. Bij grote blootstelling is er zeker nog kans dat muggen zullen bijten.

Verder kan de last van het gezoem worden opgelost door ’s nachts oordopjes te dragen, maar dat helpt natuurlijk niet tegen beten.

Preventie van jeuk

Alles geprobeerd en toch muggenbulten. Niet iedereen heeft last van jeuk. Mensen kunnen verschillend op een muggenbeet reageren,

of specifiek, op het speeksel van de mug. Ons lichaam ziet dit als een lichaamsvreemde stof en wil het opruimen. Het immuunsysteem maakt daarvoor de stof histamine aan. Daardoor neemt op de plek van de beet de bloedtoevoer en het aantal witte bloedlichaampjes toe. Histamine stimuleert plaatselijk de zenuwen waardoor de plek gaat jeuken. Een muggenbult is dus het resultaat van de reactie van het immuunsysteem op de lichaamsvreemde stof.

Jeukbestrijding werkt ook tegen krabben en wrijven, dat de jeuk en de bult alleen maar doet toenemen. Wat het beste tegen de jeuk van een muggenbult helpt, blijft persoonlijk, omdat dat afhankelijk is van het huidtype en het afweersysteem van de huid. Algemene tips, zoals deppen met ijsklontjes, alcohol, azijn of zout, helpen tijdelijk of niet.



FEIT OF FABEL? Met een nagel een diep kruisje in de muggenbult trekken helpt tegen jeuk

FABEL Doordat de pijn overheerst, voel je heel even geen jeuk. Maar krassen in of krabben aan een muggenbult verergert juist de jeuk. Doordat je huid beschadigt, verspreidt het stofje histamine, dat de jeuk veroorzaakt, zich verder de huid in.

3.6 Steekmuggenbestrijding

– Arjan Stroo & Marieta Braks

In Nederland zijn de problemen met steekmuggen nog bescheiden. Maar wie ’s zomers wel eens in Noord-Scandinavië is geweest, kent de enorme overlast die steekmuggen kunnen veroorzaken. Ook in Zuid-Europa is de afgelopen decennia de overlast door de Aziatische tijgermug (*Aedes albopictus*) sterk toegenomen en daarmee het risico op overdracht van onbekende ziekteverwekkers. In gebieden met van oudsher veel overlast, bijvoorbeeld rondom Franse strandmeren, langs Duitse rivieren of in Zweedse merengebieden, zijn er langlopende programma’s ter vermindering van de muggenoverlast. In verband met de tijgermug zijn talloze Zuid-Europese overheden en burgers nu ook genoodzaakt maatregelen te nemen.



FEIT OF FABEL? Iedere steekmug die je doodslaat, levert een nuttige bijdrage aan muggenbestrijding

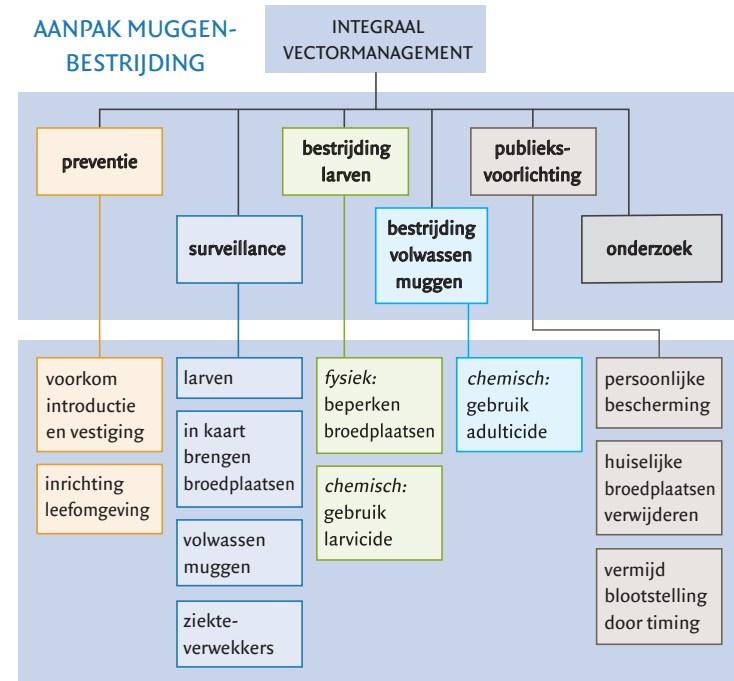
FABEL Er worden over de hele wereld continu muggen doodgemaakt, maar dat heeft geen enkele invloed op de grootte van de muggenpopulaties. Die zijn zeer veerkrachtig omdat muggen veel nakomelingen produceren. Zodra de omstandigheden goed zijn en er genoeg voedsel is, zal het aantal muggen weer zeer snel groeien.

Muggenmanagement

In Nederland bestaan die situaties gelukkig (nog) niet. Wel wordt er gewerkt aan het beperken van overlast bij de ontwikkeling van natte natuurgebieden, maar dat is op veel kleinere schaal. Daarnaast is er beleid tegen exotische steekmuggen die zich hier pogen te vestigen. De bestrijding daarvan is vormgegeven volgens het principe van integraal vectormanagement (IVM, zie figuur 21). Dit omvat een totaalpakket aan maatregelen die kunnen worden ingezet, zoals preventie, surveillance (inclusief risico-inschatting), broedplaatsverwijdering en het gebruik van biociden. De aanpak is door de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) en het RIVM in draaiboeken beschreven.

Voor exotische muggen die zich in Nederland proberen te vestigen, zoals de tijgermug, geldt een uitroeiingsbeleid. Deze muggen zijn geschikte vectoren om ziekten als dengue en chikungunya te verspreiden, iets dat onze inheemse muggensoorten niet kunnen. Daarom loont het om exotische soorten al bij binnenkomst direct uit te roeien.

Nog beter is het om te zorgen dat de muggen helemaal het land niet binnenkomen door preventieve maatregelen te nemen. Daarom is er regelgeving van kracht voor import van risicogoederen waarmee de tijgermug vaak meereist: Lucky Bamboo-plantjes en gebruikte autobanden (zie ook 1.4 Exotische muggen). De bedrijven die zich hiermee bezighouden, moeten maatregelen treffen zoals het registreren, stickeren en droog opslaan van tweedehands banden uit gebieden waar de tijgermug voorkomt. Behalve toezicht op die maatregelen is op deze locaties, en op elke andere plek waar risicogoederen worden geïmporteerd, bijvoorbeeld luchthavens, een goed surveillancepro-



Figuur 21. Integraal vectormanagement, het systeem voor het bestrijden van muggen.

Bron: www.rivm.nl/muggen

gramma essentieel. Het uitroeien is praktisch uitvoerbaar wanneer er kort na introductie mee kan worden begonnen.

Broedplaatsvrij maken

Het ingrijpen zelf – de bestrijding – bestaat allereerst uit het ongeschikt maken of verwijderen van mogelijke broedplekken (zie ook 1.5 Geef muggen geen kans). Alle losse bakjes waarin regenwater blijft staan, worden weggegooid of droog opgeborgen. Waar mogelijk worden regentonnen of andere watervoorraden mugdicht afgesloten. Aan de eigenaren en gebruikers van de terreinen rondom de vindplek van een exotische mug wordt gevraagd deze broedplaatsvrij te maken én te houden. Wanneer dat niet mogelijk is, wordt een larvicide ingezet dat specifiek steekmuggenlarven doodt.

Deze uitroeiingsprogramma's zijn de afgelopen tien jaar al vele malen succesvol uitgevoerd. Rondom bandenbedrijven (sinds 2010) en woonhuizen (sinds 2016) is de vestiging van meegelifte tijgermuggen na introductie weer ongedaan gemaakt.

De hulp van burgers en bedrijven is bij het opruimen van (mogelijke) broedplekken essentieel. Goede voorlichting speelt daarbij een hoofdrol. Alle woonhuizen en bedrijfspanden in een besmet gebied ontvangen een brief met uitleg. Ook is er uitleg op de NVWA-website en is de gemeentelijke gezondheidsdienst (GGD) beschikbaar om vragen te beantwoorden. Burgers die zelf een exotische mug zien (of denken te zien) kunnen die via de NVWA-website melden, waarbij het belangrijk is een foto van de mug mee te sturen en de mug zelf te bewaren (www.nvwa.nl/muggen). Vervolgvondsten rondom plekken waar een exotische mug is gemeld, leiden er regelmatig toe dat bij zulke acties honderden adressen worden bezocht.

Inheemse muggen worden in Nederland zelden bestreden. Een enkele uitzondering betreft de loodgrijze malariamug (*Anopheles plumbeus*) (zie ook kader 1.3 Muggen in de stad). Deze woont van nature in boomholten, maar gedijt ook prima in bijvoorbeeld oude gierkelders en grupstallen die niet meer in gebruik zijn en waar water in blijft staan. Op zulke plekken kan ernstige overlast ontstaan. Door het water waarin de larven opgroeien uit de broedplekken te pompen en deze eventueel op te vullen met zand, kan dit worden gestopt.

Preventie door inrichting van de leefomgeving

Bij projecten waar gebieden vernat worden voor natuurontwikkeling, worden preventieve maatregelen genomen om overlast te voorkomen. Hierbij gaat het om het beperken van de hoeveelheid tijdelijke wateren waar muggenlarven door afwezigheid van predatoren goed in gedijen. Dit kan door het gebied droog of juist permanent nat te houden, waardoor het geschikt wordt voor allerlei andere waterinsecten en vissen die muggenlarven weer opeten.

Om te zorgen dat volwassen muggen niet in woonwijken terechtkomen, moet er bij de inrichting voor worden gezorgd dat er tussen meer muggenrijke stukken en woonkernen een open gebied aanwezig blijft. Dat helpt overlast te voorkomen. Het aanleggen van bosschages tussen de bebouwing en nieuwe natuurgebieden vormt anders nieuwe

verbindingroutes (zie ook kader 1.3 Griendtsveen, pittoresk dorp of eldorado voor steekmuggen?).

Hoewel er in de aanpak van muggenoverlast veel gemeenschappelijke elementen terugkomen, zijn er ook soortspecifieke maatregelen. Elke muggensoort heeft unieke eigenschappen. In 1.5 Geef muggen geen kans is ingegaan op de situatie in en rondom huis.

Muggenbestrijding essentieel voor bouw Panamakanaal

– Willem Takken

Na de succesvolle bouw van het Suezkanaal (1869) zette de Franse ingenieur Ferdinand de Lesseps zich in voor de aanleg van het Panamakanaal in Centraal-Amerika. Maar in 1889 moest hij zijn pogingen geheel staken vanwege het grote aantal gevallen van gele koorts en malaria die tienduizenden arbeiders het leven kostte. Deze ziekten waren in de zeventiende eeuw door slavenhandel vanuit Afrika geïntroduceerd in Centraal- en Zuid-Amerika, en werden endemisch. Ze bleven jaarlijks terugkomen, overgebracht door twee muggensoorten die in Centraal-Amerika voorkwamen: *Haemagogus* spp. en *Anopheles albimanus*.

Onder de Amerikaanse president Theodore Roosevelt hervatten de Amerikanen in 1904 de aanleg van het Panamakanaal. Het kanaal vormde een belangrijke doorgang voor hun stoomschepen die anders helemaal rond Zuid-Amerika moesten varen.

Een glansrol was hierbij weggelegd voor de Amerikaanse legerarts William Gorgas. In 1903 was het hem in Cuba gelukt gele koorts uit te roeien door de gelekoortsmug *Aedes aegypti* rigoureus te bestrijden. Elk mogelijk contact tussen mug en mens werd verbroken. Hij bouwde hiermee voort op de ontdekking dat muggen een essentiële rol speelden bij de overdracht van veel parasitaire infectieziekten zoals malaria, filariasis en gele koorts.

In Panama ging Gorgas net zo voortvarend te werk om bosmuggen (*Haemagogus*), de voornaamste overbrengers van gele koorts, met militaire precisie te bestrijden. Hij liet de huizen in



Figuur 22 President Roosevelt in een Bucyrus stoomgraaf-machine, 1906. © Publiek domein

de kanaalzone bespuiten met pesticiden en liet broedplekken verwijderen door ze te behandelen met petroleum en door moerassen en waterplassen te draineren. Met deze rigoureuze aanpak, die voorkwam dat muggen zich konden voortplanten, lukte het Gorgas om binnen tien jaar (1904-1913) zowel de gele koorts als malaria in de kanaalzone uit te roeien. In 1914 werd het ruim 81 kilometer lange Panamakanaal uiteindelijk geopend.

Inmiddels hebben de muggenpopulaties in Panama zich hersteld en beide ziekten komen nog sporadisch voor. Door een effectief vaccin voor gele koorts en door goede malariamedicijnen zijn beide ziekten in Panama geen groot gezondheidsprobleem meer. De aandacht gaat nu vooral uit naar de bestrijding van het denguevirus, dat overgebracht wordt door de gelekoortsmug *Aedes aegypti*.

4 Informatie verzamelen voor bestrijding

4.1 Speuren naar muggenoverdraagbare virussen in dier, mens en omgeving

– Hein Sprong & Marieta Braks

Om niet ziek te worden, kun je zelf al veel doen. Ook kun je voorkomen dat je anderen ziek maakt. Maar wat doet de overheid eigenlijk voor onze gezondheid? Zeker als het gaat over infectieziekten. Een belangrijk onderdeel is het verzamelen van informatie over rondgaande virussen bij dieren en mensen, zowel nationaal als internationaal, om op tijd actie te kunnen ondernemen.

Rookmelders en brandweermannen

Vergelijk het met je huis beschermen tegen brand. Op strategische plekken hangen in huis hopelijk rookmelders die waarschuwen bij de eerste signalen van brand. Aardlekschakelaars in de groepenkast voorkomen dat er brand ontstaat door kortsluiting in elektrische apparaten. Gasfornuizen kun je beveiligen, zodat wanneer de vlam niet meer brandt, het gas vanzelf stopt met stromen. Misschien zijn er zelfs wel een branddeken en brandblusser om de eerste kleine brandjes zelf te blussen. Allemaal preventieve maatregelen tegen een grote brand.

Mocht het toch misgaan, dan heeft de gemeente getrainde brandweermannen in dienst die de brand zo snel mogelijk komen blussen.



Figuur 23. *Surveillancesystemen ten behoeve van de detectie van westnijlvirus in Nederland.*

Zij zorgen ervoor dat de schade zo klein mogelijk blijft en proberen te voorkomen dat de brand overslaat naar andere gebouwen. Geen van deze methoden is perfect, maar bij elkaar voorkomen ze heel wat ellende. Iets vergelijkbaars doet de overheid om burgers en dieren zo goed mogelijk te beschermen tegen infectieziekten, zo ook tegen door muggen overdraagbare infectieziekten.

