



Themanummer

Wat doet verstedelijking met fauna en flora?

Verstedelijking verandert levensgemeenschappen •

Hot in de city, lessen van een watervlo • Parasitisme en symbiose **in de stad**

Parasitisme en symbiose: wat verandert er in de stad?

Lore Bulteel, Lien Reyserhove, Emilie Macke, Luc Lens, Aimeric Teyssier, Joël White, Lieze O Rouffaer, Lisa F Baardsen, Dries Bonte, Joost Raeymaekers, Pascal Hablützel, Dieter Heylen, Robby Stoks, Sanne Ruyts, An Martel, Kris Verheyen, Filip Volckaert, Frederik Hendrickx, Erik Matthysen & Ellen Decaestecker

Een belangrijk deel van een ecosysteem bestaat uit micro-organismen zoals bacteriën en schimmels of uit kleine ongewervelden. Deze organismen werken samen met een gastheersoort (symbiose) of er net tegen (parasitisme). Het geheel van micro-organismen in of op een soort, het microbioom, geniet de jongste jaren groeiende aandacht onder biologen. In dit artikel bekijken we hoe verstedelijking de toestand en relaties met parasieten en symbionten beïnvloedt. Het SPEEDY-project leverde tal van nieuwe inzichten over de relaties tussen soorten in verstedelijkte omgevingen.



Wie soort per soort bekijkt, krijgt geen volledige beeld van de invloed van verstedelijking. Ook relaties tussen soorten (bv. parasiet-gastheer) kunnen veranderen. De stad en teken lijken niet goed samen te gaan. (© Wim Veraghtert)

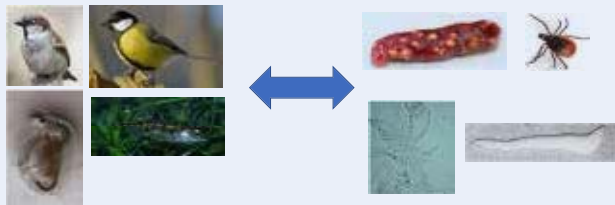
Tot nu toe werden hoofdzakelijk de effecten van verstedelijking op individuele soorten of op gemeenschappen van gelijkaardige soorten bestudeerd (zie p. 62 in dit nummer). In dit artikel kijken we naar de biologische wisselwerking tussen soorten en zoeken we in op twee types van relaties: parasitisme en symbiose. Parasieten leven in of op de gastheer; we spreken respectievelijk

van endo- en ectoparasieten. Het verschil met andere tegenwerkende relaties zoals predator-prooi of plant-herbivoor is dat parasieten sterk afhankelijk zijn van hun gastheer. Parasieten gebruiken energie (bronnen) van het dier waarvan ze leven (de gastheer) voor hun eigen groei en overleving. Dit gaat bijna altijd ten koste van de gastheer en leidt tot verzwakking of

Box 1: Overzicht van de gastheersoorten en hun soorten die in symbiose of als parasiet samenleven in het SPEEDY-project

Huismussen en geheel van micro-organismen, met bijzondere aandacht voor de bacteriën *Yersinia* spp. en *Salmonella Typhimurium*. Het microbioom leeft in symbiose met de gastheer en kan deze bescherming bieden in een veranderende omgeving door bijvoorbeeld ziekteverwekkende bacteriën uit te sluiten of door afbraak van producten die toxisch zijn voor de gastheer. De pathogene bacteriën *Yersinia* spp. (**Figuur 1**) en *Salmonella Typhimurium* kunnen in meer of mindere mate ziekte (snelle sterfte, over sluismerende ziekte, tot geen aantoonbare ziekte) veroorzaken bij huismussen. Of en op welke manier de mate van verstedelijking de micro-organismen in de darm en de aanwezigheid van pathogene bacteriën verandert, is tot op heden amper onderzocht bij zangvogels. Om dat na te gaan werden stalen van darmbacteriën verzameld langs een verstedelijkingsgradiënt.

Koolmezen en ectoparasieten. Nesten van de Koolmees *Parus major* bevatten meestal meerdere soorten ectoparasieten die zich voeden met bloed van de jongen of de oudervogels. De meest algemene zijn vlooiën (Siphonaptera), mijten (Mesostigmata), vlesvliegen (Calliphoridae) en teken (Ixodidae, **Figuur 1**). Deze parasieten leven niet permanent op de gastheer, ze verblijven de rest van de tijd in het



Figuur 1. Paneel links: gastheer organismen: Huismus *Passer domesticus*, Koolmees *Parus major*, watervlo *Daphnia magna* en stekelbaars. Paneel rechts: parasieten. Boven: huismusdarm met *Yersinia* sp. bacteriën, koolmeesparasiet: teken (Ixodidae) en onder: ectoparasieten van de Watervlo: de schimmel *Amoebidium parasiticum* en endoparasiet van de stekelbaars: de *Schistocephalus* worm.

