

TEKENNET

Risicokaart:

Ruimtelijke verdeling teken
risico

WIE WE ZIJN

SCIENSANO telt meer dan 700 medewerkers die zich elke dag opnieuw inzetten voor ons motto: levenslang gezond. Zoals uit onze naam blijkt, vormen wetenschap en gezondheid de kern van ons bestaan. De kracht van Sciensano ligt in de holistische en multidisciplinaire benadering van gezondheid. Onze aandacht gaat daarbij uit naar het nauwe en onlosmakelijke verband tussen de gezondheid van mensen en die van dieren, en hun omgeving (het “One health” concept). Daarom combineren we meerdere invalshoeken in ons onderzoek om op een unieke manier bij te dragen aan ieders gezondheid.

Sciensano kan hiervoor verder bouwen op de meer dan 100 jaar wetenschappelijke expertise van het voormalige Centrum voor Onderzoek in Diergeneeskunde en Agrochemie (CODA) en het vroegere Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid (WIV).

Sciensano
Epidemiologie en volksgezondheid
-
Epidemiologie van infectieziekten

Maart 2019 • Brussel • België

KATRIEN TERSAGO¹

•

TINNE LERNOUT¹

1 Sciensano, Epidemiologie van infectieziekten, Brussel

Met bijdrage van:

Jim Casaer (INBO)
Marc Dispas (Sciensano)
Klimaatportaal (VMM)

Katrien.Tersago@sciensano.be

Rapportnummer:

Studie in opdracht van Agentschap Zorg en Gezondheid, Vlaanderen

Samenvatting:

- Er werd een ruimtelijke MCDA (Multi-Criteria Decision Analysis) voor teek-gerelateerde problemen in Vlaamse gemeenten uitgevoerd op basis van omgevingsfactoren die de densiteit van *Ixodes ricinus* beïnvloeden op ruimtelijke schaal (op basis van bestaande kennis in de literatuur).
- Het MCDA model met focus op indicatoren van tekendensiteit werd aangevuld met ruimtelijke informatie rond menselijke blootstellingskans (netwerk van wandelwegen, open zones in bossen, densiteit aan tuinen en park)
- De resultaten van de MCDA werden vergeleken met de gegevens van de TekenNet tekenbeet surveillance en vertoonden veel overeenkomsten.
- De finale risicokaart (met 3 risicoklassen: gemiddeld risico, matig verhoogd risico en sterk verhoogd risico) werd opgesteld aan de hand van een bayesiaans model gebaseerd op de TekenNet gegevens en de omgevingsfactoren uit de MCDA, waarbij rekening gehouden werd met de ruimtelijke correlatiestructuur tussen buurgemeenten en onzekerheid.
- Voor elke risicoklasse wordt een eerste preliminair voorstel van preventiemaatregelen opgesteld.

1. Omkadering

Risicokaarten vormen reeds lang een belangrijk instrument voor besluitvorming rond volksgezondheid en het aflijnen van prioriteiten met betrekking tot vector-gebonden problemen. Ze helpen immers bij het bepalen van de focus van preventie- en controlemaatregelen [1]. In het kader van preventieondersteuning voor teken en teek overdraagbare aandoeningen (TOA's), werd in deze studie een statische risicokaart opgemaakt die gebruikt kan worden voor de sturing van de nood aan preventiemaatregelen op schaal van hoofdgemeenten in Vlaanderen (NIS5).

Hoewel er verschillende bronnen beschikbaar zijn om een risicokaart voor teek-gerelateerde problemen in Vlaanderen op te stellen, gaat het gebruik van deze bestaande bronnen gepaard met onzekerheid. Één van de meest logische bronnen is de surveillance van Lyme borreliose en andere TOA's via het netwerk van peillaboratoria en de Nationale referentiecentra in België (<https://nrchm.wiv-isp.be/nl/default.aspx>). Hoewel deze netwerken zeer relevant zijn voor surveillance doorheen de tijd, blijft de ligging van de deelnemende labo's te heterogeen om de ruimtelijke verdeling van het voorkomen van Lyme borreliose, en TAO's in het algemeen, met zekerheid te kunnen aflijnen op niveau van gemeenten.