Goede buren

De Nederlandse overheid werkt samen met andere landen om informatie over de verspreiding van muggensoorten en muggenoverdraagbare ziekten te delen. Soms duiken zulke infectieziekten op in omliggende landen, zoals westnijlkoorts in Duitsland in 2018, waardoor in Nederland de paraatheid werd verhoogd. Ook leren we van landen aan de Middellandse Zee wat zij doen aan het voorkomen en

bestrijden van muggenoverdraagbare ziekten die daar al veel langer voorkomen, zoals westnijlkoorts, of van incidentele uitbraken zoals dengue en chikungunya.

Ziekteverwekkers in de leefomgeving

Dierenartsen, microbiologen, ecologen, entomologen en ornithologen werken samen om ziekteverwekkers al te detecteren in de omgeving, liefst nog voordat zij mensen of (landbouw-)huisdieren hebben geïnfecteerd. Zo worden wilde vogels, die op ringstations gevangen worden, en muggen regelmatig onderzocht op de aanwezigheid van bijvoorbeeld het westnijl- en usutuvirus, maar soms ook op minder bekende, zoals het sindbis- en het bataivirus. Mocht zo'n virus ontdekt worden, zoals het westnijlvirus in 2020, dan wordt de informatie gedeeld met instellingen die verantwoordelijk zijn voor de volks- en diergezondheid en wordt in nauw overleg besloten of en welke vervolgstappen mogelijk en nodig zijn om besmetting van mens en (landbouw)huisdier te beperken. Zo is in het voorjaar van 2015 voor het eerst het tekenencefalitisvirus ontdekt in teken op de Sallandse Heuvelrug. Door artsen en microbiologen snel op de hoogte te brengen, werden de eerste twee lokale patiënten met tekenencefalitis binnen enkele maanden opgemerkt. Sindsdien worden er jaarlijks enkele autochtone gevallen van tekenencefalitis gemeld bij het RIVM.

Ziekteverwekkers in (landbouw)huisdieren

Veterinaire instituten, die waken over diergezondheid, ondersteunen dierenartsen met het herkennen en diagnosticeren van, tot nu toe, betrekkelijk zeldzame muggenoverdraagbare ziekten. Paarden kunnen bijvoorbeeld ernstig ziek worden van het westnijlvirus en merels zijn weer gevoelig voor het usutuvirus. In sommige landen, waar het westnijlvirus jaarlijks opdrukt maar waar ze nog niet precies weten waar of wanneer, worden 'verklippingen' in de leefomgeving geplaatst. Deze kippen worden dan wekelijks getest op blootstelling aan virussen. Duiken deze virussen op bij (landbouw)huisdieren, dan worden andere instituten op de hoogte gebracht en wordt in nauw overleg besloten of en welke vervolgstappen er genomen gaan worden om besmetting van mensen te beperken: bijvoorbeeld of donorbloed gescreend gaat worden op de aanwezigheid van het virus.

Ziekteverwekkers in mensen

Om de veiligheid van donorbloed te garanderen, zijn er in de Europese regelgeving procedures vastgelegd voor de screening van donorbloed op ziekteverwekkers. Nadat er in 2020 patiënten met westnijlkoorts in Nederland waren ontdekt, heeft Sanquin de rest van dat jaar en in 2021 donorbloed gescreend op het westnijlvirus (zie 3.3 Veilige bloedtransfusie en muggenoverdraagbare virussen).

Naast het vroeg signaleren van ziekteverwekkers in de leefomgeving of in dieren worden mensen met onbegrepen zenuwklachten ook getest op door muggen overgedragen ziekteverwekkers. Het is namelijk goed mogelijk dat deze ziekteverwekkers niet zijn opgemerkt in de leefomgeving en dat een zieke die medische zorg zoekt het eerste signaal is dat het virus in Nederland circuleert tussen muggen en vogels. Ook in dit geval wordt de informatie gedeeld met alle betrokken partijen, dus ook met de diergeneeskundige sector en worden de nodige vervolgstappen genomen.

Informatie voor actie


Alle genoemde monitoringactiviteiten zijn erop gericht om zo vroeg mogelijk informatie te krijgen van naderend onheil en tijdig actie te kunnen ondernemen. Een essentieel onderdeel van deze aanpak van ‘surveillance en respons’ is de blootstelling van mens aan besmette muggen te verminderen door:

- het monitoren van muggen in Nederland (4.3 Muggen monitoren in Nederland)
- het informeren van de bevolking over wat deze zelf kan doen (1.5 Geef muggen geen kans)
- het doen van onderzoek (1.3 Muggendiversiteit van moeras tot stad; kader 4.2 Het eerste signaal van westnijlvirus in Nederland)
- het bestrijden van larven en volwassen muggen (3.6 Steekmuggenbestrijding)
- het nemen van preventiemaatregelen (3.6 Steekmuggenbestrijding)

In de volgende paragrafen wordt op de verschillende surveillance-onderdelen verder ingegaan.

4.2 Wilde vogels als informatiebron voor ziektebestrijding

– Henk van der Jeugd & Judith van den Brand

 Om de verspreiding van het usutu- en het westnijlvirus in Nederland goed te kunnen volgen, wordt gekeken of deze virussen aanwezig zijn in wilde vogels, zowel levende als dode. Daarmee wordt bekend of en waar de virussen aanwezig zijn en daarmee of er een risico is voor de volksgezondheid.

Het monitoren van deze virussen in levende vogels, ook wel actieve surveillance genoemd, wordt gedaan tijdens het ringonderzoek aan wilde vogels in Nederland. Dit onderzoek wordt grotendeels uitgevoerd door vrijwilligers aangesloten bij het Nederlandse Vogeltrekstation. De gevangen vogels worden voorzien van een uniek genummerde metalen ring, gemeten, gewogen en weer vrijgelaten. Bij een deel van de vogels wordt gekeken of er virussen aanwezig zijn door een bloedmonster te nemen en uitstrijkjes te maken van de keel en de cloaca, de gecombineerde urine- en poepuitgang. Daarnaast worden een veertje, uitwerpselen en eventuele aanwezige teken op de vogel verzameld. Alle verzamelde monsters worden getest op aanwezigheid van virusmateriaal en het bloed op virusspecifieke antilichamen.

Het monitoren van dode vogels wordt passieve surveillance genoemd. Gevonden dode vogels kunnen via de website www.dwhc.nl van het Dutch Wildlife Health Centre (DWHC) en Sovon Vogelonderzoek Nederland worden gemeld, waarna ze vaak worden opgehaald voor sectieonderzoek door het DWHC. De onderzoekers beoordelen de voedingstoestand en organen en verzamelen – om de doodsoorzaak vast te stellen – materiaal voor pathologisch en microbiologisch onderzoek, gericht op specifieke ziekteverwekkers zoals het westnijl- of usutuvirus.

Besmette merels die draaien, vallen of slapen

De lijst met wilde vogelsoorten waarbij een usutuvirusinfectie is vastgesteld is lang, maar met name merels en zanglijsters zijn sterk oververtegenwoordigd. Bij gehouden vogels vallen de infecties bij uilen op, waarvan met name laplanduilen erg gevoelig blijken te zijn. De

laplanduil is een Noord-Europese vogelsoort die in het wild niet in Nederland voorkomt. Waarom bepaalde vogelsoorten zo oververtegenwoordigd zijn in beide surveillancetypen is nog grotendeels onbekend. Infectie met het westnijlvirus wordt voornamelijk gezien in roofvogels, kraaiachtigen, zangvogels, duiven en eenden.

Uit de actieve surveillance weten we dat geïnfecteerde vogels lang niet altijd ziekteverschijnselen vertonen of overlijden. Wanneer merels geïnfecteerd raken met het usutuvirus en ziek worden, krijgen ze vaak zenuwverschijnselen waardoor zij niet meer kunnen vliegen of eten. Typische gedragingen zijn het draaien van de hals alsof de vogel naar boven probeert te kijken, het draaien van rondjes en omvallen. Dit gedrag is opvallend en naar om te zien. Het wordt afgewisseld met perioden van abnormale slaperigheid. Overleden vogels hebben vaak een vergrote lever en milt, maar ook andere organen vertonen ontstekingsverschijnselen, zoals hart en hersenen. Bij merels met een usutuvirusinfectie wordt vaak een co-infectie met bepaalde bloedparasieten gezien, ook wel vogelmalaria genoemd. Vogelmalaria wordt veroorzaakt door verschillende soorten *Plasmodium*-parasieten, waar mensen niet gevoelig voor zijn.

Vogels die nogal plotseling overleden zijn aan het westnijlvirus hebben soms opvallend weinig orgaanafwijkingen, zoals bij kraaiachtigen gezien kan worden, terwijl chronisch geïnfecteerde vogels vaak diverse zichtbare veranderingen vertonen zoals uitgebreide bloedingen en grote bleke organen met uitgebreide ontstekingen en weefselverval. Roofvogels en uilen kunnen blind worden na een westnijlinfectie door ontstekingen in de ogen. In Europa wordt overigens geen massale vogelsterfte ten gevolge van het westnijlvirus gezien.

Rol van muggen

Vogels vormen het natuurlijke reservoir voor het usutu- en westnijlvirus, en muggen dragen de virussen van de ene op de andere vogel over via het bloed waarmee ze zich voeden. Muggen worden zelf niet ziek van het virus. Muggen bijten vogels regelmatig op de veerloze delen zoals de poten, de basis van de snavel of direct rond het oog. Vogels kunnen zich niet goed verweren tegen muggenbeten. Dat sommige vogelsoorten vaker besmet worden met het usutu- en westnijlvirus kan ook te maken hebben met hun gedrag of leefomgeving, waardoor

ze veel vaker door muggen worden gebeten dan andere soorten. Ook is het mogelijk dat muggen een voorkeur hebben voor bepaalde vogelsoorten.

Zolang ze niet te ziek zijn om te vliegen, verspreiden geïnfecteerde vogels het virus naar andere streken. Tijdens hun lange trekvluchten in het voorjaar kunnen vogels nieuwe usutu- en westnijlvirusstammen elders uit Europa of zelfs uit Afrika introduceren in nieuwe gebieden, zoals Nederland. Plaatselijke vliegtochten van jonge vogels, die net zelfstandig zijn geworden en uitvliegen op zoek naar voedsel en een plek om te ruïen, kunnen zorgen voor lokale verspreiding.

Opvallend is dat uitbraken van het usutu- en het westnijlvirus vrijwel altijd in de nazomer plaatsvinden. Dit komt waarschijnlijk omdat het dan vaak warm is en de muggendichtheid en -activiteit doorgaans hoog. Tegelijk zijn er heel veel jonge vogels die nooit eerder met het virus in aanraking zijn geweest en daardoor gemakkelijk besmet kunnen worden. Bovendien vinden na het broedseizoen allerlei vogelbewegingen plaats, waardoor het virus zich sneller verspreidt dan eerder in het voorjaar en de zomer wanneer ze grotendeels op hun plek blijven.

Het eerste signaal van westnijlvirus in Nederland

– Maarten Schrama & Tijs van den Berg

Voor bijna heel Nederland stond 2020 in het teken van het coronavirus. Maar voor onderzoekers was er in dat jaar nog een virus dat in Nederland voor het eerst de kop op stak: het door muggen overgedragen westnijlvirus.

Al decennialang wordt de komst van muggenoverdraagbare virussen verwacht. De zomers worden warmer en deze virussen rukken op naar het noorden van Europa: het was slechts een kwestie van tijd totdat het ook in Nederland een keer raak zou zijn. Daarom werken sinds 2016 vogelringers en virologen samen om virussen die door vogels naar Nederland worden gebracht vroeg te detecteren. Dat gebeurt op tientallen vogelringlocaties. Meteen in het eerste jaar werd het usutuvirus – het ‘merelvirus’ – gevonden.



Figuur 24. Onderzoeker Louie Krol is bezig met het legen van een muggenvaag bij de vogelringlocatie in het wilgengriend van Haarzuilens. © Maarten Schrama

Figuur 25. Op tientallen plekken in Nederland worden wekelijks vogels geringd en bemonsterd, zoals op de ringbaan in Haarzuilens. © Huib de Rooij

Figuur 26. De beroemde grasmus: de eerste vogel met het westnijlvirus in Nederland. De vogel was in 2020 tweemaal eerder gevangen en toen nog niet viruspositief, wat erop duidt dat de grasmus het virus ter plaatse heeft opgelopen. © Huib de Rooij

Sinds 2020 doen ook muggenonderzoekers mee: wekelijks worden muggen gevangen en getest. In de week van 22 augustus was het raak: op de vogelringlocatie Haarzuilens werd een grasmus met het westnijlvirus gevonden. De mus moet het virus in Nederland hebben opgelopen, want eerder in het jaar was het beest nog niet besmet. Toen op dezelfde locatie ook besmette muggen werden aangetroffen, was dat de bevestiging dat het virus lokaal circuleerde. Later werden nog vijf andere besmette vogels gevonden op dezelfde locatie, en als klap op de vuurpijl op enkele kilometers afstand nog een kip en een huismus.

De vogelringlocatie in Haarzuilens is een goed onderzocht gebied, maar er zijn veel plekken in Nederland met een vergelijkbare biotoop. Het lag in de lijn der verwachting dat het virus ook op andere plekken zou opduiken. Maar op tientallen andere onderzoekslocaties is het tot nu toe niet aangetroffen. Het westnijlvirus blijkt dus vooralsnog een lokaal, of ten minste regionaal, fenomeen.

De vraag is nog welke vogels het westnijlvirus naar Nederland hebben gebracht? Dat zou meer inzicht geven in de mogelijke verspreidingspatronen van dit virus over Nederland. Een virusvariant die een aantal jaar eerder is aangetroffen in Oostenrijk lijkt sterk op de westnijlvirusvariant in Haarzuilens. Maar dat vertelt nog niets over herkomst of welke vogelsoort(en) daarbij betrokken waren. Dat blijft voorlopig nog een mysterie.



FEIT OF FABEL?

Muggen komen op licht af

FABEL Steekmuggen worden niet aangetrokken door licht, maar soms wel door de warmte van de lichtbron. Ze hebben wel een beetje licht nodig om hun omgeving te verkennen. Muggen die rond een lantaarn zwermen zijn vaak mannetjes en andere vliegachtigen. Ze gebruiken het licht als baken in de omgeving en om vrouwtjes te lokken.

4.3 Muggen monitoren in Nederland

– Arjan Stroo & Marieta Braks

Om te weten welke muggensoorten waar in Nederland aanwezig zijn, en of ze virussen bij zich dragen die schadelijk zijn voor de dier- en de volksgezondheid, zijn er speciale surveillanceprogramma's die dit monitoren. In Nederland worden steekmuggen gevolgd door het Centrum monitoring vectoren van de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA). Want als een nieuw binnengekomen exotische muggensoort of een muggenoverdraagbaar virus tijdig wordt gevonden, kan er een uitroeiingsactie op poten worden gezet.