ziekte. Soorten kunnen ook samenwerken (symbiose). Soorten die op die wijze samenleven met hun gastheer, worden als symbionten aangeduid. Het kan gaan om een amalgaam van micro-organismen die in symbiose leven met hun gastheer, het microbioom. Hierbij verschaft de gastheer de micro-organismen een beschermde omgeving, terwijl een deel van de micro-organismen de gastheer bijvoorbeeld aan voedingsbronnen helpt (bv. het darmmicrobiom of de darmflora). Een ander voorbeeld van samenwerkende interacties zijn deze tussen planten en bestuivende insecten. Maar in het geval van het microbiom is er zoals bij de parasieten een sterkere associatie met de gastheer. Het microbiom wordt zelfs een functioneel deel van het gastheer-organisme. De positieve effecten van het microbiom voor de gastheer krijgen recent meer aandacht en gaan van de beschikbaarheid van extra voedingsstoffen tot verhoogde

nestmateriaal of buiten de nestkast. Bij mijten en nestgebonden teken voeden alle ontwikkelingsstadia zich op vogels, bij vlesvliegen enkel de larven en bij vlooiën enkel de adulten die vervolgens hun larven voeden met uitgescheiden bloedrestanten. De impact op de vogels is zelden dodelijk, maar kan wel beperkte (teken) tot grote (vlesvliegen) negatieve effecten hebben op de groei en gezondheidstoestand van de vogels. In het SPEEDY-project werden naast de parasieten ook andere ongewervelden in nestkasten onderzocht (zoals kevers en roofmijten) die dan weer leven van de parasieten.

Daphnia watervlooien en hun parasieten en microbiom.

De watervlo *Daphnia* is een modelsysteem om co-evolutie tussen gastheren, parasieten en symbionten te onderzoeken (Houwenhuysse et al. 2017). Ze wordt geïnfecteerd door een waaier van endoparasieten zoals virussen, bacteriën, schimmels en microsporidiën (eencellige parasieten). De inwendige of endoparasieten infecteren specifieke plaatsen binnen de watervlo, zoals de darm. Ectoparasieten (rotiferen, protisten, schimmels (**Figuur 1**), algen en diatomeeën) vindt men uitwendig terug op de carapax of de antennes. De endoparasieten leiden tot sterfte en sterilisatie van de watervlo. Voor de uitwendige of ectoparasieten zijn weinig schadelijke effecten vastgesteld, al kan er wel competitie optreden voor voedsel. In het SPEEDY-project screenden we meerdere zoöplanktonsoorten (*Daphnia pulex*, *D. magna* en *Simocephalus vetulus*) op parasieten. Er werden ook experimenten uitgevoerd om de rol van samenlevende micro-organismen voor aanpassing aan schadelijke blauwwieren in te schatten.

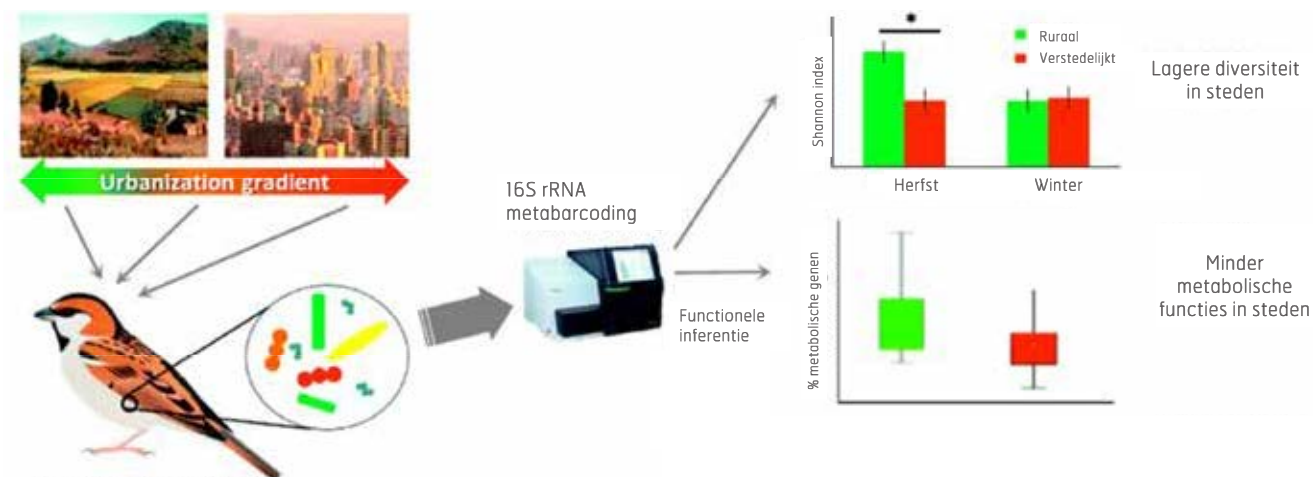
Stekelbaars en parasieten en hun interacties in een antropogeen habitat.