Met het burgerplatform TekenNet (<https://tekennet.wiv-isp.be/>) heeft Sciensano wel een gebiedsdekkende surveillance voor het oplopen van tekenbeten. Het is echter niet duidelijk hoe deze gegevens beïnvloed worden door het verschil in lokale "alertheid" van burgers in een gemeente. Bovendien beschikt TekenNet niet over voldoende informatie met betrekking tot de incidentie van TOA's.

Teek-gerelateerd risico, m.a.w. het risico op TOA's bij de mens, worden in West-Europe in hoofdzaak bepaald door variatie in de densiteit van infectieuze teken, met name *Ixodes ricinus* in het nymfe stadium (DIN) (= de "hazard") en de mate waaraan mensen zich hieraan blootstellen. Het bepalen van die "hazard" is bijzonder complex, DIN wordt beïnvloed door de dynamiek van teken, van hun gastheren en de transmissie van de pathogenen tussen de reservoir gastheren en teken [2]. Om die reden wordt in praktijk meestal een schatting van de densiteit van nymfen (DON) of teken gebruikt als proxy voor TOA risico. De blootstelling die mee het uiteindelijke risico bepaalt, hangt in grote mate samen met toegankelijkheid van de natuur en gedragsmatige factoren (blijven mensen op het pad, gaan ze wandelen of werken in de tuin, frequentie van bezoek aan de natuur,...). Deze gedragsmatige factoren zijn moeilijk vast te leggen op ruimtelijke schaal,[3–6].

In deze studie wordt in eerste instantie gebruik gemaakt van een MCDA gebaseerd op indicatoren die een rol spelen bij het bepalen van de teken hazard en blootstelling (gebaseerd op bestaande kennis in de literatuur). De voorspellingen van dit MCDA model worden naast de gegevens van TekenNet geplaatst om de overeenkomst te evalueren. Vervolgens wordt er een risicokaart opgesteld op basis van de combinatie van omgevingsindicatoren en TekenNet.

De mate van risico in de finale risicokaart wordt uitgedrukt in de vorm van drie klassen: 1: “gemiddeld”, 2: “matig verhoogd” en 3: “sterk verhoogd”. De interpretatie van die risicoklassen luidt als volgt: Hoe hoger de risicoklasse, hoe hoger het belang van gerichte teek preventiemaatregelen en meer intensieve opvolging ervan in het gemeentelijk beleid (milieu/natuur/bos management, burger informatie). Er is echter altijd een zeker risico op tekenbeten aanwezig, ook in de laagste risicoklasse. Teken, de Lyme bacterie en andere teek overdraagbare ziektekiemen komen immers voor in heel Vlaanderen.

Het aflijnen van een focus voor preventie is een eerste stap, de tweede stap is de duiding van preventiemaatregelen die nuttig en haalbaar zouden zijn voor gemeenten. Dit rapport geeft een preliminair overzicht met betrekking tot mogelijke preventiemaatregelen, maar de haalbaarheid ervan blijft verder te evalueren.

2. Methodologie

2.1. LITERATUUR STUDIE DETERMINANTEN TEEK EN BLOOTSTELLING

Een literatuurstudie naar mogelijke indicatoren van teken hazard en blootstelling werd uitgevoerd in de PUBMED en SCOPUS databanken voor de periode: 2005-2018 en met focus op de onderzoeksvraag “Which variables (Biological, socio-economical, behavioral, recreational...) impact on *Ixodes ricinus* (tick / tick infestation / tick bite) -, (occurrence, density, abundance, activity)) in Belgium and its surrounding countries”. De zoekstrategie staat kort beschreven in bijlage 1, het resultaat voor de ruimtelijke indicatoren wordt samengevat in tabel X1.

2.2. MCDA RISK MAPPING

Er werd gebruik gemaakt van een lineair gewogen MCDA (Multi Criteria Decision Analysis) [7] om zowel teken “hazard” als de combinatie “hazard + blootstelling” objectief in kaart te brengen op het niveau van Vlaamse gemeenten. Deze analyses werden uitgevoerd in R 3.4.4, ArcGIS 6.1 en QGIS. Hierbij werden onderstaande stappen gevolgd:

2.2.1. Bepalen en verwerken van de relevante indicatoren en hun associatie met teken hazard / teken blootstelling

Op basis van de literatuurstudie (zie 2.1) werden relevante indicatoren voor teek-gerelateerd risico geïdentificeerd. Kaartlagen van de risicofactoren werden verwerkt en indien nodig geaggregeerd op NIS5 gemeenteschaal. De bosfragmentatie analyses op de CORINE 2012 landgebruik werden uitgevoerd met de LecoS python plugin (1.9.8) in Qgis [8]. De lijst van alle kaartlagen die verwerkt werden, wordt opgelijst in Tabel 1.