Muggen lokken

De meest handige methode om bloedzoekende vrouwtjesmuggen te verzamelen is met speciale muggenvallen die een gastheer nabootsen door net als mensen en dieren CO₂ uit te stoten en een lokstof te verspreiden, zoals octanol, een stofje in ons zweet en adem. Om CO₂ te produceren verbranden deze vallen bijvoorbeeld propaan, worden ze gevuld met droogijs (bevroren CO₂) dat langzaam verdampt of worden ze simpelweg aangesloten op een gasfles met CO₂. Omdat een hogere CO₂-concentratie een aanlokkend karakter heeft, vliegen de vrouwtjes van de meeste soorten tot nabij de val, waar ze vervolgens door een ventilatortje naar binnen worden gezogen en in een netje terecht komen.

De mate waarin muggen reageren op de val verschilt per soort: een kikkerbijtende mug als *Culex territans* toont bijvoorbeeld aanmerkelijk minder interesse voor dergelijke vallen dan de meeste andere muggensoorten. Kikkers stoten minder CO₂ uit omdat ze veel kleiner zijn en koudbloedig. Ook op lokstoffen reageren muggen verschillend. Op die manier kunnen onderzoekers bepalen welke muggen ze willen verzamelen. Wanneer vooral mensenbijtende muggen moeten worden bestudeerd, ligt het voor de hand de lokstof in de vallen daarop af te stemmen.



FEIT OF FABEL?

Steekmuggen komen op zweetvoetengeur af

FEIT Muggen worden aangetrokken door lichaamsgeur (zweet) en door koolstofdioxide dat mensen en andere dieren uitademen. Zo vinden ze gemakkelijk hun voedselbron (bloed). Muggen kunnen het kleine verschil in CO₂ tussen in- en uitgeademde lucht meten, waardoor ze weten of er een mens in de buurt is. Veel knoflook eten om je lichaamsgeur te veranderen, en zo onaantrekkelijk voor muggen te zijn, is een fabeltje.

Eitjes zoeken

Een andere methode voor het inventariseren van steekmuggen is het aanbieden van bakjes water aan muggen die hun eitjes willen afzetten. Deze zogenoemde ovipositievallen werken niet voor steekmuggen die hun eitjes op vochtige oevers leggen, maar kunnen voor specifieke soorten een goed detectiemiddel zijn. Er bestaan meerdere typen ovipositievallen.

Wanneer het alleen van belang is om de aanwezigheid van een muggensoort vast te stellen, volstaat een simpele zwarte bloempot voorzien van een laag water en een blokje piepschuim of een houten latje waarop de mug de eitjes afzet. Deze zijn per soort te onderscheiden en te tellen.

Als het belangrijk is om ook de mug zelf te vangen, wordt gewerkt met plakplaatjes of met een val waarbij een ventilatortje de mug boven het water wegzuigt. In dat geval kan het water ook worden afgeschermd met gaas, zodat de mug zich niet kan voortplanten in zo'n broedplaats. Ovipositievallen met afgeschermd water en plakplaatjes worden in Nederland bijvoorbeeld gebruikt om binnenkomende gelekoortsmuggen of Aziatische tijgermuggen op luchthavens te detecteren.

Larven zoeken

Het in kaart brengen waar een populatie van een bepaalde soort steekmug zich exact bevindt, gaat vaak het beste met het zoeken naar larven. Dit vereist dat de broedplekken wel te bemonsteren zijn, wat niet altijd even gemakkelijk is. Met een aquariumnetje een regenton

VOORBEELDEN VAN MUGGENVALLEN



bemonsteren is goed te doen, maar een monster nemen in een Amsterdamse gracht of in een moerasgebied is een ander verhaal. Er bestaat een hele reeks methoden om larven van steekmuggen te verzamelen, elk met hun eigen voordelen en beperkingen. Omdat vrij veel soorten zich in het oevermilieu ophouden is de dipper, een beker aan een stok, nog de meest geëigende en standaardiseerbare manier om een beeld van muggenlarven in de natuur te krijgen.

Larven die zich alleen in onze woon- en werkomgeving ophouden, zoals die van de Aziatische tijgermug, laten zich prima vangen door de waterbakjes in een netje te legen. Ook regentonnen en grotere bakken kunnen met netjes worden bemonsterd, terwijl putjes soms speciale zuigbuizen vereisen om de inhoud in een bakje te krijgen en de larven eruit te halen.

Doel bepaalt methode

De gekozen surveillancemethoden worden dus sterk bepaald door het doel. In Nederland worden voor de strijd tegen exotische muggen vallen ingezet van de hierboven beschreven typen, die speciaal voor de betreffende soorten zijn geoptimaliseerd. Zo is het geurprofiel van de gebruikte lokstof van producent Biogents het meest geschikt voor de gelekoortsmug en de tijgermug, en is er aandacht besteedt aan zaken als de werking van licht-donkercontrast en het optimale ventilatorvermogen. Niet voor alle doelen zijn de methoden echter zo goed onderzocht en het in beeld brengen van een complete steekmuggenfauna of van de broedplekken die de muggen gebruiken, blijft een hele opgave.

Een relatief recente ontwikkeling betreft het inventariseren via DNA-analyse. Daarbij wordt water uit potentiële plekken met larven gefilterd en daarna geanalyseerd op mogelijk erfelijk materiaal dat door vervellingen of via de ontlasting van de larven in het water is terechtgekomen. Met moleculair-biologische methoden kan aan soortspecifieke kenmerken worden afgelezen of een bepaalde mug in het water aanwezig was. De methode is nog in ontwikkeling en er is nog een aantal problemen op te lossen. Maar omdat het nemen van een watersample eenvoudig is, is er alle reden om aan deze veelbelovende methode te werken.

< **Figuur 27.** Overzicht van de verschillende instrumenten om muggen, larven en eitjes te vangen.

4.4 Verklikkerpaarden en -kippen voor het westnijlvirus

– Kees van Maanen

Voor het westnijlvirus kunnen verschillende vogelsoorten drager (reservoir) zijn. Mensen, paarden en kippen zijn zogenoemde *dead-end hosts* voor het virus. Dat betekent dat ze te weinig virus in het bloed hebben om de infectie via muggen op andere mensen of dieren over te dragen, en daarmee een doodlopend pad zijn voor het virus. Paarden (en ook mensen) kunnen echter wel ziek worden door dit virus. Om het virus in het kader van de volksgezondheid tijdig op te kunnen sporen en informatie over de verdere verspreiding te krijgen, kunnen paarden en kippen een belangrijke rol spelen.

Westnijlvirus bij paarden

Bij de meeste besmette paarden verloopt een westnijlvirusinfectie onopgemerkt of is er alleen sprake van een beetje koorts, lusteloosheid en gebrek aan eetlust. Ongeveer 10 procent van de besmette paarden zal zenuwverschijnselen laten zien, die kunnen variëren van spiertrillingen tot spierzwakte, gebrekkige coördinatie, verlammingen en veranderd gedrag. Van de paarden met zenuwverschijnselen gaat ongeveer 35 procent dood (euthanasie meegerekend). Van de overlevende paarden blijft 40 procent restverschijnselen vertonen, zoals afwijkende gangen (stap, draf, galop) of gedrag.

Dierenartsen en paardeneigenaren zullen bij zenuwverschijnselen eerder aan vergiftiging of andere ziekten dan het westnijlvirus denken. Een voorbeeld is rhinopneumonie. Dit is een herpesvirusinfectie bij paarden die in het voorjaar van 2021 nog tot een grote internationale uitbraak onder topsportpaarden leidde en ook tot veel bezorgdheid onder paardenhouders. Dit virus kan – net als bij het coronavirus SARS-CoV-2, de veroorzaker van Covid-19 – via een neusswab met een PCR-test worden aangetoond. Het westnijlvirus is echter moeilijk met een PCR-test aan te tonen, het virus is immers maar kort en in lage hoeveelheden in het bloed van een paard aanwezig. Daarom wordt de diagnose meestal gesteld door het aantonen van antistoffen in het

bloed. Een positief resultaat van een antistoffentest moet, net als bij de mens (zie kader 3.1 Bloedonderzoek op virusinfectie), nog bevestigd worden met een virusneutralisatietest.

Vaccins tegen het westnijlvirus

Hoewel er voor mensen nog geen vaccins tegen het westnijlvirus bestaan, zijn die er voor paarden wel. In Nederland zijn drie verschillende vaccins geregistreerd die allemaal veilig en effectief bevonden zijn. De basisvaccinatie bestaat uit twee injecties met een tussentijd van vier tot zes weken. Enkele weken na de tweede vaccinatie is er al een goede bescherming tegen ziekteverschijnselen door het westnijlvirus. Dit is vergelijkbaar met de vaccinaties tegen SARS-CoV-2, waarbij voor de meeste vaccins twee weken na de tweede vaccinatie het vinkje bij de coronacheck-app op groen ging. De basisvaccinatie moet daarom al in het vroege voorjaar plaatsvinden om tijdig bescherming te bieden. Bovendien moet de vaccinatie jaarlijks worden herhaald om de immuniteit op niveau te houden. Tot nu toe is echter maar een klein percentage van de paarden in Nederland gevaccineerd tegen het westnijlvirus.

Meldplicht westnijlvirusinfectie

Het westnijlvirus is voor zowel mensen als paarden meldplichtig (zie 4.5 Meer zicht op het westnijlvirus in mensen). Bij een serieuze verdenking op een westnijlvirusinfectie moeten dierenartsen en paardeneigenaren de Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) bellen en moeten er bloedmonsters naar een veterinaire referentielaboratorium worden gestuurd voor onderzoek.

Het westnijlvirus is wel meldplichtig, maar niet bestrijdingsplichtig, omdat paarden, en ook mensen, *dead-end hosts* zijn en niet bijdragen aan de verdere verspreiding van het virus.

Het paard als verklikker

Omdat paarden ziek kunnen worden door het westnijlvirus en na infectie antistoffen vormen is surveillance bij paarden een goede manier om de circulatie van het westnijlvirus te volgen. Sinds 2021 kunnen in het muggenseizoen bloedmonsters van paarden met zenuwverschijnselen worden ingestuurd voor onderzoek op aanwezigheid van



Figuur 28. Surveillance van het westnijlvirus via verklikkerkippen in Griekenland. © Alexandra Chaskopoulou/EBCL

antistoffen tegen het westnijlvirus. Dit kan zonder directe melding aan de NVWA. Positieve uitslagen worden vervolgens wel gemeld. Dit heeft geen directe gevolgen voor het betreffende paard of bedrijf. Paarden worden meer gezien als verklikker van de aanwezigheid van het westnijlvirus en voor de mogelijke overdracht door muggen naar zoogdieren en de mens. Dit is belangrijk voor de volksgezondheid omdat het publiek tijdig geattendeerd kan worden op het circuleren van het virus en de maatregelen die men kan nemen om zich zoveel mogelijk te beschermen tegen muggenbeten. Daarnaast zijn ook paardenhouders en -eigenaren gebaat bij tijdige signalering, zodat zij vaccinatie kunnen overwegen.

De verklikkerkip?

Kippen worden niet ziek door een infectie met het westnijlvirus, ook zij zijn *dead-end hosts*. Het immuunsysteem van kippen reageert snel na een infectie en verwijdert het virus effectief. Internationaal worden regelmatig verklikkerkippen gebruikt voor surveillance. Deze kippen worden tijdens het muggenseizoen uitgezet in kooien op plaatsen in natuurgebieden waar de muggen- en vogeldichtheid hoog is. Van deze kippen worden bijvoorbeeld elke twee weken bloedmonsters genomen en onderzocht of er antistoffen in zitten tegen het westnijlvirus of andere door muggen overgedragen ziekten. Helaas worden in de praktijk de kooitjes nogal eens leeg aangetroffen en hebben de kippen kennelijk al een ander doel gediend.

In Nederland is er een voortdurende surveillance voor vogelgriep bij bedrijven met uitloopkippen. Om zicht te houden op de aanwezigheid van het westnijlvirus zouden deze monsters ook onderzocht kunnen worden op antistoffen tegen dit virus. Op dit moment is dit systeem nog niet geïmplementeerd.

Wie houdt de uitbraken van het westnijlvirus bij in Europa?

In Europa worden uitbraken van het westnijlvirus onder mensen, paarden en vogels bijgehouden door het European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). In het piekjaar 2018 werden 243 uitbraken onder paarden gemeld, waarvan de meeste in Italië en Hongarije, maar ook in Duitsland, Frankrijk, Griekenland, Oostenrijk, Portugal, Roemenië, Slovenië en Spanje. In 2021 werden in totaal 139 gevallen van westnijlvirus bij mensen gerapporteerd, 37 uitbraken onder paarden en 8 uitbraken onder vogels.

De ontdekking van de eerste Nederlandse patiënt met westnijlvirus

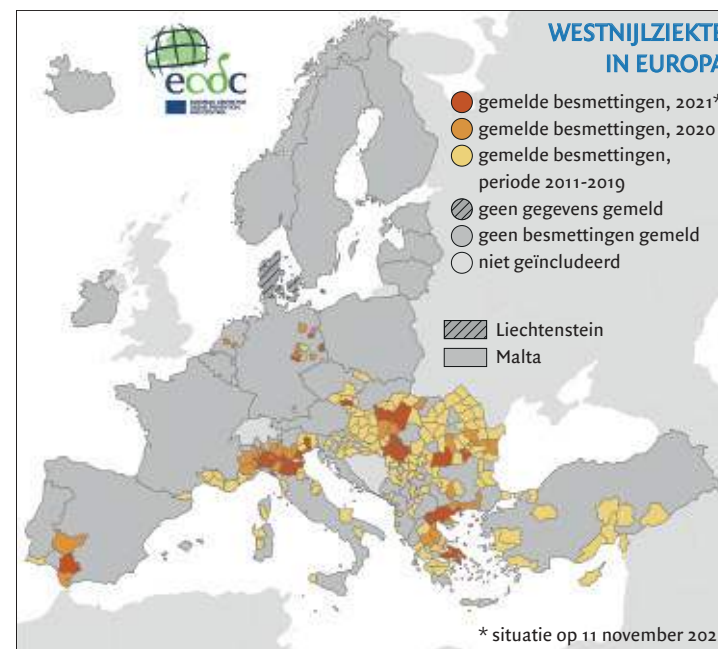
– Chantal Reusken & Hans van den Kerkhof

Sinds de klachten eind augustus 2020 begonnen waren, was de patiënt al getest op tal van mogelijke ziekteverwekkers, maar de oorzaak voor de hersenontsteking was nog steeds niet gevonden.

den. Eind september, een maand later, kreeg de behandelend arts van een collega de suggestie om de patiënt eens te testen op een besmetting met het westnijlvirus, een vogelvirus dat bij mensen onder andere ontsteking van de hersenen kan veroorzaken. De patiënt woonde in de regio Utrecht, waarin halverwege september het westnijlvirus aangetroffen was in een grasmus die bemonsterd was eind augustus (zie kader 4.2 Het eerste signaal van westnijlvirus in Nederland).