Van stekelbaars zijn er tientallen parasieten gekend, waaronder rondwormen, lintwormen en platwormen (**Figuur 1**), maar ook schimmels en eencellige organismen. Hier werd onderzocht in welke mate verstedelijking en eutrofiëring van waterlopen het immuunsysteem van de gastheer en de samenstelling van de parasietgemeenschap beïnvloedt.

immuniteit en algemene conditie (Macke et al. 2017a, Flandroy et al. 2018). In het SPEEDY-project bestudeerden we een aantal soorten en hun tegenwerkende of samenwerkende relaties binnen en buiten de stad. Voor de parasieten focussen we op kleine gewervelden en microbiota, voor de symbionten enkel op microbiota (**Box 1**).

Darmstad(t): darmflora in een stedelijke omgeving

De samenstelling van het microbiom wordt bepaald door welke micro-organismen in de omgeving aanwezig zijn en hoe deze organismen interageren met de genen en immuniteit van de gastheer (Macke et al. 2017a). Wanneer verstedelijking de gemeenschap van aanwezige micro-organismen verandert, zal dit dus ook een verstoring veroorzaken in het microbiom van de



Figuur 2. Voorstelling van het microbioom van de Huismus (SPEEDY-studie, Teysseier et al. 2018). De darmflora van Huismussen werd onderzocht langs een verstedelijingsgradiënt, waarbij werd gekeken welke factoren de samenstelling van de bacteriële gemeenschappen en hun functie beïnvloedden. De karakterisatie van de bacteriële lijnen gebeurde via een methode die metabarcoding heet. De soortendiversiteit (uitgedrukt als de zogenaamde Shannon index) van de darmflora was tijdens de herfst verminderd in sterk verstedelijkte gebieden vergeleken met rurale gebieden, maar dit verschil verdween tijdens de winter door een afname in soortendiversiteit in rurale gebieden van herfst naar winter (rechter grafiek bovenaan). Daarenboven vonden we een functioneel verschil in de stofwisseling voor de darmorganismen van Huismussen uit ruraal en verstedelijk gebied; de functie van de darmbacteriën voor de stofwisseling was sterk verminderd in Huismussen van verstedelijk gebied (rechter grafiek onderaan).

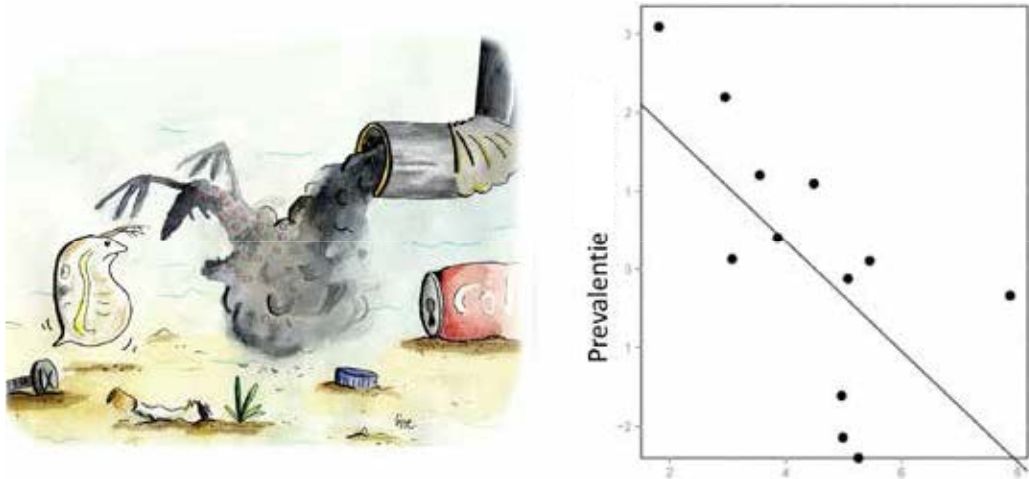
gastheer. Er wordt steeds meer bewijs geleverd dat de samenstelling van micro-organismen verschilt tussen verstedelijkte en niet-verstedelijkte gebieden. Onderzoek dat focust op de mens als gastheer toonde dat leven in de nabijheid van natuurlijke gebieden de samenstelling van de micro-organismen op de menselijke huid verandert. Meer algemeen werd recent bevestigd dat het microbioom van mensen uit verstedelijkte gebieden sterk verschilt van dat van rurale gebieden (Raes 2017, Flandroy et al. 2018).