2.2.2. Evaluatie van de onafhankelijkheid van de risicofactoren

Wanneer risicofactoren onderling te sterk geassocieerd zijn, mogen ze niet samen in een MCDA opgenomen worden. In geval van een Pearson correlatie > 0.75 werd slechts één van de factoren meegenomen. Na deze stap bleef er nog een selectie van 13 factoren over (zie Tabel 2).

Indicator/ risicofactor	Bron + tijdsperiode (schaal)	Associatie
Landschap / vegetatie		
%Loofbos-gemengd bos	Corine 2012 (raster 100m)	+
%Loofbos	Corine 2012 (raster 100m)	+
%Loof-gemengd-naaldbos	Corine 2012 (raster 100m)	+
Densiteit aan bosranden	Corine 2012 (raster 100m) + fragmentatie analyse	+
Gemiddelde bospatchgrootte per oppervlakte	Corine 2012 (raster 100m) + fragmentatie analyse	+
Aantal bospatches	Corine 2012 (raster 100m) + fragmentatie analyse	+
Gemiddelde NDVI (April-Mei-Juni)	Copernicus Land: Proba-V 2016-2017 (raster 300m)	+
Droogtegevoeligheid van de bodem	Klimaatportaal Vlaanderen (VMM) (raster 200m) [38-39]	+ (bos) / - (gras)
Klimaat		
Gemiddelde jaarlijkse neerslag	Klimaatportaal Vlaanderen (VMM). Meerjarig gemiddelde 2000-2016 (NIS5) [38-39]	+
Gemiddelde jaarlijkse temperatuur:	Klimaatportaal Vlaanderen (VMM). Meerjarig gemiddelde 2000-2016 (NIS5) [38-39]	+
Gemiddelde windsnelheid	Klimaatportaal Vlaanderen (VMM). Meerjarig gemiddelde 2000-2016 (NIS5) [38-39]	-
Evapotranspiratie	Klimaatportaal Vlaanderen (VMM). Meerjarig gemiddelde 2000-2016 (raster 200m) [38-39]	+
Gastheren: grote zoogdieren		
Ree afschot densiteit, aan / afwezigheid	INBO 2017-2018 (NIS5)	+
Everzwijn afschot densiteit	INBO 2015-2016 (NIS5)	+
Niet-wild herkauwer densiteit	Sciensano/AFSCA 2016-2017-2018 (postcode)	+
Blootstelling mens		
Densiteit van speelbossen en openzones in bossen (2016)	ANB; Geopunt Vlaanderen (vector 1:25000)	+
Lengte van de wandelpaden (3 klassen)	Geopunt Vlaanderen (vector informatie toerisme Limburg)	+
Densiteit Tuinen en parken	Statistics Belgium (NIS5)	+

Tabel 1: Kaartlagen die klaargemaakt werden voor de MCDA studie, de bron en de associatie met teek hazard of blootstelling.

2.2.3. Standaardiseren van de factoren aan de hand van de “score range” procedure

Bij deze stap werden de factoren lineair geschaald tussen de waarden 0 en 1 volgens de “score range” procedure beschreven in [7]:

Voor een positieve associatie van de factor met risico: $x'_{ij} = \frac{x_{ij} - x_j^{\min}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$

Voor een negatieve associatie met risico: $x'_{ij} = \frac{x_j^{\max} - x_{ij}}{x_j^{\max} - x_j^{\min}}$

waarbij,

$x_j^{\max}$ = max waarde factor j ,

$x_j^{\min}$ = min waarde factor j ,

x'_{ij} = gestandaardiseerde score van object i en factor j ,

x_{ij} = ruwe waarde van object i en factor j

2.2.4. Bepalen van het relatief gewicht van de verschillende indicatoren in 4 model scenario's

Voor de MCDA dient een relatief gewicht aan elke risicofactor toegekend te worden. Op basis van de frequentie en sterkte van associaties in de literatuur werd een gewicht toegekend aan de risicofactoren, als sensitiviteitsanalyse werd ook telkens een scenario met gelijke relatieve gewichten toegevoegd. Zo werden 2 scenario's zonder blootstellingsindicatoren en 2 scenario's met blootstellings-indicatoren uitgewerkt. De relatieve gewichten per scenario staan hieronder beschreven in Tabel 2.