Begin oktober kwam de uitslag van het laboratorium: in het bloed van de patiënt waren antistoffen tegen het westnijlvirus aangetroffen. Voordat dit wereldkundig werd gemaakt, was het wel belangrijk om zonder twijfel vast te stellen dat het echt om een infectie met het westnijlvirus ging (zie ook 3.1 De detective). Een antistoftest geeft wel een eerste aanwijzing maar definitief bewijs wordt pas geleverd door het aantonen van het genetische materiaal van het virus zelf of van specifieke antistoffen tegen dit virus. Die zorgvuldigheid was noodzakelijk, want het ging hier immers om een primeur: de vaststelling van een eerste besmetting met het westnijlvirus van een mens in Nederland. Dat zou diverse gevolgen hebben, onder andere voor het bewaken van de veiligheid van donorbloed (zie 3.3 Veilige bloedtransfusie en muggenoverdraagbare virussen), voor het informeren van (inter)nationale volksgezondheidsautoriteiten en voor de voorlichting hierover.

Na de vondst van het virus bij de grasmus is in de regio Utrecht direct breder gekeken onder patiënten met onbegrepen zenuwklachten. Uiteindelijk zijn er zes patiënten geïdentificeerd die een infectie met het westnijlvirus hadden opgelopen (zie patiëntenverhaal 4.5 Geen corona, maar wat dan wel?). Uit geïntensiveerde monitoring van mensen, vogels, paarden en muggen zijn geen signalen gekomen dat het westnijlvirus ook in 2021 circuleerde. Of het westnijlvirus weer opduikt, moet de komende jaren gaan blijken.



Figuur 29. De kaart toont de verspreiding van de gemelde menselijke besmettingen met het westnijlvirus in Europa in 2021 in vergelijking met voorgaande jaren (situatie 11 november 2021). Bron: ECDC, 2021

4.5 Meer zicht op het westnijlvirus in mensen

– Eelco Franz, Kees van den Wijngaard & Johan Reimerink

Eind augustus 2020 werd een persoon met zware algehele malaise in het ziekenhuis opgenomen. Het bleek om een hersenvliesontsteking te gaan. Ruim een maand later werd na aanvullende tests de veroorzaker gevonden: het westnijlvirus. Dit was de eerste keer dat bij een patiënt een westnijlvirusinfectie opgelopen in Nederland wordt vastgesteld. Nog datzelfde jaar werden zeven patiënten gevonden met dezelfde infectie. In Nederlandse medisch-microbiologische laboratoria wordt onderzoek naar het westnijlvirus bij mensen met zenuwklachten die niet in het buitenland zijn geweest, niet standaard

uitgevoerd. Voor zover bekend circuleerde er vóór 2020 geen westnijl-virus in Nederland.

Monitoren

In het najaar van 2020 is aanwezigheid van het westnijlvirus lokaal in het midden van Nederland aangetoond, eerst in een grasmus en later in muggen en patiënten. Bij voldoende circulatie van het virus onder muggen en vogels kunnen ook mensen besmet raken door een beet van een geïnfecteerde mug. Omdat op dit moment nog onduidelijk is of het virus in ons land permanent voet aan de grond heeft gekregen of dat het sporadisch blijft opduiken, is het van groot belang om de verspreiding van het virus goed te monitoren en artsen en burgers te informeren zodat zij alert zijn op mogelijke infectie met dit virus. In Duitsland heeft het virus zich inmiddels gevestigd.

Het goed monitoren van het aantal infecties bij mensen wordt echter bemoeilijkt doordat de meeste mensen na infectie met het westnijlvirus niet ziek worden: zo'n 80 procent krijgt helemaal geen klachten, 20 procent krijgt milde klachten, zoals koorts en griepachtige verschijnselen. In uitzonderlijke gevallen, bij zo'n 1 procent, kan een infectie leiden tot ziekenhuisopname door ernstige zenuwklachten en bij ongeveer 10 procent van deze patiënten heeft een infectie een fatale afloop.

Meldplicht

Het monitoren van het westnijlvirus gebeurt op verschillende manieren. Ten eerste is een westnijlvirusinfectie bij de mens een meldplichtige ziekte (groep C). Deze meldplicht houdt in dat de behandelend arts of het diagnosticerend laboratorium een geval van westnijlvirusinfectie binnen een werkdag na vaststelling van de diagnose moet melden aan de gemeentelijke gezondheidsdienst (GGD). De GGD meldt dit conform de Wet publieke gezondheid weer aan het RIVM. Bij de melding wordt een korte inventarisatie gemaakt van achterliggende gegevens zoals de klinische, laboratoriumtechnische en epidemiologische gegevens. Deze bevatten bijvoorbeeld informatie over de aard van de klachten, hoe de ziekte is verlopen, wat en hoe er in het laboratorium is getest, en wat de meest waarschijnlijke locatie van besmetting is geweest. Voor het goed functioneren van de meldplicht is

het van belang dat artsen bij verschijnselen van een hersen(vlies)ontsteking ook denken aan een westnijlvirusinfectie en daar alert op zijn.

Aangezien westnijlvirusinfecties nieuw zijn in Nederland en de bekendheid met het virus daardoor beperkt is, is er naast de meldplicht ook een monitoring via liquoronderzoek opgezet. Liquor is de vloeistof die de hersenen en het ruggenmerg omgeeft en wordt afgenomen via een ruggenmergpunctie. Laboratoria is gevraagd om in de periode dat muggen actief zijn in ons land, de liquor van patiënten met onbegrepen zenuwklachten die mogelijk veroorzaakt worden door een virus of bacterie in te sturen voor aanvullende diagnostiek specifiek gericht op het westnijlvirus. Opvallend is dat op deze wijze de meeste gevallen uit 2020 aan het licht zijn gekomen.

Van mens op mens

Behalve de overdracht vanuit vogels via geïnfecteerde muggen is ook overdracht van het virus van mens naar mens mogelijk via bloed-, stamcel- of plasmadonaties. Sanquin test daarom donaties uit regio's waar westnijlviruspatiënten zijn geïdentificeerd op de aanwezigheid van westnijlvirus-RNA om de bloedveiligheid te waarborgen (zie 3.3 Veilige bloedtransfusie en muggenoverdraagbare virussen). Deze screening geeft tegelijk een beeld van de verspreiding in de regio's waar patiënten gevonden zijn.

Tot slot zou het optreden van westnijlvirusinfecties bij mensen gemonitord kunnen worden door te kijken naar de aanwezigheid van specifieke antistoffen in bloed. Dit zou kunnen op regionale steekproeven van bloeddonaties of als onderdeel van specifieke studies waarin reeds bloed afgenomen wordt op een representatieve steekproef van de Nederlandse bevolking. Dit gebeurt uiteraard uitsluitend na toestemming van de deelnemers.



FEIT OF FABEL?

Muggen zitten vooral rond je oren

FABEL Muggen komen op CO₂ af die in uitgeademde lucht zit. Die CO₂-concentratie is dicht bij je mond het hoogst, en ook bij het oor nog redelijk hoog. Wanneer muggen dicht bij het oor vliegen, horen we ze erg goed, en dat geeft al gauw het idee dat ze altijd daar zitten.

GEEN CORONA, MAAR WAT DAN WEL?

– Het verhaal van Jorgen, opgetekend door Stijn Raven

‘De zomer van 2020 is begin augustus warm, erg warm, tot wel boven de 30 °C. Het is door de coronapandemie ook een gekke zomer, een vakantie naar het buitenland is even niet zo vanzelfsprekend. Om de warmte tegen te gaan, plannen mijn vriendin en ik die week enkele activiteiten in en op het water in de buurt van ons huis. Ook slapen we die week een paar dagen op ons dakterras. De nacht brengt verkoeling, maar ook veel muggen die voor overlast zorgen.

Hoofdpijn, daar begint het voor mij mee. Een dag later voelt ook Djura zich niet lekker en krijgt hoofdpijn. Zou dit nu een infectie met het coronavirus zijn? Een test hierop blijkt negatief, maar de klachten blijven toenemen.

Dit hebben we nog nooit meegemaakt. Ook wordt het bewegen van mijn ogen pijnlijk en als we allebei bijna tegelijkertijd een huiduitslag krijgen, vragen we ons af wat we toch onder de leden hebben?

Terwijl Djura opknapt, word ik steeds zieker. De hoofdpijn, draaiduiseligheid en koorts worden zo ernstig dat een opname in het ziekenhuis nodig is. Uiteindelijk stellen ze daar een hersenvliesontsteking vast. Een ziekteverwekker kunnen ze niet vinden. Na vijf dagen in het ziekenhuis verbeteren mijn klachten, maar het duurt nog enkele maanden voordat ook de vermoeidheid en de slechtere concentratie verdwenen zijn.

Weken later krijg ik een telefoontje van de behandelend arts. Vanwege de typische klachten en omdat het westnijlvirus recent in de regio bij een patiënt is gevonden, is mijn bloed opnieuw getest en zijn antistoffen specifiek tegen het westnijlvirus gevonden.

Erg bijzonder deze vondst, en ook wel raar dat een van ons twee hier zo ziek van is geworden. Dat overkomt minder dan 1 procent van de mensen die deze infectie oploopt. En de bron? Na veel speurwerk blijven een paar plekken over, waarbij ons dakterras de meest waarschijnlijke plek lijkt te zijn.’

5 Wat brengt de toekomst ons?

5.1 Virus in winterslaap

– Maarten Schrama, Rody Blom & Sander Koenraad

Hoewel muggenoverdraagbare virussen, zoals het westnijlvirus, vaak zeer succesvol zijn in het overnemen van de machinerie in cellen van andere organismen – om zo ontelbare kopieën van zichzelf te maken – hebben ze één grote uitdaging: ze kunnen niet lang zonder gastheer overleven. Dat betekent dat ze te allen tijde in een gewervelde gastheer of mug moeten zitten. Alleen, gewervelde gastheren zijn niet lang genoeg besmettelijk om het virus de winter door te helpen. En ook de meeste volwassen muggen leggen vóór de winter het loodje. Hoe virussen in noordelijke streken zoals Nederland en New York de winter doorkomen, bleef lange tijd een groot mysterie.

Pas in 2001 lichtte een Amerikaanse studie een tipje van de sluier op. In downtown New York bleken overwinterende volwassen huissteekmuggen (*Culex pipiens*) het westnijlvirus bij zich te dragen. Inmiddels is duidelijk dat verschillende soorten virussen andere oplossingen voor dit ‘winterprobleem’ gevonden hebben. Om te begrijpen hoe muggenoverdraagbare virussen de winter doorkomen, is het goed om eerst te weten hoe muggen de winter overleven.

Hoe overwinteren steekmuggen?

Steekmuggen kunnen in verschillende stadia van hun levenscyclus de winter doorbrengen. Dit kan als eitje, larve, pop of volwassen mug. Sommige muggensoorten, en dan met name de *Aedes*-soorten, leggen eitjes die bestand zijn tegen vrieskou en droogte doordat ze weinig water bevatten. Deze eitjes worden voor de winter of droge tijd gelegd en kunnen daarna voor langere tijd lage temperaturen en zelfs vorst doorstaan. De Aziatische tijgermug (*Aedes albopictus*) is waarschijnlijk de bekendste soort die deze strategie hanteert.

Andere soorten, zoals de loodgrijze malariamug (*Anopheles plumbeus*), kunnen als larf de winter doorkomen en zelfs langere tijd onder het ijs doorbrengen. Van enkele algemene muggensoorten, zoals de malariamug *Anopheles maculipennis* in Nederland, is bekend dat zij als volwassen mug de winter doorbrengen. In sommige gevallen gaan de muggen in winterrust, en in andere gevallen blijven ze gedurende de winter bloed zuigen. Het bekendste voorbeeld is de gewone huissteekmug (*Culex pipiens*), die een belangrijke rol speelt in de overdracht van het usutu- en het westnijlvirus. Van deze muggen is bekend dat ze zowel in winterrust gaan als winteractief blijven, afhankelijk van de populatie.



FEIT OF FABEL? Vorst in de winter zorgt voor minder muggen in de zomer

FABEL Muggen hebben verschillende mechanismen om ongunstige weersomstandigheden te overbruggen, zoals vorstvaste eitjes of als volwassene een beschutte plek binnenshuis opzoeken. Volwassen muggen zijn soms actief in de winter. Elke winter neemt de muggenpopulatie zeer sterk af om in de lente en zomer weer opgebouwd te worden.

Voorbereiden op de winterrust

De muggen die in winterrust gaan zijn niet dezelfde als de muggen die in de zomer in de slaapkamer zitten. Aan het eind van de zomer wordt een deel van de larven door de kortere dagen en het dalen van de temperatuur gestimuleerd om zich voor te bereiden op een winterrust.

Deze winterrust gaat niet direct van start, maar vereist nog wat

voorbereiding. De laatste generatie larfjes ontpopt, waarna de volwassen steekmuggen direct paren. Na het paren sterven de mannetjes, waardoor slechts de vrouwtjesmuggen overblijven. Gedurende deze periode doen de vrouwtjes zich tegoed aan plantensuikers. Deze suikers worden gebruikt om een flinke vetreserve aan te maken die de muggen voldoende energie geeft om de winter door te komen. In de herfst zijn deze exemplaren vaak binnenshuis waar te nemen als 'slo-me' muggen met een gelig en verdikt achterlijfje, die niet snel wegvliegen bij verstoring. Behalve vet maakt de steekmug ook koolwaterstoffen aan waaronder glycerolachtige verbindingen die als antivries dienen, zodat temperaturen onder nul kunnen worden doorstaan.

Zodra alle voorbereidingen voor de winterrust getroffen zijn, zoeken de steekmuggen naar geschikte schuilplekken, zoals kelders, leegstaande bunkers en zolders. Op deze overwinteringslocaties kunnen, naast de gewone huissteekmug, ook nog andere muggensoorten in winterrust aangetroffen worden, zoals de grote steekmug en een aantal soorten malariamuggen. Sommige (onder)soorten muggen blijven gedurende de winter actief op zoek naar bloed en leggen eitjes.