De interactie tussen de immuniteit van de gastheer en de micro-organismen speelt een cruciale rol voor de aanpassing aan wijzigende omgevingen. Een mooi voorbeeld hiervan is de aanpassing van het microbioom in de darm van de water-vlo *Daphnia magna* aan schadelijke algenbloei. Die bloei wordt veroorzaakt door blauwwieren, die natuurlijke toxines produceren die schadelijk zijn voor mens en dier. Een vergelijking van de darmflora voor en na de blootstelling aan de toxines van de blauwwieren toonde een verschuiving van de microbiële samenstelling in de darm. Vervolgens werden experimenten uitgevoerd waarbij de darminhoud werd getransplanteerd. Deze experimenten toonden aan dat het microbioom in hun darm verhoogde tolerantie biedt tegen deze toxines (Macke et al. 2017b).

Ook bij de Huismus verandert de microbiële samenstelling langs een gradiënt van verstedelijking. Dit blijkt uit een vergelijking van de bacteriële gemeenschappen van de darm in verstedelijkte en rurale mussen gedurende de herfst en de winter. We stelden vast dat huismuspopulaties van verstedelijkte gebieden een verschillende en minder diverse bacteriële samenstelling hadden dan soortgenoten van rurale gebieden. Deze verschuiving heeft belangrijke functionele consequenties. Zo verminderde de bijdrage van de darmbacteriën voor de stofwisseling bij Huismussen uit verstedelijk gebied. In de stad,



Mussen doen het goed in de stad, maar de diversiteit van de darmflora neemt af en sommige opportunistische infecties gedijen vrij goed. (© Kevin Feytons)



Figuur 3. Stijging in beschikbaarheid van stikstof leidt tot een afname in de aanwezigheid (% geïnfecteerde gastheren) van ectoparasieten in de Zoetwatervlo *Daphnia pulex* (Reyserhove 2017, Reyserhove et al. niet gepubliceerd manuscript).



In de stad past de watervlo zich aan aan de hogere temperatuur. Wat het effect is op de parasieten is minder duidelijk, maar wat wel vast staat, is dat veranderingen in nutriëntenverhoudingen in de vijvers een lagere diversiteit aan ectoparasieten op de watervlo teweegbrengt. (© Vilda/Rollin Verlinde)

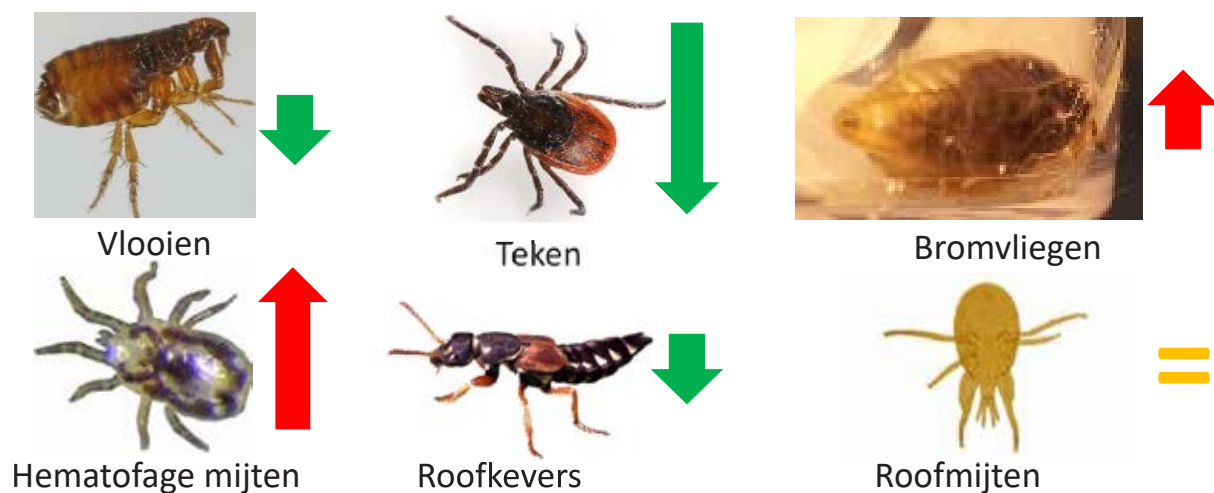
spitsten de bacteriën zich meer toe op de afbraak van toxische stoffen (Figuur 2). Dergelijke negatieve effecten van verstedelijking kunnen een microbiel onevenwicht veroorzaken, met verhoogde gevoeligheid voor infectieziekten tot gevolg.

Ectoparasieten en endoparasieten: buiten en binnen leven in de stad

Verstedelijking verandert niet alleen de gemeenschappen van parasieten die zich in de gastheren ophouden. Ook de parasieten die op gastheren leven (ectoparasieten) worden erdoor beïnvloed. In een veldstudie met twaalf studievijvers die varieerden in de hoeveelheid stikstof, een omgevingsgradiënt die onrechtstreeks gekoppeld is aan verstedelijking, werd de diversiteit aan ectoparasieten op de Zoetwatervlo *Daphnia pulex* in kaart gebracht. We stelden vast dat een verhoogde hoeveelheid stikstof leidt tot een afname van de prevalentie en diversiteit aan ectoparasieten (Figuur 3). Deze resultaten bevestigen de stelling dat een gedegradeerd habitat geen goed leefgebied is voor (tussen)gastheren, waardoor de totale diversiteit aan parasieten daalt. Voor de endoparasieten die ook bekeken werden, werd evenwel geen effect gedetecteerd.