Gestandaardiseerde factoren	Relatief gewicht per scenario			
	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4
% loofbos en gemend bos	0.1	0.16	0.136	0.077
Densiteit bosranden	0.1	0.16	0.136	0.077
Gemiddelde bospatchgrootte / oppervlakte	0.1	0.08	0.068	0.077
Gemiddelde NDVI (April-Mei-Juni)	0.1	0.16	0.136	0.077
Gemiddelde jaarlijkse neerslag	0.1	0.08	0.068	0.077
Gemiddelde jaarlijkse temperatuur	0.1	0.08	0.068	0.077
Gemiddelde windsnelheid	0.1	0.08	0.068	0.077
Ree afschot	0.1	0.16	0.136	0.077
Everzwijn afschot (aan/afwezigheid)	0.1	0.02	0.017	0.077
herkauwer (gemengd) densiteit	0.1	0.02	0.017	0.077
Speelbossen/openzones bos	-		0.068	0.077
Lengte van wandelpaden	-		0.068	0.077
Densiteit Tuinen en parken	-		0.017	0.077
Totaal gewicht	1	1	1	1

Tabel 2: Onafhankelijke MCDA risicofactoren met relatief gewicht per scenario

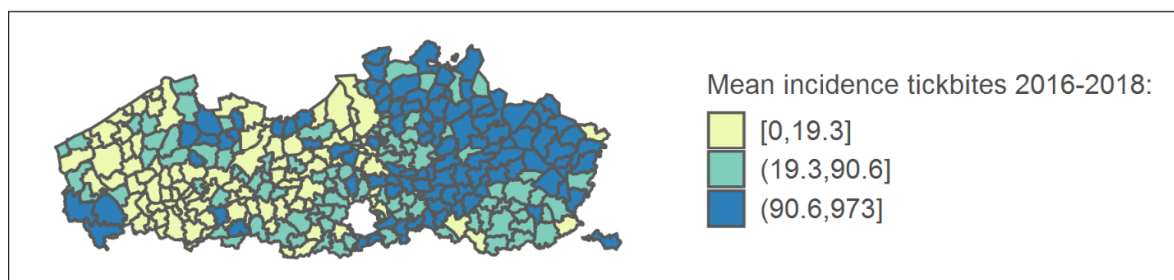
2.2.5. Gewogen lineaire combinatie van de verschillende factoren

Per factor wordt de waarde van elke gemeente vermenigvuldigd met het factor-specifieke gewicht. De som van alle lineaire combinaties per gemeente bepaalt de lokale risicowaarde per scenario [7,9].

2.3. VALIDATIE: TEKENNET INCIDENTIE TEKENBETEN IN VLAANDEREN

2.3.1. TekenNet gegevens

De gegevens van de tekenbeet surveillance door TekenNet (<https://tekennet.wiv-isp.be/>) werden verwerkt tot een gemiddelde incidentie van gerapporteerde tekenbeten per gemeente voor de periode 2016-2018.



Figuur 1: Gemiddelde incidentie van gerapporteerde tekenbeten (2016-2018) per gemeente (opdeling in 3 groepen met gelijke aantallen = tertielen).

2.3.2. Relatie MCDA scenario's en tekenbeet incidentie

De relatie tussen MCDA scenario's en de tekenbeet incidentie werd geëvalueerd aan de hand van Pearson en Spearman correlaties en het % overeenkomst tussen de tertiel klassen. De significantie van de associatie werd bijkomend getest met in log-lineaire regressie voor scenario 2 en 3.