Overwinterende virussen

In Europa zijn op meerdere plekken het westnijl-, het tahyna- en het sindbisvirus aangetoond in overwinterende huissteekmuggen. Deze muggen in winterrust hadden nog geen bloedmaal genomen, wat aangeeft dat de virussen van ouder op nageslacht moeten zijn doorgegeven.

Van een aantal virussen, zoals het riftdalkoortsvirus weten we al langer dat ze in de eitjes van muggen kan overleven. De *Aedes*-muggen die dit virus verspreiden leggen hun eitjes in droogvallende poelen. Die eitjes komen uit zodra de poelen na hevige regenval weer vol met water komen te staan, wat soms wel een aantal jaar kan duren. In een studie werd het virus in ongeveer 1 op de 10.000 eitjes gevonden. Dat lijkt misschien weinig, maar aangezien deze muggen in grote aantallen voorkomen, is het een efficiënte manier van overwinteren.

Ten slotte is er nog de mogelijkheid dat virussen overwinteren in gastheren, zoals vogels of zoogdieren. Muggenoverdraagbare virussen blijven doorgaans echter slechts kort, in de regel een tot vijf da-



Figuur 30. Onderzoeker Jordy van der Beek zoekt met een larvendipper naar overwinterende larven onder het ijs. © Maarten Schrama

gen, in hoge aantallen in het bloed van de gastheer aanwezig. Dat maakt het onwaarschijnlijk dat ze overwinteren in gastheren.

Op dit moment is de vraag hoe muggen overwinteren nog zeer relevant. Maar het winterseizoen in Noordwest-Europa lijkt langzaam te verdwijnen; er zijn nu al twee wintermaanden minder dan in 1900. Het zou heel goed kunnen dat over twintig, dertig jaar veel virussen en muggen helemaal niet meer hoeven te overwinteren.

5.2 Ons verleden, heden en toekomst met muggen

– Marieta Braks & Maarten Schrama

De mensheid heeft er twee miljoen jaar over gedaan om een populatie van één miljard te bereiken. Voor de volgende miljard was slechts 120 jaar nodig en de daaropvolgende nog maar 35 jaar. Het zal niemand verbazen dat deze bevolkingsexplosie een enor-



Figuur 31. Rody Blom vangt overwinterende volwassen muggen in bunkers rond Utrecht. Geen enkele mug op deze overwinteringslocatie bleek een virus bij zich te hebben. Januari 2021. © Maarten Schrama

me impact heeft gehad op het aanzien van de wereld. En daarmee op de leefwereld van de mug. Om te begrijpen wat de toekomst zou kunnen brengen, is het goed om te bedenken hoe we hier zijn gekomen.

De dominante rol van de mens

In het huidige geologische tijdperk, het Antropoceen, beïnvloedt de mens bijna alle processen op aarde. Het menselijk handelen bepaalt in grote mate het landgebruik, de ecosystemen, de biodiversiteit en het uitsterven van soorten. Maar ook welke soorten kunnen floreer omdat ze het goed doen in de mens of in diens leefomgeving, zoals ziekmakende virussen en bacteriën, en ook ratten en steekmuggen.

Landbouw, kolonisatie en industrialisatie

Tot tienduizend jaar geleden was de rondtrekkende mens een integraal onderdeel van het natuurlijke ecosysteem. Dit veranderde toen

we het nomadisch bestaan verlieten en nederzettingen gingen bouwen; nederzettingen die inmiddels zijn uitgegroeid tot grootstedelijke gebieden. De impact van deze verandering mag niet worden onderschat. Met veel mensen op één plek kunnen onze ziektekiemen makkelijk permanent circuleren, springen ziekten snel over van vee op mens en kunnen vectoren, zoals muggen en knaagdieren die ziekten verspreiden, zich eenvoudig vestigen. Zo verzamelde de mens in de loop der eeuwen een grote verscheidenheid aan ziekten en vectoren om zich heen.

In de eeuwen daarop heeft de wereldwijde kolonisatie en handel gezorgd voor verdere verspreiding van de gelekoortsmug, de Afrikaanse malariamug en inmiddels ook de Afrikaanse tijgermug (zie 1.4 Exotische muggen, kader 2.2 Hijs de gele vlag! en kader 3.6 Muggenbestrijding essentieel voor bouw Panamakanaal).

Het was pas aan het eind van de negentiende eeuw dat de centrale rol van muggen in de verspreiding van malaria werd ontdekt, een ziekte die tot dat moment grote aantallen slachtoffers maakte in Europa en tot aan de poolcirkel voorkwam. In reactie daarop begon men wereldwijd met het ontwateren van *wetland*-ecosystemen en werden andere antimuggenmaatregelen, zoals uitgifte van kinine en plaatsen van horren, op grote schaal gepropageerd.

Schijnbare vooruitgang

De daaropvolgende vijftig jaren werden gekenmerkt door grote wetenschappelijke en medische vooruitgang. Zo werd het gelekoortsvirus (1927) voor het eerst beschreven en werd het antibioticum penicilline (1928) ontdekt. Het gelekoortsvaccin kwam in 1938 in gebruik. Kort na de Tweede Wereldoorlog kwamen synthetische insecticiden tegen muggen in zwang. Het 'wonderpoeder' DDT kreeg in 1948 zelfs de Nobelprijs. In 1970 werd Nederland malariavrij verklaard door de Wereldgezondheidsorganisatie (zie 2.3 Malaria in Nederland).

Enkele decennia lang heerste er een enorm gevoel van optimisme en maakbaarheid. De eerste tekenen van het tegendeel kwamen in de jaren zestig in de vorm van het beroemde boek *Silent spring* (1962) van Rachel Carson, die waarschuwde voor de nadelige milieueffecten door het willekeurige en overmatige gebruik van insecticiden.

De opkomst van dengue

Inmiddels zijn sommige muggenoverdraagbare infecties sterk teruggedrongen. Het beste voorbeeld is dat van malaria tijdens de *Roll back malaria*-campagne (1998-2010) van de Wereldgezondheidsorganisatie. Helaas geldt dit niet voor dengue en andere door *Aedes*-muggen overgedragen infecties zoals zika, gele koorts en chikungunya. Vóór 1970 hadden slechts negen landen ernstige dengue-epidemieën meegemaakt. De ziekte is nu endemisch in meer dan honderd landen. Endemisch betekent dat de ziekte blijft voorkomen in een bepaald gebied zonder dat de patiënten de ziekte elders hebben opgelopen.

Tot de eeuwwisseling waren bevolkingstoename, verstedelijking en globalisering, en ook het gebrek aan effectieve bestrijding van de mug, de belangrijkste aandrijvers van de wereldwijde toename van dengue. De vier verschillende typen van het denguevirus zijn inmiddels wereldwijd verspreid omdat mensen meer reizen dan ooit tevoren.

De gelekoortsmug, en in mindere mate de tijgermug, voeden zich bijna uitsluitend met mensen en gedijen goed in stedelijke omgevingen. Tegelijk werd de bestrijding van gelekoortsmuggen steeds lastiger omdat de volwassen muggen resistentie hebben ontwikkeld tegen zo ongeveer elk insecticide. Dit heeft geleid tot een (her)waardering van innovatieve technieken die de muggenpopulatie drastisch kunnen reduceren. Deze technieken zijn noch gemakkelijk, noch goedkoop en kennen elk eigen uitdagingen en ethische bezwaren (zie 5.4 Innovatieve muggenbestrijdingsmethoden).

Nu Noord-Europa wordt geconfronteerd met het sterk oprukken van verschillende invasieve muggensoorten, wordt ook de klimaatverandering en met name de opwarming als een belangrijke impuls voor de opkomst van dengue genoemd. Samen met de verwachte hogere zomertemperaturen vergroot dit het risico op het opduiken van door muggen overdraagbare ziekten in Nederland.

Blik op de toekomst

Hoe zal Nederland er in 2050 of 2100 uitzien? Veel zal afhangen van de toekomstscenario's die zijn gemaakt in relatie tot de verschillende CO₂-uitstootscenario's en opwarming van de aarde door het klimaatpanel IPCC. Daarnaast staan we in Nederland ook voor andere grote opgaven zoals het verlagen van de stikstofneerslag, het verminderen

van bodemdaling, het tegengaan van de toenemende verzilting en het oplossen van de woningnood. Verder is er een breed gedragen roep om een gezonde leefomgeving met veel groen en blauw die het menselijk welzijn, biodiversiteit en sociale cohesie centraal stelt maar ook aanpassing aan een veranderend klimaat. Dit verandert niet alleen de leefomgeving van de mens, maar ook die van de mug.

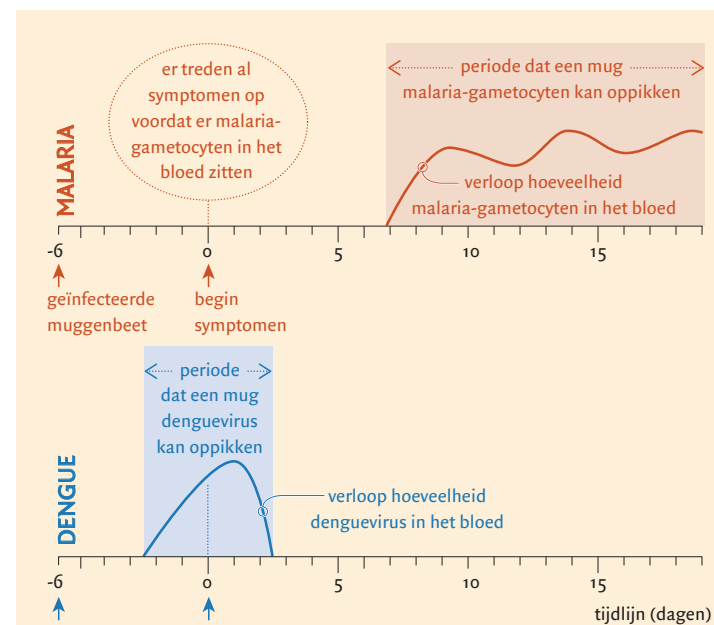
Op dit moment wordt dan ook veel onderzoek gedaan naar de relatie tussen de mens, de mug en de veranderende leefomgeving, want de grote invloed van de mens op de planeet aarde heeft muggen tot nu toe geen windeieren gelegd.

Is het malariagevaar geweken?

– Marieta Braks & Jeanine Loonen

Muggenexperts krijgen vaak de vraag of malaria in Nederland toeneemt. In het ene jaar wordt dit gevraagd in het kader van vernattingsprojecten en in het andere jaar in het kader van de klimaatverandering. Blijkbaar denken de vragenstellers dat deze ontwikkelingen mogelijk effect hebben op de muggenpopulaties en dat malaria de eerste – en soms enige – ziekte is die muggen overbrengen. Dat laatste is logisch, omdat men, als men naar tropische oorden met hoog risico wil reizen, naar de gemeentelijke gezondheidsdienst gaat voor malariapillen om de ziekte te voorkomen. Een andere veelvoorkomende, door muggen overgedragen infectieziekte, maar minder bekend, is dengue. Waarschijnlijk omdat daarvoor de preventieve middelen zoals pillen of vaccinaties ontbreken.

Muggenexperts kunnen een heel epistel schrijven over de verschillende soorten malariamuggen die in Nederland voorkomen en hun potentie om de malariaparasieten *Plasmodium falciparum* of *Plasmodium vivax* over te dragen, maar het antwoord op de vraag of malaria toeneemt ligt vooral buiten de entomologie. Malaria is een typische armoedeziekte en de kans op malaria-uitbraken in Nederland is daardoor minimaal. Dit komt door specifieke eigenschappen van malaria waardoor het reproduc-



Figuur 32. De verschillende perioden waarin een mens besmettelijk is voor een mug na infectie met een malariaparasiet of een denguevirus. © Marieta Braks en Jos van den Broek

tiëgetal R – het gemiddelde aantal mensen dat besmet wordt door één persoon – van geïmporteerde malariapatiënten in Nederland onder de 1 blijft. In tegenstelling tot muggenoverdraagbare virusziekten, zoals dengue, veroorzaakt malaria bij de meeste mensen die geïnfecteerd worden namelijk waarneembare symptomen. Vaak gaan deze symptomen vooraf aan het verschijnen van parasieten in het bloed die door muggen zouden kunnen worden opgepikt. Dat maakt het onwaarschijnlijk dat mensen met malaria langdurig onbehandeld rondlopen in Nederland en daar muggen besmetten.

Maar wanneer de medische zorg instort, kan het effect op

malariaverspreiding dramatisch zichtbaar worden. Dat is gebeurd in Venezuela. In de afgelopen tien jaar heeft dit land te maken gehad met een ernstige economische crisis, die werd veroorzaakt door politieke instabiliteit en dalende olie-inkomsten. Sindsdien is het aantal malariagevallen meer dan vertienvoudigd terwijl de aantallen in de rest van Zuid-Amerika al decennia sterk dalen.

5.3 Epidemieën voorspellen: het is mistig in de glazen bol

– Quirine ten Bosch

De komst en het verloop van epidemieën voorspellen is nog moeilijker dan het voorspellen van het weer. Ook daar moeten we genoeg nemen met een glazen bol die niet veel meer dan een week vooruitkijkt. Maar met de toename van nieuwe diagnostische technieken, data en rekenkracht groeit ook de wens om virussen een stapje voor te zijn.

De Olympische Spelen in Tokio 2020 waren niet de eerste die werden opgeschud door een zich snel verspreidende infectieziekte. Ook in de aanloop naar 'Rio 2016' bogen specialisten in de volksgezondheid zich wereldwijd over het vraagstuk of het wel verantwoord was de spelen door te laten gaan. Het zikavirus (zie 2.2 Problemen in het paradijs en 2.5 Dengue, zika en chikungunya) had niet lang daarvoor zijn intrede gedaan in Brazilië en zich in korte tijd over het hele continent verspreid. De ernstige, blijvende gevolgen voor pasgeborenen maakten van de zika-infecties een gezondheidscrisis van internationaal belang. Wat maakte dat dit tot dan toe milde virus, dat al sinds jaar en dag in Afrika voorkwam, ineens zo huis kon houden? Had dit voorkomen kunnen worden?