De relatie tussen verstedelijking en het voorkomen van ectoparasieten blijkt vaak moeilijk vast te stellen. Enerzijds omdat er zoveel beïnvloedende factoren zijn en anderzijds omdat niet alle soorten in dezelfde richting een respons vertonen. Dit wordt geïllustreerd door een onderzoek naar nestparasieten van mezenpopulaties in stedelijke en landelijke gebieden (Baardsen et al., niet gepubliceerd). We vinden namelijk geen algemene daling van het parasitisme met verstedelijking, maar wel sterk uiteenlopende soortspecifieke responsen (Figuur 4).

Verstedelijking had ook een invloed op de aanwezigheid van ziektekiemen in populaties van de Huismus (Rouffaer et al. 2016, 2017). De aanwezigheid van bacterie *Yersinia* spp. was gelinkt aan de graad van verstedelijking, waarbij het effect van verstedelijking varieerde afhankelijk van de precieze



Figuur 4. Soortspecifiek effect van verstedelijking op ectoparasieten in een nestkaststudie van Koolmezen (Baardsen et al., niet gepubliceerd). Meer verstedelijkte gebieden hadden meer vleesvliegen en bloedzuigende mijten in de nestkasten, maar minder teken en vlooiën. Een kanttekening hierbij is dat niet alle groepen even sterk vertegenwoordigd waren: vlooiën kwamen in alle gebieden voor maar iets minder in stadsgebieden, terwijl teken enkel in de meest landelijke bossen gevonden werden. Interessant was dat ook roofkevers, predatoren van onder andere vlooiën, minder talrijk waren in verstedelijkte gebieden.

Yersinia-soort. Naast de verstedelijking zelf werd duidelijk dat ook andere factoren, zoals de aanwezigheid en de voedingsgewoonten van andere vogelsoorten in de buurt en de omgevingstemperatuur, mee bepalen of deze bacteriën al dan niet kunnen teruggevonden worden in de onderzochte huismus-populaties (Rouffaer et al. 2017). Door de afname van de hoeveelheid geschikt leefgebied in steden wordt de kans op overdracht van ziektekiemen tussen en binnen verschillende vogelsoorten mogelijk vergroot naarmate het contact tussen deze dieren vergroot. Bij Huismussen kan dit te wijten zijn aan het feit dat er meer voederplaatsen aanwezig zijn in verstedelijkte gebieden.

Stijgen of dalen de afweerverschijnselen bij toenemende verstedelijking?

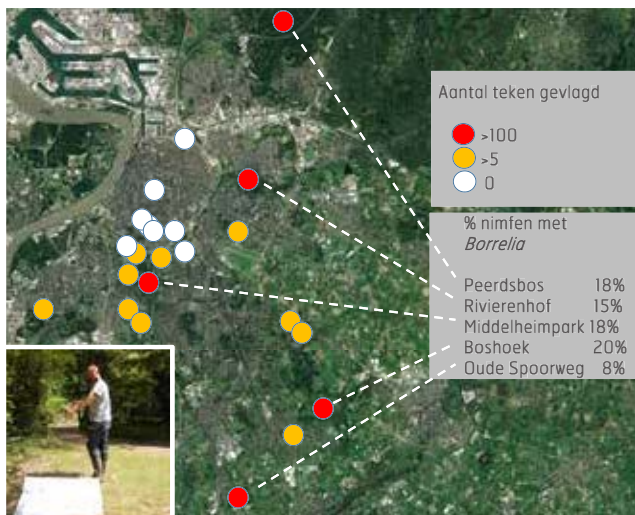
Bij geringere competitie met andere parasitaire soorten kunnen net bepaalde dominante parasitaire soorten heel sterk de overhand nemen. Een factor die dit sterk mee bepaalt is de afhankelijkheid van parasieten van de gastheer, maar ook de conditie van de gastheer. Bepaalde infecties kunnen net goed gedijen in verstedelijkte gebieden omdat het gedegradeerde gebieden zijn en omdat in dergelijke gebieden de immuniteit van de gastheren verzwakt is. Dan kunnen opportunistische infecties gemakkelijk de overhand halen. Dat het verband tussen habitatkwaliteit en parasietinfecties niet altijd rechtstreeks is, toonde ons onderzoek naar stekelbaarspopulaties. Stekelbaarzen hebben in matige leefgebieden van meer soorten parasieten last dan in leefgebieden van goede of zelfs slechte kwaliteit (Berwick 2015). Een mogelijke verklaring voor dit patroon is dat in goede omgevingen het immuunsysteem van de gezonde vissen goed werkt en de gastheren infecties snel kunnen afweren, terwijl in slechte omgevingen de parasieten hun tussengastheren (bv. geleedpotigen) of eindgastheren (bv. vogels) niet vinden en daardoor hun levenscyclus niet kunnen afsluiten. Een goede ontwikkeling en werking van het immuunsysteem hangt tegelijk af van de triggers door parasieten. Zo vonden we aanwezigingen voor verminderde afweer in populaties van Driedoornige stekelbaars *Gasterosteus aculeatus* die in kunstmatige milieus