2.4. RISICOKAART MET OBJECTIEVE RISICOKLASSEN OP BASIS VAN RISICO - FACTOREN EN DE INCIDENTIE VAN TEKENBETEN

De associatie tussen de resultaten van het MCDA scenario's en de tekenbeten incidentie blijkt in de analyses in 2.3.2 betrekkelijk goed te zijn. Het bepalen van een objectieve manier om de resultaten van de MCDA te vertalen naar een kaart met zinvolle risicoklassen is echter minder vanzelfsprekend... . Verdeling in drie gelijke delen (per tertiel) is een optie, maar te simplistisch. Bovendien geven de MCDA's ook geen risicowaarden met een gekende zekerheid. Daarom werd er verder gezocht naar een goede manier om de risicoklassen objectief af te lijnen en werd uiteindelijk beslist om de gegevens van beide bronnen te combineren in een bayesiaans "convolution" model. Dit model laat toe om, op basis van zowel de gegevens van de tekenbeet incidentie als de risicofactoren uit de MCDA, de waarschijnlijkheid te bepalen dat een gemeente een significant verhoogd of verlaagd teken-gerelateerd risico heeft in vergelijking tot wat gemiddeld verwacht wordt in Vlaanderen. Bovendien houdt dit model ook rekening met de situatie in buurgemeenten en met de onzekerheid van de schattingen [10].

2.4.1. Bayesian disease mapping op basis van tekenbeet incidentie gegevens en de MCDA risicofactoren

In R-INLA wordt een bayesiaans convolutie model (met Poisson verdeling van de aantallen) opgesteld voor de schatting van de risico ratio (RR) van tekenbeten per gemeente, waarbij, naast een component voor ongecorrleerde heterogeniteit v_i , ook een ruimtelijke correlatiecomponent (CAR), u_i , wordt meegenomen. Y_i is het aantal gerapporteerde tekenbeten per gemeente en E_i is het verwachte aantal gerapporteerde tekenbeten op basis van de lokale populatie en de gemiddelde tekenbeet incidentie in Vlaanderen [11,12]:

$$\begin{aligned} Y_i | \eta_i &= \text{Poisson}(E_i \exp(\eta_i)) \\ \eta_i &= u_i + v_i + \text{risicofactoren} \\ \text{Precisie Besag } u_i: T_1 &\sim \text{Gamma}(1, 0.01) \\ \text{Precisie } v_i: T_2 &\sim \text{Gamma}(1, 0.05) \end{aligned}$$

De sensitiviteit van de niet-informatieve priors werd uitvoerig getest. Elk van de risicofactoren die gebruikt werd in de MCDA werd geëvalueerd in het model en relevante risicofactoren werden meegenomen in het voorspellingsmodel. Model fit werd geëvalueerd op basis van de DIC, WAIC en PIT waarden [13]. De uitkomst van dit model is een RR (risk ratio) voor het oplopen van tekenbeten per gemeente relatief ten opzichte van het risico dat gemiddeld verwacht wordt in Vlaanderen, samen met een maat van onzekerheid voor deze RR schatting [12,13].

2.4.2. Objectieve risicoklassen op basis van "exceedance probability" $RR > 1$

Op basis van de door het model voorspelde RR's (risico ratio's) per gemeente + de onzekerheid kan bepaald worden met welke waarschijnlijkheid een gemeente een $RR > 1$ heeft [10,12,13]. De groep met een waarschijnlijkheid $< 1\%$ komt terecht in de laagste risicoklasse; de groep met een waarschijnlijkheid $\geq 99\%$ komt terecht in de hoogste risicoklasse. De groep ertussen vormt de middelste risicoklasse.