Meeliften en overleven

Muggenoverdraagbare virussen gaan dagelijks de wereld over, via geïnfecteerde mensen die (nog) niet ziek zijn, via besmette vogels (zie

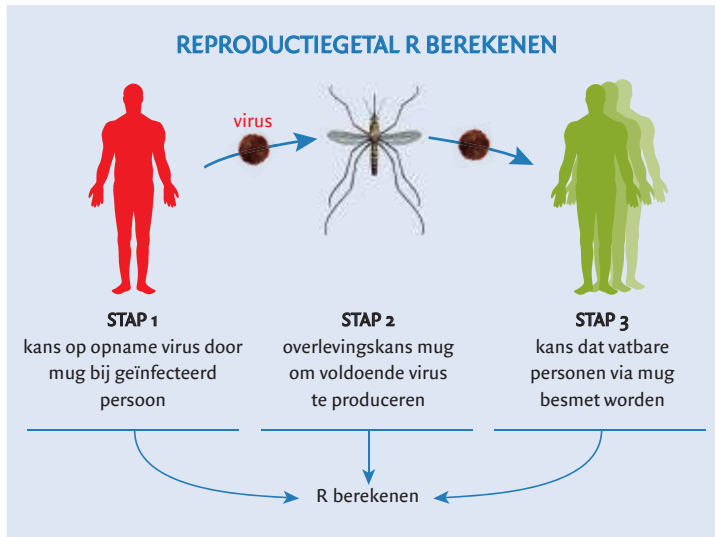
kader 4.2 Het eerste signaal van westnijlvirus in Nederland) of via muggen die meeliften in containerschepen, vliegtuigen en auto's (zie 1.4 Exotische muggen). Hoe meer we ons over de wereld verplaatsen, hoe meer virussen er met ons meeliften. Als bekend is waar risicovolle virussen aanwezig zijn en hoe deze gebieden met ons in verbinding staan, zijn risicokaarten te maken die inzicht geven in waar virussen zijn te verwachten en waar gericht extra surveillance en interventies kunnen worden ingezet.

Op sommige plekken is ingrijpen makkelijker dan op andere. Of ingrijpen überhaupt de moeite waard is, hangt ervan af of het virus zich kan handhaven in het nieuwe gebied. Veruit de meeste virusintroductions leiden namelijk tot geen of slechts enkele nieuwe infecties. Dit is voor een deel een kwestie van kans. Een geïnfecteerd persoon moet op tijd door een geschikte mug gebeten worden, die vervolgens lang genoeg moet overleven – minstens een week – om zelf genoeg virus te hebben om het weer aan een ander persoon door te kunnen geven. En die persoon moet op zijn of haar beurt weer gebeten worden, enzovoort. De transmissieketen stukt dus vaak al voor hij goed en wel op gang is gekomen. Gelukkig maar!

Het R-getal

Er ontsnappen dus dagelijks miljoenen mensen aan een nieuwe epidemie. Hoe vaak het geluk aan onze kant is, hangt samen met het reproductiegetal (R). Dit getal geeft aan hoeveel nieuwe infecties er gemiddeld door één geïnfecteerd persoon ontstaan. Als R kleiner dan 1 is, zal het virus niet tot een uitbraak leiden. Is R groter dan 1, dan wordt de kans op uitbraken reëel en moeten maatregelen worden overwogen.

Er zijn veel verschillende methoden om R te schatten. In het beste geval is bij een uitbraak te achterhalen wie wie heeft geïnfecteerd, al dan niet met een mug ertussen. Het gemiddelde aantal nieuwe infecties per persoon is dan gelijk aan R. Helaas is het vaak niet mogelijk te herleiden waar en door wie iemand geïnfecteerd is geraakt. In dat geval kan bijvoorbeeld worden gekeken naar hoe snel het aantal besmettingen toeneemt. Immers, als elke volgende geïnfecteerde evenveel nieuwe mensen besmet, zal het aantal besmettingen aan het begin van een epidemie exponentieel toenemen, met een snelheid die samenhangt met R.



Figuur 33. De verschillende stappen in het berekenen van het reproductiegetal R van virusinfecties. © Stichting BWM

Overdrachtscyclus

Maar wat te doen als een virus ergens nog niet eerder gezien is? In zo'n geval is een inschatting van R te maken aan de hand van de kennis van de transmissiecyclus. Voordat een muggenoverdraagbaar virus zoals dengue van de ene persoon naar de andere is overgedragen, hebben er minstens twee muggenbeten op een mens plaatsgevonden en heeft de mug lang genoeg overleefd om het virus te kunnen overdragen. De kans dat alle stappen van de transmissiecyclus plaatsvinden, hangt samen met de lokale omstandigheden. Al deze stappen samen vormen de basis voor het berekenen van R en daarmee voor het inschatten van het risico op uitbraken als er een virus binnenkomt.

Mistige glazen bol

Hadden we zika met deze kennis aan kunnen zien komen? Van andere muggenoverdraagbare ziekten in Zuid-Amerika was bekend dat alle ingrediënten voor een uitbraak aanwezig waren. Daarnaast was niemand eerder in contact geweest met het virus, waardoor er geen

immuniteit was die de overdracht kon stoppen. Het risico was dus reëel, maar wanneer het zou gebeuren was niet te voorspellen. Wel konden op korte termijn ramingen gemaakt worden van hoeveel mensen, in het bijzonder zwangere vrouwen en hun baby's, in Zuid-Amerika risico op besmetting liepen en dus hoe groot de potentiële impact van deze epidemie zou zijn. Ook kon, op basis van kennis van de lokale muggenpopulaties, ingeschat worden dat de epidemie ten tijde van de Olympische Spelen, tijdens de winter op het zuidelijk halfrond, waarschijnlijk op zijn retour zou zijn. De glazen bol is op zijn best mistig, maar niet te min een belangrijk instrument om gewogen beslissingen te maken over preventie en bestrijding van uitbraken.



FEIT OF FABEL? Veel vogelnestkastjes ophangen helpt tegen muggenoverlast

FABEL Muggen worden door veel verschillende dieren gegeten, als larf, als pop en als volwassen mug. Vogels en vleermuizen eten volwassen muggen. Maar meer vogels betekent waarschijnlijk juist dat er meer gastheren zijn voor een mug om zich mee te voeden. Of de aanwezigheid van vleermuizen invloed heeft op de hoeveelheid muggen in de omgeving is nog onbekend.

5.4 Innovatieve muggenbestrijdingsmethoden

– Sander Koenraadt

Velen onder ons hebben wel ergens een geplet exemplaar van een steekmug op de muren zitten. Dat is een mug minder, maar de volgende generatie steekmuggen staat wellicht al klaar in de regenton onder het slaapkamerraam. Een spuitbus met insecticide kan uitkomst bieden, maar muggen kunnen er snel resistent tegen worden. Kan dat niet anders? Zijn er alternatieve, innovatieve bestrijdingsmogelijkheden voorhanden?

Aanpakken bij de bron

Voorkómen dat muggen überhaupt een plekje met water hebben om zich in voort te planten, is de eerste verdedigingslinie in het be-

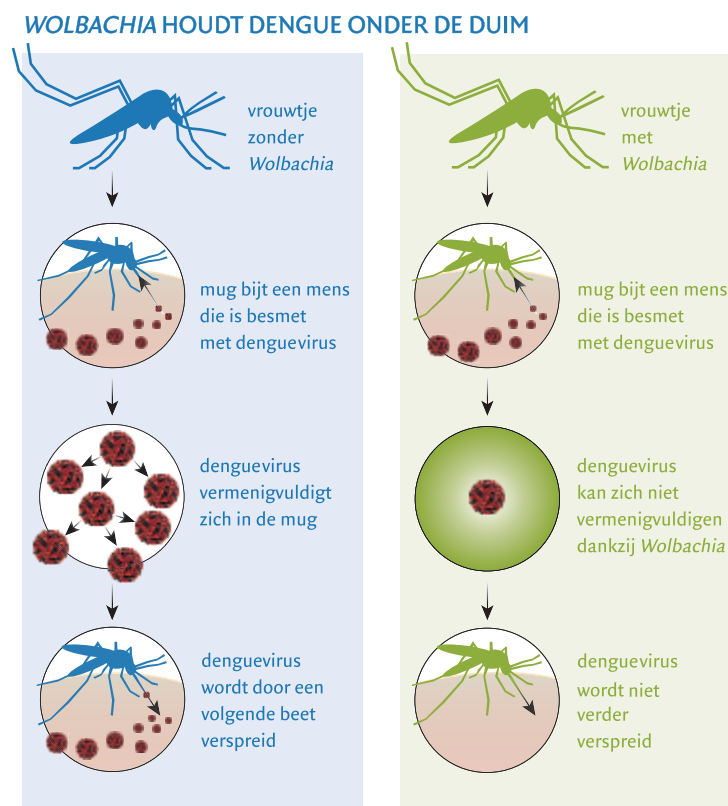
strijden van muggen (zie 3.6 Steekmuggenbestrijding). Maar soms is het niet mogelijk om het water weg te gooien, te laten afvloeien of goed af te dekken zoals bij een regenton. In dat geval is biologische bestrijding een optie: het gebruik van een organisme – vaak een natuurlijke vijand – om een ander, schadelijk organisme onder de duim te krijgen. Een goed voorbeeld hiervan is de bacterie *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (Bti). De bacteriën werken in op de darmen van de muggenlarven, waardoor deze sterven. Er zijn verschillende Bti-bevatende producten op de markt die aan water kunnen worden toegevoegd en die veilig zijn voor mens en dier. Die middelen worden grootschalig toegepast in bijvoorbeeld moerasgebieden in Zuid-Europa en in overloopgebieden van de Rijn in Duitsland. Vanuit helikopters wordt het bacteriepreparaat over het oppervlaktewater verspreid, en drones worden ingezet om Bti gericht toe te passen.

Massaal wegvangen

Een andere benadering is het wegvangen van muggen door ze naar een val toe te lokken met geurstoffen. Het idee hierachter is dat vluchtige stoffen de geur van mens of dier nabootsen om een hongerige vrouwtjesmug zodanig te verleiden dat ze te dicht bij een val vliegt en vervolgens naar binnen wordt gezogen. Er zijn verschillende typen vallen die gebruik maken van geurmengsels welke vaak bestaan uit een vijftal stoffen, zoals ammonia, melkzuur en andere vetzuren. Door toevoeging van koolstofdioxide, bijvoorbeeld met droogijs of uit een gascilinder, wordt de aantrekkelijkheid verhoogd omdat CO₂ in de adem van warmbloedige gastheren een signaal is voor muggen dat er iets te halen valt. Muggenvallen worden veelal ingezet voor monitoring en surveillance (zie 4.3 Muggen monitoren in Nederland), maar misschien is het ook mogelijk om steekmuggen massaal weg te vangen door deze muggenvallen overal uit te zetten. Dat werd een aantal jaren geleden getest bij malariamuggen in Afrika en leidde daar tot een reductie van 70 procent in de populaties van de malariamug *Anopheles funestus*.

De *Wolbachia*-bacterie

De bacterie *Wolbachia* komt voor in zo'n 60 procent van alle insectensoorten, waaronder vlinders, libellen en fruitvliegjes. De bacterie



Figuur 34 a. De overdracht van het denguevirus door een mug met en zonder de *Wolbachia*-bacterie. © Stichting BWM. b. Vervanging van de natuurlijke muggenpopulatie door een met *Wolbachia* geïnfecteerde muggenpopulatie. Bron: Yen & Falloux, 2020

heeft soms een wat gekke invloed op de voortplanting van deze insecten: als met *Wolbachia* geïnfecteerde mannetjes paren met niet-geïnfecteerde vrouwtjes zijn alle nakomelingen steriel. Eitjes worden wel gelegd, maar deze komen simpelweg niet uit. Andersom, wanneer een met *Wolbachia* geïnfecteerd vrouwtje paart met een ongeïnfecteerd mannetje, zijn alle nakomelingen drager van deze bacterie. *Aedes aegypti* draagt *Wolbachia* van nature niet bij zich, maar de bacterie kan wel in de mug worden geïnjecteerd. Min of meer bij toeval is ontdekt

dat met *Wolbachia* geïnfecteerde *Aedes aegypti*-muggen niet of nauwelijks in staat zijn om het denguevirus over te dragen. Door nu slim gebruik te maken van de eigenschappen van *Wolbachia* en op grote schaal met *Wolbachia* geïnfecteerde muggen los te laten, is het dus mogelijk om ervoor te zorgen dat alle muggen in de omgeving drager worden van de bacterie en daarmee dus niet meer in staat zijn om het virus over te dragen. Zo'n tien jaar geleden zijn in Australië de eerste veldproeven met deze techniek afgerond en in 2021 is er in Indonesië groot succes geboekt: een bestrijdingsprogramma met *Wolbachia*-muggen heeft hier geleid tot 77 procent minder gevallen van dengue. Momenteel wordt ook onderzocht hoe deze methode ingezet kan worden in de bestrijding van andere soorten steekmuggen, zoals de tijgermug.

Genetische modificatie

Een vergelijkbaar effect als dat van de *Wolbachia*-bacterie kan bereikt worden door genetische modificatie. Wetenschappers zijn erin geslaagd om op verschillende manieren wijzigingen in de genetische code van de steekmug aan te brengen die ervoor zorgen dat muggenpopulaties worden teruggedrongen of vervangen worden door soortgenoten die niet langer in staat zijn om ziekteverwekkers over te dragen. Het Engelse bedrijf Oxitec probeert op grote schaal deze techniek in te zetten voor bestrijding van *Aedes aegypti*, fruitvliegjes en schadelijke koolmotten. Deze techniek wordt ook wel de 'sterielemannetjes-techniek' genoemd, omdat het massaal uitzetten van genetisch steriele mannetjes ervoor zorgt dat wilde vrouwtjes geen nakomelingen meer krijgen. Dat leidt er uiteindelijk toe dat populaties instorten. Met deze techniek worden verschillende proeven uitgevoerd, onder andere in Florida, in Brazilië en op de Kaaimaneilanden, om te kijken wat de impact is en wat mogelijk schadelijke neveneffecten zijn op andere organismen. Vooral nog lijkt de techniek veilig, maar er zijn nog veel vragen omtrent de ethische aspecten ervan.

De toekomst

Er worden spannende nieuwe benaderingen ontwikkeld om muggen te bestrijden. Een flink aantal daarvan staat nog in de kinderschoenen, maar zijn desalniettemin veelbelovend. De weerstand te-

gen deze nieuwe benaderingen komt vaak voort uit angst voor het onbekende. Door tijdig de discussie aan te gaan met verschillende belanghebbenden kunnen we er gezamenlijk voor zorgen dat we in de toekomst misschien nog wel wakker worden van nachtelijk gezoem, maar dat we ons minder zorgen hoeven te maken over de ziekerisico's die dit met zich meebrengt.

Muggenbestrijding met steriele insecten

– Marieta Braks

De steriele-insectentechniek (SIT) is een methode om plaaginsecten biologisch te bestrijden. Hiervoor worden miljoenen insecten gekweekt, gesteriliseerd en daarna in de natuur vrijgelaten om de voortplanting in een veldpopulatie van dezelfde soort te verminderen. Het is een soort anticonceptie, waarbij wilde vrouwelijke insecten van de plaagpopulatie zich niet voortplanten wanneer ze worden bevrucht door vrijgelaten, steriele mannetjes.