leefden, zonder mogelijkheid voor parasietinfecties (Hablützel et al. 2016).

Steden worden ook gekarakteriseerd door een hogere omgevingstemperatuur (het 'stedelijk hitte-eiland effect'). Bij toegenomen warmte moeten gastheren investeren in tolerantiemechanismen om de temperatuurstijging de baas te kunnen (Brans et al. 2017). Dat kan dan ten koste gaan van de immuniteit. Gekoppeld aan de lagere immuniteit leidt een hogere temperatuur ook tot tal van andere dynamieken die de kans op ziekte verhogen. Zo wordt de groei van parasieten in ongewervelden opgedreven, verhoogt de activiteit bij de gastheren de verspreiding van parasieten en heeft de verhoogde temperatuur een direct effect op de overleving van ziekteverwekkende pathogene bacteriën in de omgeving.

Het verdunningseffect en verstedelijking

Verlaagde biodiversiteit geassocieerd met verstedelijking kan leiden tot een toename van ziekte bij gastheren. Een goed voorbeeld hiervan is de ziekte van Lyme. Vooraanstaande ecologen in Amerika (Richard Ostfeld en Felicia Keesing) stelden een tiental jaar geleden het 'verdunningseffect' (in de vakliteratuur 'dilution effect') voor als hypothese om de toename van de ziekte bij mensen te verklaren. In een omgeving met een hoge biodiversiteit zullen er proportioneel meer teken op 'niet-competente' gastheren zitten. Dit zijn gastheren waarop de teek zich finaal niet kan voeden of die niet capabel zijn in het doorgeven van de bacteriën die Lyme veroorzaken (het soortencomplex *Borrelia burgdorferi* s.l.). Als door versnippering of verstedelijking de biodiversiteit afneemt, is het mogelijk dat dit verdunningseffect afzwakt en het aandeel besmette teken toeneemt wanneer enkel de 'competente' gastheren overblijven en domineren (bv. muizen). Let wel, er is momenteel in de wetenschappelijke literatuur een zeer sterk debat gaande of dit verdunningseffect ook speelt in Europa, onder andere omdat hier een grotere diversiteit aan gastheerspecifieke bacteriën bestaat die Lyme veroorzaakt dan in Amerika (Ruyts et al. 2018). Verdunning komt voort uit een complex samenspel



Figuur 5. Onderzoek naar voorkomen van teken en risico op de ziekte van Lyme in en rond Antwerpen. Teken werden verzameld via vlaggen (foto linksonder). De nimfen werden via moleculaire diagnose getest op infectie met *Borrelia*, de bacterie die de ziekte van Lyme veroorzaakt. Nimfen zijn het levensstadium tussen ei en adult. Noteer dat gebieden variëren in oppervlakte van enkele tot meerdere honderden hectare (Heylen et al., niet gepubliceerd).

tussen de densiteit van reservoirs (knaagdieren, zangvogels ...), vectoren (teken), niet-competente gastheren (zoals Reeën), en de gastheerspecificiteit van de verschillende *Borrelia* soorten. Knaagdieren zijn bijvoorbeeld erg belangrijk voor het voeden van tekenlarven en geven ook *Borrelia* gemakkelijk door. Reeën daarentegen zijn niet-competente gastheren voor *Borrelia* en geven dit niet door aan teken, maar kunnen grote populaties teken in stand houden.

Het is de algemene Schapenteek *Ixodes ricinus* die mensen kan bijten en dus van bijzonder belang is in een stedelijke context. Daarnaast zijn er ook nog andere teken die gastheerspecifiek zijn en geen mensen bijten, maar wel kunnen bijdragen aan de Lyme cyclus door specifieke bacteriën over te dragen aan de Schapenteek via hun gedeelde gastheer. Zo hebben Egels, bovenop de besmettingen met de schapenteek, veelvuldig last van de Egelteek *Ixodes hexagonus* die als vector fungeert voor *Borrelia bavariensis*. De hypothese is dat deze bacterie via de Egels van de ene op de andere teeksoort wordt overgedragen en via de Schapenteek tot bij de mens komt (Jahfari et al. 2017). Gezien de hoge dichtheden van Egels in sommige residentiële wijken is dit bijzonder relevant in een stedelijke context. Recent werd ook ontdekt dat de Vogelteek *Ixodes frontalis* de nog zeer weinig onderzochte, maar mogelijk ook pathogene *Borrelia turdi* kan overdragen (Heylen et al. 2017).