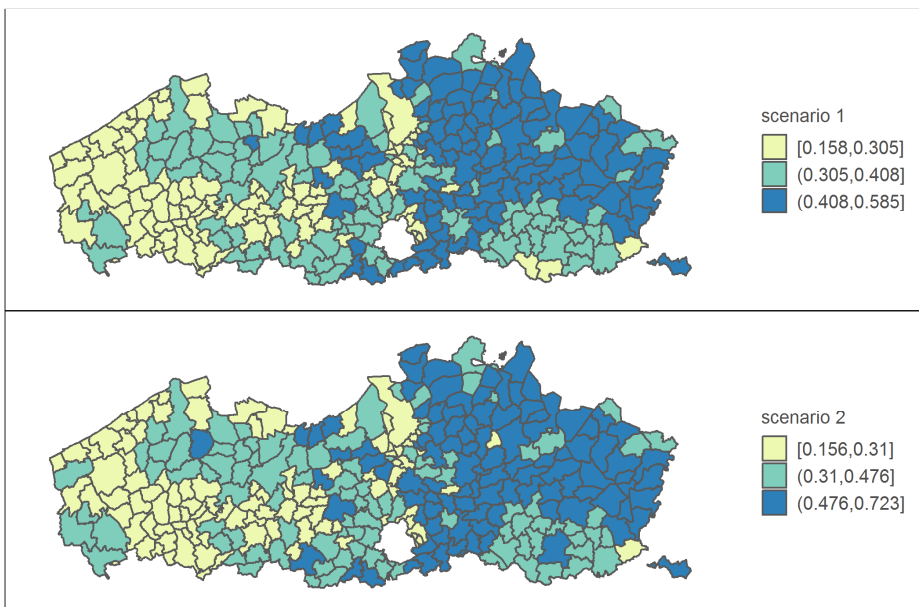
2.2. RUIMTELIJKE VERDELING VAN LABO RAPPORTERING VAN LYME BORRELIOSE IN VLAANDEREN

De gegevens van de Lyme borreliose surveillance door het Netwerk van peillaboratoria en het Nationaal referentiecentrum voor Borrelia (UCL-UZLeuven, <https://nrchm.wiv-isp.be/nl/default.aspx>) werden verwerkt tot een gemiddelde incidentie van gerapporteerde Lyme borreliose per gemeente voor de periode 2014-2017. Aangezien de gegevens minder betrouwbaar zijn op ruimtelijk vlak, werden deze gegevens alleen gevisualiseerd ter informatie.