SIT werd voor het eerst toegepast in de jaren dertig van de twintigste eeuw in de Verenigde Staten, om de schroefwormvlieg, die myiasis (huidmadenziekte) bij vee veroorzaakt, uit te roeien. Dit verhaal heeft zelfs een Nederlands tintje, aangezien de eerste succesvolle uitroeiing van de schroefwormvlieg met SIT plaatsvond in 1954 op Curaçao. Sterilisatie werd toen bewerkstelligd door vliegpoppen bloot te stellen aan een dosis röntgenstraling.

Direct na de Tweede Wereldoorlog kwamen isotopen beschikbaar voor gammastraling, maar dat had een negatief effect op de fitness van het insect. Onder leiding van de Food and Agriculture Organisation van de Verenigde Naties (FAO) en het International Atomic Energy Agency (IAEA) in Wenen is SIT doorontwikkeld als een techniek waarbij gecontroleerde bestraling van insecten werd toegepast met röntgen- of gammastraling. Veel onderzoek naar de bestrijding van muggen met deze vorm van SIT is verricht in de periode 1950-1970. Met succes werd een aan-

tal kleinschalige veldproeven uitgevoerd op een of meer mugsoorten van de geslachten *Aedes*, *Culex* en *Anopheles*. Geen van de proeven vond echter grote navolging. Het werk werd beëindigd door het uitbreken van burgeroorlogen of vanwege weerstand onder de lokale bevolking die de ware doelen van de projecten wantrouwde.

Wegens de snelle invasie van de Aziatische tijgermug is de SIT-methode in Italië opnieuw opgepakt. Italiaanse onderzoekers zijn sinds 1999 bezig om SIT toe te passen op de tijgermug. Op dit moment vinden er gecontroleerde veldproeven plaats. De toekomst zal uitwijzen of de techniek succesvol zal zijn in het beheersen van deze soort.

Er zijn verschillende vormen van SIT. Concept en doel zijn vergelijkbaar, maar de techniek om steriliteit te bereiken in de insectenpopulatie is anders. Steriliteit in muggen kan worden geïnduceerd door ze bloot te stellen aan straling, door ze te infecteren met een bacterie (*Wolbachia*) of door ze genetisch te modificeren (Oxitec). In Europa zijn de twee laatstgenoemde vormen niet toegelaten.

6 Nawoord

Vinger aan de pols in de schaduw van corona

– Chantal Reusken & Marieta Braks

Een boek samenstellen over muggen en de infectieziekten die ze verspreiden in een tijd gedomineerd door een andere infectieziekte, Covid-19 veroorzaakt door het virus SARS-CoV-2, kende zo haar uitdagingen. Net als bij ieder ander zijn onze levens stevig geraakt door de pandemie. Thuiswerken is de norm, overleggen vinden plaats via het computerscherm en kinderen zijn thuis als de scholen gesloten zijn. Daarnaast zijn verschillende collega's die we gevraagd hadden om een bijdrage aan dit boek te leveren, beroepshalve ook betrokken bij de beheersing van de pandemie. We zijn hen dan ook extra dankbaar dat ze de tijd hebben gevonden om aan ons verzoek gehoor te geven. Af en toe kregen we zelfs het idee dat het een welkome afwisseling was. Dat gold in ieder geval voor ons. Het was ook een belangrijke afwisseling, want het werd voor iedereen duidelijk dat ontwikkelingen rond andere infectieziekten en hun risico's gewoon doorgaan in de maatschappij; zo voltrok in 2020 in de schaduw van de coronapandemie de eerste westnijlvirusuitbraak zich in ons land.

Dat muggenoverdraagbare ziekten de wereld al sinds mensenheugenis bezighouden, moge duidelijk zijn na het doornemen van dit boek. Maar ook in deze ontwrichtende pandemische tijden houden in-

stanties zoals de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO), de EU, het RIVM en tal van onderzoekers in Nederland en buitenland een vinger aan de pols rond de verspreiding van deze groep infectieziekten. Zij genereren en delen kennis die noodzakelijk is voor een goede preventie en bestrijding van de ziektelast. Aandacht hiervoor is ook in Nederland wel degelijk noodzakelijk. Door een verscheidenheid aan factoren neemt de wereldwijde ziektelast door muggenoverdraagbare ziekten zoals dengue en westnijkooorts jaar in jaar uit toe, niet alleen in de tropen, de traditionele endemische gebieden, maar ook daarbuiten.

Voor velen voelt het nog als een ver-van-mijn bedshow. En natuurlijk spelen de grootste problemen zich af in tropische oorden. Maar de toenemende globalisering en klimaatverandering die direct van invloed zijn op de mate waarin we ook als Nederlanders dit soort infectieziekten oplopen, maken 'de mug' tot een zeer actueel onderwerp. Bovendien bestaat een deel van het Koninkrijk der Nederlanden uit tropische gebieden. Voor bewoners en bezoekers van het Caribisch gebied zijn deze infectieziekten per definitie nabij.

Door de grote aandacht voor klimaatverandering, maar ook omdat we muggen associëren met zwoele zomeravonden of vakanties in tropische oorden, is er veel interesse voor steekmuggen en de ziekten die ze overdragen. Zoveel zelfs dat naast de vele feiten ook veel labels de ronde doen. Regelmatig worden in de berichtgeving rond muggenoverdraagbare ziekten, maar ook tijdens de redactievergaderingen voor dit boek, allerlei concepten aan elkaar verbonden die niet altijd of slechts ten dele kloppen, zoals opkomende ziekten, invasieve muggensoorten en klimaatverandering. Hopelijk hebben we met veel passie voor het onderwerp in dit boek een mooi overzicht geboden over wat muggen zijn, welke mug nu welke virussen overdraagt, en wat de situatie is rond deze muggen en 'hun' ziekten in Nederland en de rest van de wereld.

AUTEURS EN BRONNEN

Auteurs

- Drs. T.J. van den Berg, ringcoördinator, Vogelringstation de Haar.
- Drs. R. Blom, promovendus, citizen science voor muggensurveillance, Wageningen University & Research.
- Drs. S.P. Boerlijst, promovendus, ecologie van muggen, Universiteit Leiden.
- Dr. W. Van Bortel, onderzoeker medisch entomoloog, Instituut voor tropische geneeskunde, Antwerpen, België.
- Dr. Q.A. ten Bosch, universitair docent infectieziekten epidemiologie, Wageningen University & Research.
- Dr. M.A.H. Braks, medisch entomoloog, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Centrum Infectieziektebestrijding.
- Dr. J.M.A. van den Brand, universitair docent, departement *biomolecular health sciences* en diergeneeskunde, Utrecht Universiteit.
- Drs. F. Brekelmans, stadsecoloog, gemeente Utrecht.
- Dr. O.J.T. Briët, expert medische entomologie, European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC).
- Drs. J. Buijs, milieuwetenschapper en onderzoeker leefomgeving, GGD Amsterdam.
- Prof. dr. J.T. van Dissel, directeur Centrum Infectieziektebestrijding, RIVM.
- Dr. A.A. van der Eijk, arts-microbioloog, arts-viroloog en medisch coördinator unit klinische virologie, Erasmus MC.
- Dr. E.B. Fanoy, arts maatschappij en gezondheid, infectieziektebestrijding, GGD Rotterdam-Rijnmond.
- Dr. ir. E.A.J. Fisher, universitair docent diergeneeskunde, departement *population health sciences*, Universiteit Utrecht.
- Dr. E. Franz, afdelingshoofd epidemiologie van zoönosen, RIVM, Centrum infectieziektenbestrijding.
- Dr. C. Geurts van Kessel, arts-microbioloog, arts-viroloog, unit klinische virologie, Erasmus MC.
- Dr. A. Goorhuis, internist-infectioloog, afdeling infectieziekten en centrum voor tropische geneeskunde en reizigersgeneeskunde, Amsterdam UMC.
- M. van Horssen, MSc-student, ecologie van vleermuizen, Universiteit Wageningen en Leiden.
- Dr. A. Ibáñez-Justicia, wetenschappelijk medewerker bij het Centrum monitoring vectoren, NVWA.

F.H.H. Jacobs, onderzoeksmedewerker bij het Centrum monitoring vectoren, NVWA.

Dr. H. van der Jeugd, hoofd Vogeltrekstation, NIOO-KNAW.

L.F.W. Jonckers Nieboer, MSc-student moleculaire en cellulaire levenswetenschappen, Universiteit Utrecht.

Dr. J.H.T.C. van den Kerkhof, arts maatschappij en gezondheid, RIVM, Centrum Infectieziektebestrijding.

Dr. C.J.M. Koenraadt, universitair hoofddocent medische & veterinaire entomologie, Wageningen University & Research.

Drs. J.A.C.M. Loonen, medisch entomoloog, Artsen Zonder Grenzen.

Dr. C. van Maanen, specialist veterinary microbiology, GD-Gezondheidsdienst voor Dieren.

Dr. M. de Mendonça Melo, internist-infectioloog, Erasmus MC.

Dr. ir. G.P. Pijlman, Universitair hoofddocent, Laboratorium voor Virologie, Wageningen University & Research.

Dr. C.F.H. Raven, arts Maatschappij en Gezondheid, GGD regio Utrecht, afdeling Infectieziektebestrijding.

Dr. J. Rebolledo Gonzalez, epidemioloog infectieziekten, Sciensano, België.

Ing. J.H.J. Reimerink, onderzoeker virologie, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Centrum Infectieziektebestrijding.

Dr. ir. C.B.E.M. Reusken, top expert virologie, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Centrum Infectieziektebestrijding.

Dr. M.J.J. Schrama, universitair docent, ecosysteemecologie, Universiteit Leiden.

Dr. H. Sprong, onderzoek coördinator, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Centrum Infectieziektebestrijding.

Dr. J.E. van Steenbergen, bestuurslid BWM.

Drs. C.J. Stroo, entomoloog, Centrum Monitoring Vectoren, NVWA.

Prof. dr. ir. W. Takken, emeritus hoogleraar entomologie, Wageningen University and Research Centre.

Dr. G. Veldhuis, neuroloog, Niels-Stensen-Kliniken, Osnabrück.

Prof. dr. ir. P.F.M. Verdonschot, groepsleider zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research.

Prof. Dr. L.G. Visser, hoogleraar in de Infectieziekten, in het bijzonder de reizigersgeneeskunde, Leids Universitair Medisch Centrum.

Dr. P.J. de Vries, internist-infectioloog, afdeling interne geneeskunde, ziekenhuis Tergooi.

Prof. dr. H.F.L. Wertheim, hoogleraar klinische microbiologie en afdelingshoofd Klinische Microbiologie, Radboud MC.

Dr. P.J. Wichgers Schreur, onderzoeker Virologie en Moleculaire Biologie, Wageningen Bioveterinary Research.

Dr. ir. C.C. van den Wijngaard, onderzoeker epidemiologie van zoönosen,

Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Centrum infectieziektenbestrijding.

Prof. dr. H. Zaaijer, arts-microbioloog, hoofd afdeling Bloedoverdraagbare infecties van Stichting Sanquin Bloedvoorziening.

Bronnen

De figuren 1 en 2 zijn afkomstig uit 'Reverse' identification key for mosquito species (Sola: ECDC/EFSA, 2021, <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/Reverse-identification-key-for-invasive-mosquito-species.pdf>).

Voor paragraaf 2.3 *Malaria in Nederland* en de ontdekking van kinine is dankbaar gebruik gemaakt van *Malaria en kinine* (Amsterdam: Bureau tot bevordering van het kininegebruik, 1926).

Kader in 2.4 *Stierf Alexander de Grote aan het westnijlvirus?* is gebaseerd op het artikel 'Alexander the Great and West Nile Virus Encephalitis' van John Marr en Charles Calisher in *Emerging Infectious Diseases* (december 2003), en op het hoofdstuk 'Ad fundum' van A. Jansen in het boek *Op het lijf geschreven* (1993).

Tabel 1 over de verschillende monitoringsystemen in Nederland is overgenomen uit *West Nile virus in the Netherlands. Action plan for surveillance and response 2021-2023* (rapport 2021-0152; Bilthoven: RIVM, 2021).

Figuur 17 is gebaseerd op K.N. Gerken et al., *Paving the way for human vaccination against Rift Valley fever virus: A systematic literature review of RVFV epidemiology from 1999 to 2021*. medRxiv preprint, doi.org/10.1101/2021.09.29.21264307.

Figuur 22 is gebaseerd op B.M. Greenwood et al., 'Malaria: progress, perils, and prospects for eradication' in *Journal of Clinical Investigation* 2008;118(4):1266-1276 (www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2276780).

Figuur 31 is afkomstig uit *West Nile virus in Europe in 2021 - human cases compared to previous seasons, updated 11 November 2021*. (Solna: ECDC, 2021, www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/west-nile-virus-europe-2021-human-cases-compared-previous-seasons-updated-11).

Figuur 34B is gebaseerd op P.S. Yen & A.B. Falloux, 'A review: Wolbachia-based population replacement for mosquito control shares common points with genetically modified control approaches' in *Pathogens* 2020;9(5):404 (www.mdpi.com/2076-0817/9/5/404).