Ons onderzoek toonde dat er in de kleinere (sub)urbane parken in en rond Antwerpen minder Schapenteken zitten dan in de grote parken en bossen aan de stadsrand of buiten de stad. Dit kan allicht verklaard worden door de lagere dichtheden of zelfs afwezigheid van grotere zoogdieren, die de eindgastheren zijn van de Schapenteek. Binnen de Antwerpse ring werden zelfs zo goed als geen teken gevonden. Nochtans bleek de *Borrelia*-besmettingsgraad bij de teken van suburbane parken gelijkaardig te zijn aan die van grotere bossen (Figuur 5). Er zijn hier dus

voldoende competente gastheren om de besmettingsgraad van de teken op een relatief hoog peil te houden. Er lijkt voorlopig geen evidentie te zijn voor een verdunningseffect, gezien er geen beduidend lagere infectiegraad is in de meer biodiversere gebieden aan de stadsrand.

Besluit

Als besluit kunnen we stellen dat onderzoek binnen het SPEEDY-netwerk heeft aangetoond dat verstedelijking een effect heeft op de samenstelling en diversiteit van de aanwezige parasieten en symbionten. In een aantal gevallen leidde verstedelijking tot een vermindering in het aantal micro-organismen geassocieerd met de gastheer. Tegelijk valt op dat er soortspecifieke responsen zijn: de ene soort doet het beter, de andere net zwakker in verstedelijkte gebieden. De mogelijkheid van de gastheer om te investeren in immuniteit is hier een belangrijke factor in. Het is belangrijk dat ook in verstedelijkte gebieden naar een verhoogde biodiversiteit in het groenbeheer gestreefd wordt, dit om de conditie van gastheren te verbeteren, verdunningseffecten te maximaliseren en te vermijden dat opportunistische, schadelijke infectieziektes de overhand nemen. Verder toont het SPEEDY-onderzoek dat het microbioom een cruciaal element is en een belangrijk aandeel heeft in de flexibiliteit van de gastheer om zich aan snel wijzigende omgevingen, inclusief de aanwezigheid van toxische substanties en infectieziektes, aan te passen.

SUMMARY

Bulteel L., Reyserhove L., Macke E., Lens L., Teyssier A., White J., Rouffaer L.O., Baardsen L.F., Bonte D., Raeymaekers J., Hablützel P., Heylen D., Stoks R., Ruyts S., Martel A., Verheyen K., Volckaert F., Hendrickx F., Matthysen E. & Decaestecker E. 2018. Parasitism and symbiosis: what changes are observed in cities? *Natuur.focus* 17(2): 75-81 [in Dutch].

Research within the SPEEDY-network has shown that urbanisation has an effect on the parasite and symbiont community. In a few cases urbanisation was associated with a reduction in the number of micro-organisms associated with the host. Nevertheless there are species specific responses: particular species increase and others decrease in the city. The possibility of the host to invest in immune responses is an important explaining factor in this pattern. It is important to note that initiatives to increase biodiversity in cities are recommended, this to avoid that opportunistic and harmful infections thrive. The SPEEDY-research further showed that the microbiome is a crucial element in the flexibility for the host to adapt to fast and changing environments, inclusive the presence of toxic substances and infectious diseases.

DANKWOORD

We danken Luc De Meester, Hans Van Dyck en het hele SPEEDY-consortium voor constructieve discussies; Caroline Souffreau, Jessie Engelen, Kristien Brans bijkomend voor de zoöplankton SPEEDY-staalname campagne, Koenraad Muylaert en Steven Declerck (NIOO-KNAW) voor stimulerende discussies rond het effect van verstedelijking en nutriëntenwijzigingen op cyanobacteriën en homeostase in *Daphnia*; Luc De Meester, Jeroen Raes, Martijn Callens, Isabel Vanoverberghe, Shinjini Mukherjee en andere medewerkers van het KU Leuven C1 project voor stimulerende discussies rond het rol van het microbiom voor eco-evolutionaire dynamieken en Prof. Graham Rook en Lucette Flandroy voor het aanduiden van het maatschappelijk belang daarvan. Dit onderzoek kadert eveneens binnen het FWO EVENET (an eco-evolutionary approach of biotic interactions) netwerk.