3. Resultaten

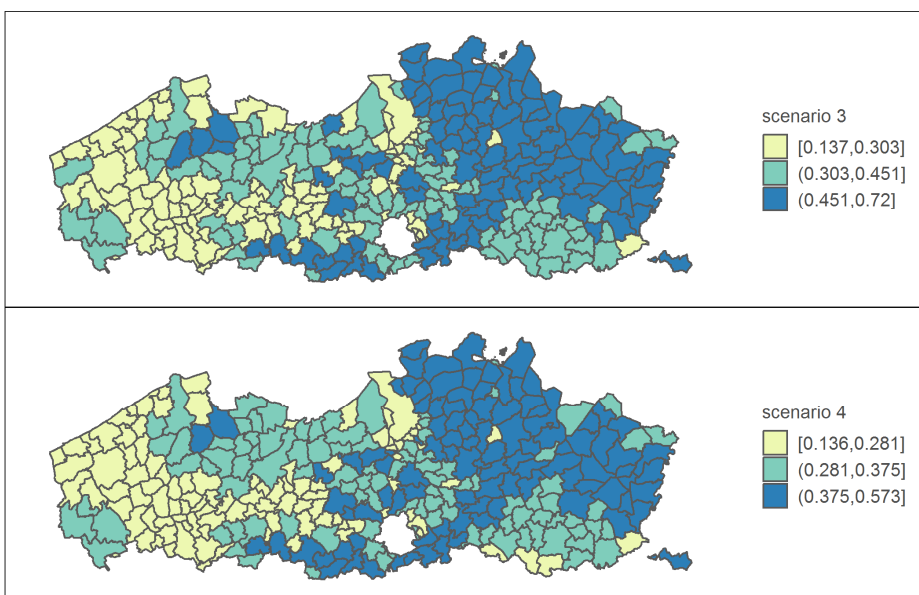
3.1. MCDA MODEL UITKOMST

3.1.1. MCDA teken



Figuur 2: Uitkomst (tertielen) van de MCDA scenario's 1 en 2

3.1.2. MCDA teken + blootstelling



Figuur 3: Uitkomst (tertielen) van de MCDA scenario's 3 en 4

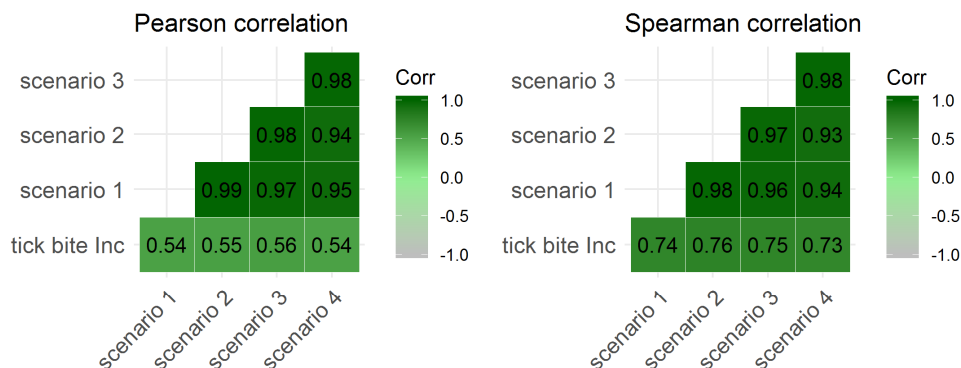
De resultaten van de MCDA scenario's worden op kaart (opdeling in 3 klassen) weergegeven in figuur 2 en 3.

3.1.3. Vergelijking tussen MCDA modellen

Zoals figuur 2 en 3 reeds aantonen is de uitkomst van de verschillende MCDA scenario's verrassend gelijkend. Dezelfde patronen van een verhoogd risico op de assen Vlaams-Brabant- Antwerpse Kempen - NO-Limburg (Lage kempen) komen steeds naar voor. Ook de statistische vergelijking tussen de verschillende scenario's tonen een sterke gelijkenis tussen de MCDA modellen met correlatiecoëfficiënten die variëren tussen 0.94 en 0.99 (zie ook figuur 4).

3.2. VALIDATIE: RELATIE MCDA SCENARIO'S EN TEKENBEET INCIDENTIE

Een eerste vergelijking tussen de MCDA uitkomst en de gegevens van TekenNet geeft aan dat de lineaire relatie (Pearson) minder sterk is (r^2 tussen 0,54-0,56), maar een niet-lineaire relatie (Spearman) is wel duidelijk aanwezig met coëfficiënten die variëren tussen 0,73 en 0,76. Het sterkste verband wordt gevonden met scenario 2 en scenario 3.



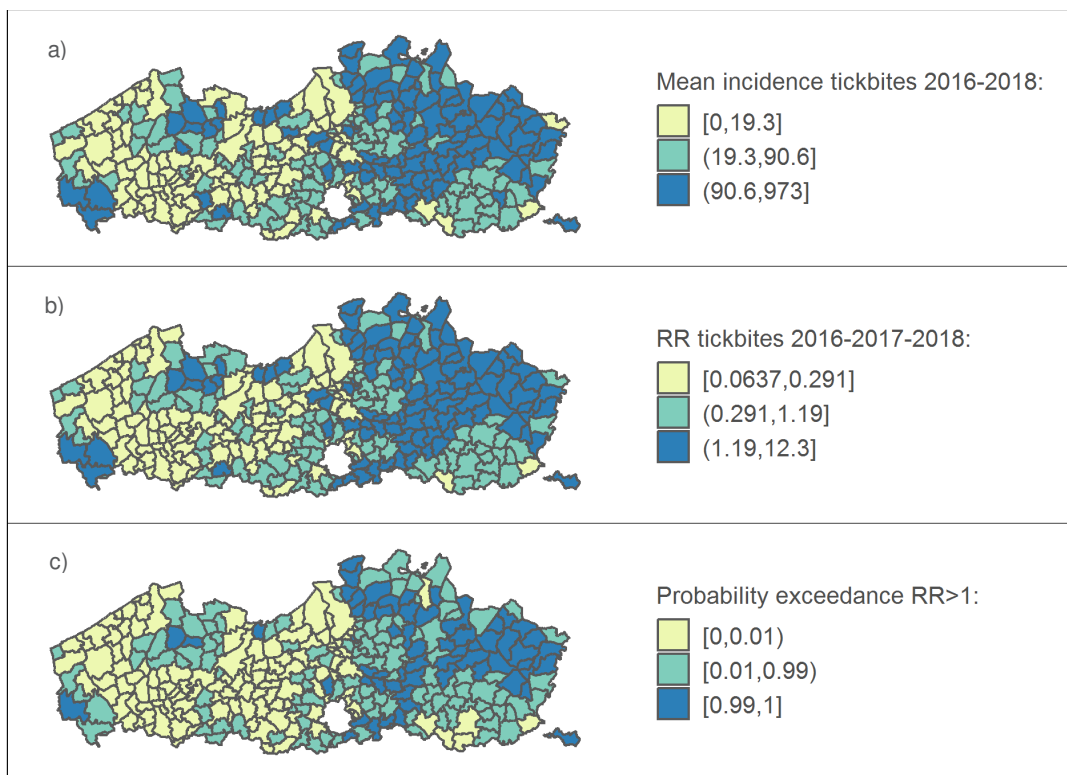
Figuur 4: Pearson en Spearman correlatiecoëfficiënten tussen de MCDA scenario's onderling en de TekenNet tekenbeet incidentie.