REGISTER

Cursieve paginanummers verwijzen naar figuren, kaarten en tabellen

- adembuisje 22, 27
Aedes 77, 78, 137, 148
 aegypti 18, 27, 29, 31, 34, 42, 43, 47, 51, 53, 58, 72, 73, 145
 albopictus 18, 27, 29-32, 35, 44, 45, 51, 54, 72, 73, 103, 106, 132, 137, 148
 atropalpus 30
 caspius 25
 cinereus 25, 26
 communis 25
 detritus 25
 eitjes 14
 flavopictus 31
 geniculatus 4
 japonicus 27, 31, 32
 koreicus 31
 levenscyclus 16
 taeniorhynchus 56
 verspreiding 32
 vexans 27
Afrika 51, 86, 93, 97
 sub-Sahara 62, 83
Alexander de Grote 70, 71
Amerikaanse rotspoelmug zie *Aedes atropalpus*
amfibievriendelijke tuin 21
Andalusië 96
anderdaagse koorts 60
Anopheles 29, 148
 albimanus 107
 atroparvus 25, 63
 broedplek 29
 eitjes 14
 funestus 144
 habitat 21
 larven 27
 maculipennis 24, 132
 plumbeus 21, 29, 106, 132
antigenic imprinting 91
antimuggenvaccin 101
antistof 88, 89, 90, 122
antistoftest 91, 126
antistolling 48
Antropoceen 135
apen 78
Arabië 86
augustus-septemberziekte 78
Australië 77, 146
autobanden 30, 32, 104
Aziatische bosmug zie *Aedes japonicus*
Aziatische tijgermug zie *Aedes albopictus*
Bacillus thuringiensis 144
bacteriën, overdracht door muggen 52
bamboeplanten 30
Barmah Forestvirus 77
bataivirus 111
bestrijding
 insecticiden 64, 108, 136, 137, 143
 larviciden 21, 105
 predatoren 21, 144
 strategieën 101-104, 118, 120, 144, 147
bestrijdingsplicht 123
bestuiving 23, 24
biologische overdracht 49
biosafety level 51
biotoop 23, 25, 29, 117
bloedarmoede 93
bloeddonor 94
bloedinfecties 94
bloedmaaltijd 15, 19, 23, 24, 49
bloedonderzoek 88-91, 110
bloedtransfusie 94, 95, 110, 112
bloemen 19, 24
boomholten 19, 106
bosgebied 24
bosmug zie *Haemagogus*
Brazilië 78, 82, 140, 146
broedplekken 22, 27, 36, 103-107, 119
 Aedes 27, 31, 32, 34
 Anopheles 29
 Culex 21
 verwijderen 34, 105, 108
Caribisch gebied 53, 55, 58, 71
Centraal-Amerika 107
Centraal-Azië 782
chikungunya 37, 51, 54, 73, 95, 137
 incubatietijd 74
 vaccin 100
 virus 72
 ziekteverschijnselen 74, 75
Chironomidae 18
chloroquine 63
Cinchona officinalis 61
cisterne zie waterberging
citronella 102
CO₂ zie koolstofdioxide
container breeder 27
Coquillettidia richardii 21, 27
Culex 77, 78, 85, 148
 eitjes 14
 habitat 21
 pipiens 18, 28, 29, 35, 38, 39, 68
 overdracht westnijlvirus 131
 winterrust 132, 133
 quinquefasciatus 56
 territans 24, 118
Culiseta 78
 annulata 18, 27, 35, 40, 41
 melanura 86
Curaçao 147
dansmuggen 17, 18
dazen 50
DDT 64, 136
dead-end host 68, 122, 123, 125
DEET 102
dengue 47, 49, 51, 54, 72-74, 83, 89, 95, 137, 138
 incubatietijd 74
 vaccin 100
 virus 96, 108, 145, 146
 ziekteverschijnselen 74, 75
DNA-analyse 121
Dracaena sanderiana 30
droogte 132
Duitsland 96, 125
duiven 78, 114
eenden 114
Egypte 78
eindgastheer zie dead-end host
eitjes zie muggeneitjes
encefalitisvirus 68, 85
 equine 86
Ethiopië 80
ezels 85
fase-I-, -II- en -III-onderzoek 99
fecesonderzoek 88
Fiji 77
flavivirussen 68, 90
Florida 146
Francisella tularensis 52, 53
Frankrijk 125
 overzeese departementen 95
fruitvliegjes 144
gastheer 15, 23, 68, 84, 122, 131

- geiten 86
gele koorts 47, 53, 57, 82, 99, 107, 137
 mug zie *Aedes aegypti*
 vaccin 98, 100, 136
 virus 89, 96, 136
gemeentelijke gezondheidsdienst (GGD) 106, 128
genetische modificatie 51, 146
geringde steekmug zie *Culiseta annulata*
geurstoffen 15, 16
gewone steekmug zie *Culex pipiens*
gewrichtsklachten 74, 80
gierkelders 106
Gorgas, William 107
grasmus 117
Griekenland 125
griepachtig ziektebeeld 92, 93
grootstedelijke gebieden 136
grupstallen 106
Guillain-Barré, syndroom van 71
guppies 21
Haarzuilens 117
habitat 19, 20, 21, 106, 111, 117, 135, 138
Haemagogus 33, 107
hazenkoorts 52
hersenontsteking 69, 125, 129
hersenvliesontsteking 69, 127, 129, 130
histamine 103
hiv 56
honden 85
Hongarije 125
hoofdpijn 75, 80, 130
hoogveengebied 25
huiduitslag 75
huissteekmug zie *Culex pipiens*
icardine 102
identificeren 17
Ig-antistoffen 90
immunoglobulinen 90
immuunsysteem 88, 91, 103
incubatietijd ziekteverschijnselen 74
infectie
 bloedoverdraagbaar 94
 door een transfusie 95
 in de mug 48, 51
 muggenoverdraagbaar 11
 van de mug 48
insectenwerende middelen 102
insecticiden 64, 108, 136, 137, 143
IR3535 102
Italië 125
Japanse encefalitisvirus 68, 85, 89, 96
jeuk 102, 103
Kaaimaneilanden 146
Karelische koorts 78
kassen 32
katten 85
kinabastpoeder 59
kinine 62
kippen 84, 111, 122
 als verklikker 125
klachten zie ziekteverschijnselen
klamboe 102
kleding 102
klei- en veengebieden 25
klimaatverandering 137
klinisch onderzoek 100
knoflook 119
knokkelkoorts zie dengue
knutten 17, 79
koeien 84
koolstofdioxide 15, 118, 119
koorts 75, 130
Koreaanse bosmug 31
kraaiachtigen 114
kriebelmug 17
kruisreactiviteit 90
laboratoriumonderzoek 51, 80, 87, 90, 129
langpootmuggen 17, 18
laplanduil 69, 113
larven 14, 19, 21, 144
 verstoppen 26
 zoeken 119
larviciden 21, 105
leefgebied zie habitat
levenscyclus 14-16, 19, 27, 48, 69
libellen 144
lichaamsgeur 16, 102
liquoronderzoek 129
lokstof 118
loodgrijze malariamug zie *Anopheles plumbeus*
luchthavens 33, 65, 105
Lucky Bamboo 30, 104
luiaard 78
malaise 79, 127
malaria 59, 65, 92-96, 107, 136-138
 mug zie *Anopheles parasiet* 62
 vogel- 114
mannetjesmuggen 15, 24, 48, 91, 117, 133
steriliseren 146
meldplicht 110, 123, 128
merels 111, 113
 sterfte 56-69
messenger-RNA (mRNA) 98
microcefalie 71
Midden-Amerika 71
Midden-Oosten 82
moeraskoorts 62
moerassteekmug 26
monitoren zie surveillance
mug
 Amerikaanse rotspoel- zie *Aedes atropalpus*
 Aziatische bos- zie *Aedes japonicus*
 Aziatische tijger- zie *Aedes albopictus*
 bos- zie *Haemagogus*
 dans- 17, 18
 gelekoorts- zie *Aedes aegypti*
 huissteek- zie *Culex pipiens*
 Koreaanse bos- 31
 kriebel- 17
 langpoot- 17, 18
 loodgrijze malaria- zie *Anopheles plumbeus*
 malaria- zie *Anopheles*
 mannetjes- 15, 24, 48, 91, 117, 133, 146
 moerassteek- 26
 olifants- 21
 plantenboorsteek- 21
 overstromings- 27
 rotspoel- 30
 steek- 15-18, 20
 tijger- zie *Aedes albopictus*
 vrouwjes- 9, 14, 15, 19, 22, 24, 31, 48, 53, 91, 118, 133
 wintersteek- zie *Culiseta annulata*
 zuidelijke huissteek- zie *Culex quinquefasciatus*
 zwarte kweldersteek- zie *Aedes taeniorhynchus*
muggenbeet 48, 102
muggeneitjes 14, 119, 133
muggenoverdraagbare ziekten 11, 48, 68, 77, 84, 92, 109, 110, 131, 142, 150
muggenvallen 118, 120, 144
muggenwerende middelen 101, 102
muggenzwerm 15, 45, 117
myxomatose 50
naamgeving 79
Natura 2000 26
natuurontwikkeling 106
nectar 17, 24, 48
Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit (NVWA) 19, 34, 104, 106, 118, 123
neutralisatietest 90, 91

- Nieuw-Guinea 77
- Noord-Europa 78, 103, 137
- Ockelbo, ziekte van 78
- Oeganda 66, 71
- olifantsmug 21
- Olympische Spelen 140, 143
- onderzoek
 - bloed 82, 88-90, 110
 - feces 88
 - genetisch 51
 - klinische fasen 99
 - medisch 80, 93, 129
 - microbiologisch 87, 113, 127
 - PCR 88
 - urine 88
 - veld 29, 52, 71, 112, 113, 117, 134, 135
 - verspreiding 32, 33, 150
 - veterinair 86, 123
- ontbossing 63
- ooievaars 85
- Oostenrijk 125
- openbare ruimte 35
- original antigenic sin 91
- oropouchevirus 78
- overdracht 49-52
 - cyclus 142
 - keten 141
- overdrager zie vector
- overstromingsmuggen 27
- overwintering
 - muggen 132
 - virussen 133
- ovipositievallen 119
- paarden 84, 86, 111, 122
 - als verklikker 123
 - bloedonderzoek 110
 - vaccins 96, 123
 - westnijlvirus 122
- Panamakanaal 62, 107
- PCR-test 88, 122
- Pelargonium citrosum* 102
- penicilline 136
- Philadelphia 57
- plantenboorsteekmug 21
- Plasmodium*
 - falciparum* 62, 92
 - malariae* 63
 - vivax* 63
 - vogelmalaria 114
- poeltjes 21, 25, 26
- Pogosta, ziekte van 78
- poppen 14
- Portugal 125
- predatoren 19, 106
- pulvis comitisae zie kinabastpoeder
- ratten 78
- regenton zie waterberging
- regenwater 53
- reigers 85
- reizigers 75, 80
- reproductiegetal (R) 139, 141
- resistentie 93, 143
 - van malariaparasieten 93
- riftdalkoorts 80-86, 96, 133
- risicokaarten 141
- RNA 88, 89
 - mRNA 98
- westnijlvirus 94
- rode bloedcellen 93
- Roemenië 125
- roofvogels 114
- Ross, Ronald 63
- Ross Rivervirus 77
- rotspoelmug 30
- runderen 85, 86
- Rusland 78
- Sanquin 94, 112, 129
- schapen 84, 86
- schroefwormvlieg 147
- schuilplekken 133
- serumonderzoek zie bloedonderzoek
- sindbisvirus 78, 111, 133
- Slovenië 125
- soortzoeker 18
- Spanje 125
- speeksel van de mug 48, 49
- spermatheca 15
- spierpijn 75
- stalliegen 50
- stedelijke omgeving 83, 137
- steekmuggen 15-18, 20
- steeksnuit 17, 23, 24
- sterfte 11, 63, 65, 92, 128
- steriele-insectentechniek (SIT) 146, 147
- stilstaand water 36, 101
- stolsels 93
- subtropische gebieden 53
- surveillance 69, 82, 111-113, 118-129, 144
- Swaziland 67
- tahynavirus 133
- Tanzania 72
- taxonomie 13, 17
- tekenencefalitis 68, 111
- tijgermug zie *Aedes albopictus*
- Toxorhynchites* 21
- transmissie zie overdracht
- Trinidad 78
- tuinen 22, 35
 - amfibievriendelijke 21
- tularemie 52
- uilachtigen 67, 69, 113, 114
- uitroeingsbeleid 104
- urineonderzoek 88
- usutuvirus 67-69, 95, 111, 113
- vaccin 86, 90, 96
 - antimuggen- 101
 - chikungunya- 100
 - dengue- 100
 - gelekoorts- 99
 - malaria- 96
 - ontwikkeling 96-101
 - paarden 96, 123
 - zika- 100
- vakantiegangers zie reizigers
- valkachtigen 67
- vallen zie muggenvallen
- varkens 85
- vector- 10, 47
 - competentie 47
 - management 104, 105
 - vaccin 98
- veeteelt 63, 84, 86, 106, 111
- veengebied 24, 26
- veldonderzoek 29, 52, 71, 112, 113, 117, 134, 135
- Venezuela 140
- ventilator 102
- verlamming 69, 71
- verpoping 14
- verspreiding 11, 28, 32, 33, 82
 - historische ontwikkeling 136, 141
 - over Europa 31, 32, 51, 68, 72, 110, 113, 117, 127, 128, 150
- veterinaire virusziekten 85, 111
- vincken 78
- virologie 77
- virus
 - Barmah Forest- 77
 - batai- 111
 - chikungunya- 72
 - dengue- 96, 108, 145, 146
 - encefalitis- 68, 85
 - equine encefalitis- 86
 - flavi- 68, 90
 - gelekoorts- 89, 96, 136
 - infectie van de mug 48, 51
 - introdactie 141
 - Japans encefalitis- 68, 85, 89, 96
 - mutaties 50
 - neutralisatietest 90, 91
 - oropouche- 79
 - overdracht 50
 - riftdalkoorts- 82
 - Ross River- 77
 - sindbis- 78, 111, 133

tahyna- 133
 usutu- 67-69, 95, 111, 113
 vogel- 78
 westnijnl- 69, 70, 94, 122, 128
 vlermuizen 23
 vlekjes 80
 vliegverkeer 33
 vlinders 144
 voedsel 19, 20, 21, 24
 vogels 111-117
 vogelgriep 125
 vogelvirus 78
 voorlichting 106
 voortplanting 15
 vrachtverkeer 31
 vrieskou 132
 vrouwtjesmuggen 9, 14, 15, 19, 22,
 24, 31, 48, 53, 91, 118, 133
 water 25, 36, 101, 144
 waterberging 19, 21, 27, 35, 54, 56,
 105
 Wereldgezondheidsorganisatie
 (WHO) 64, 77, 96, 136
 Werkgroep Opdoemende Bloedover-
 draagbare Infecties 94
 westnijlvirus 66-70, 94, 110-115, 122,
 125-128, 133
 bij vogels 114
 RNA 94
 wetlands 136
 wilde vogels 111, 113
 winterrust
 muggen 132, 133
 virussen 131
 wintersteekmug *zie Culiseta annulata*
 witte bloedcellen 95
Wolbachia 144, 145
 zandgronden 25
 zanglijsters 113
 zangvogels 67, 114
 zenuwklachten 112, 126-129
 ziekteverschijnselen 74, 130
 centraal zenuwstelsel 69
 dengue, chikungunya en zika 71,
 74-76
 draaiduizeligheid 130
 gewrichtsklachten 74, 80
 hoofdpijn 75, 80, 130
 knokkelkoorts 74
 malaria 82
 oropouchevirus 79
 riftdalkoortsvirus 82
 Ross Rivervirus 77
 sindbisvirus 78
 spierpijn 75
 usutuvirus 69, 70
 westnijlvirus 69, 70, 128
 zenuwklachten 112, 126-129
 zika 47, 51, 54, 73, 89, 95, 137, 142
 incubatietijd 74
 vaccin 100
 virus 71, 74
 ziekteverschijnselen 75, 76
 Zuid-Amerika 51, 71, 97, 140, 142
 zuidelijke huissteekmug *zie Culex*
 quinquefasciatus
 Zuid-Europa 96, 103
 Zuidoost-Azië 62, 63
 zwarte kweldersteekmug *zie Aedes*
 taeniorhynchus