AUTEURS

Lore Bulteel, Emilie Macke en Ellen Decaestecker zijn respectievelijk doctoraal, postdoctoraal onderzoeker en professor biologie aan de KU Leuven, Aquatische Biologie, Campus KULAK, Kortrijk. Lien Reyserhove was doctoraal onderzoeker aan de KULAK en is momenteel wetenschapper in het Instituut voor Natuur en Bos. Luc Lens en Dries Bonte zijn professoren ecologie aan het Laboratorium voor Terrestrische Ecologie (TEREC) van de UGent. Aimeric Teyssier en Joël White waren respectievelijk doctoraal en postdoctoraal onderzoeker van TEREC en zijn momenteel postdoctoraal onderzoekers in de Universiteit van Toulouse. Robby Stoks en Filip Volckaert zijn professoren ecologie aan de Afdeling Ecologie, Evolutie en Biodiversiteitsonderzoek (AEEB) van de KU Leuven. Pascal Hablützel en Joost Raeymaekers waren postdoctoraal onderzoekers aan AEEB en zijn momenteel respectievelijk wetenschapper aan het Vlaams Instituut voor de Zee en professor evolutionaire ecologie aan Nord University (Bodø, Noorwegen). Lisa F. Baardsen

is doctoraal, Dieter Heylen is postdoctoraal onderzoeker en Erik Matthysen is professor ecologie in de Onderzoeksgroep Evolutionaire Ecologie van de UAntwerpen. Lieze Rouffaer en An Martel zijn respectievelijk doctoraal onderzoeker en professor Wildlife Population Health aan de onderzoeksgroep Wildlife Health Ghent van de UGent. Sanne Ruyts was doctoraal onderzoeker en Kris Verheyen is professor aan het Labo Bos & Natuur van de UGent. Frederik Hendrickx is onderzoeker aan het KBIN en gastprofessor aan de UGent.

CONTACT

Ellen Decaestecker

E-mail: ellen.decaestecker@kuleuven.be

REFERENTIES

- Bai H. et al. 2017. Stable hydrogen isotope composition of n-alkanes in urban atmospheric aerosols in Taiyuan, China. *Atmospheric Environment* 153: 206-216.
- Berwick M. 2015. Cultural eutrophication in the Scheldt basin: Application of a multidisciplinary approach to understanding impacts on fish population health. Master thesis Queen Mary University of London.
- Brans K. et al. 2017. The heat is on: Genetic adaptation to urbanization mediated by thermal tolerance and body size. *Global Change Biology* 23: 5218-5227.
- Flandroy L. et al. 2018. The impact of human activities and lifestyles on the inter-linked microbiota and health of humans and of ecosystems. *Science of the Total Environment* 627:1018-1038.
- Hablützel P. et al. 2016. Changing expression of vertebrate immunity genes in an anthropogenic environment: a controlled experiment. *BMC Evolutionary Biology* 16: 175.
- Heylen D. et al. 2017. Bridging of cryptic *Borrelia* cycles in European songbirds. *Environmental Microbiology* 19: 1857-1867.
- Heylen D. et al. Ticks and tick-borne diseases in the city: the role of habitat connectivity in Antwerp's metropolitan area (manuscript in voorbereiding).
- Houwenhuysen S. et al. 2017. Back to the future in a petri dish: origin and impact of resurrected microbes in natural populations. *Evolutionary Applications* 11: 29-41.
- Jahfari S. et al. 2017. Melting pot of tick-borne zoonoses: the European Hedgehog contributes to the maintenance of various tick-borne diseases in natural cycles urban and suburban areas. *Parasites & Vectors* 10: 134.
- Macke E. et al. 2017a. Life history and eco-evolutionary dynamics in light of the gut microbiota. *Oikos* 126: 508-531.
- Macke E. et al. 2017b. Host-genotype dependent gut microbiota drives zooplankton tolerance to toxic cyanobacteria. *Nature Communications* 8: 1608.
- Raes J. 2017. About the normal variability of the human intestinal microbiome. European OneHealth/EcoHealth Workshop, Brussel. www.biodiversity.be/health/183.
- Reyserhove L. 2017. The impact of a changing N:P ratio on *Daphnia*-parasite interactions. Doctoraatsthesis KU Leuven.
- Reyserhove L. et al. The effect of food nutrient availability on endo-parasites and epibionts in natural *Daphnia* populations. Niet gepubliceerd manuscript.
- Rouffaer L. et al. 2016. House Sparrows do not constitute a significant *Salmonella* Typhimurium reservoir across urban gradients in Flanders, Belgium. *PLoS One* 11: e0155366.
- Rouffaer L. et al. 2017. Effects of urbanization on host-pathogen interactions, using *Yersinia* in House Sparrows as a model. *PLoS One* 12: e0189509.
- Ruyts S.C. et al. 2018. Low probability of a dilution effect for Lyme borreliosis in Belgian forests. *Ticks and Tickborne diseases* (in druk).
- Teyssier A. et al. 2018. Inside the guts of the city: Urban-induced alterations of the gut microbiota in a wild passerine. *Science of the Total Environment* 612:1276-1286.
- Walke J. & Belden L. 2016. Harnessing the microbiome to prevent fungal infections: Lessons from amphibians. *PLoS Pathogens* 12:e1005796.