Een log-lineaire regressie geeft een significante associatie ($p < 0.0001$) aan van zowel scenario 2 als scenario 3 met de incidentie van tekenbeten. Wanneer we de verschillende scenario's en de incidentie van tekenbeten in 3 tertielen opdelen als oefening voor een mogelijke opdeling in risicoklassen is er een overeenkomst van respectievelijk 66% en 64% tussen de klassen van scenario 2 en 3 met de tekenbeet incidentie. Deze resultaten tonen aan dat de gegevens van TekenNet ook bruikbaar zouden zijn voor de risicokaart.

Het is echter moeilijk kiezen welke bron nu best gebruikt kan worden voor de uiteindelijke risicokaart en hoe deze klassen dan opgedeeld moeten worden. Zoals beschreven in de methodologie werd gekozen om gebruik te maken van bayesian disease mapping voor de uiteindelijke risico classificatie.

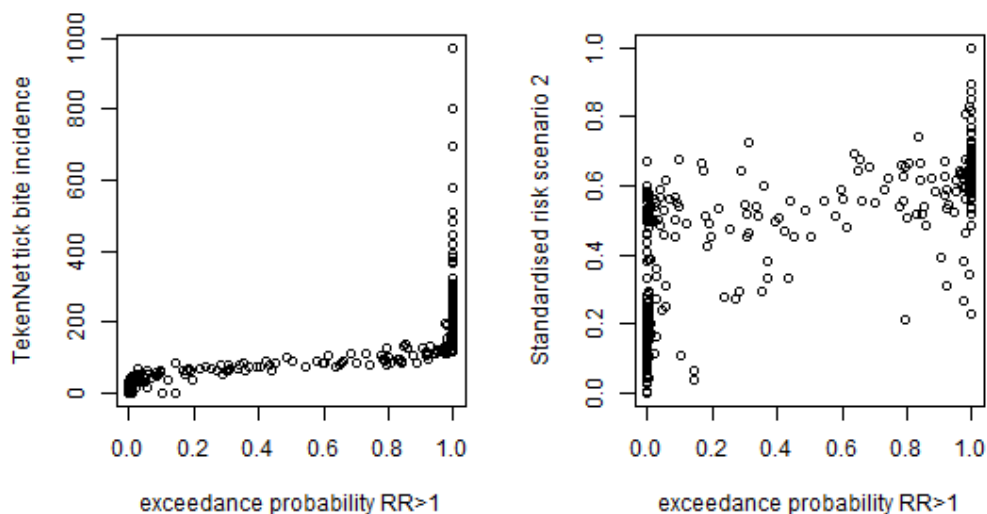
3.3. RISICOKAART OP BASIS VAN BAYESIAN DISEASE MAPPING: COMBINATIE VAN TEKENNET GEGEVENS EN DE OMGEVINGSVARIABLEN VAN DE MCDA

Van alle omgevingsvariabelen die in de MCDA werden opgenomen blijken 2 variabelen significant geassocieerd te zijn met de incidentie van tekenbeten in het Bayesiaan convolution model: de densiteit aan bosranden en de aan/afwezigheid van ree afschot in de gemeente. De bayesian mapping resultaten worden weergegeven in figuur 5. Hier wordt de verdeling van de ruwe incidentie van tekenbeten vergeleken met de RR predicties en de "Exceedance probability of $RR > 1$ ", d.i. de waarschijnlijkheid dat de RR in een gemeente hoger ligt dan 1 of, m.a.w., de waarschijnlijkheid dat het risico voor het oplopen van tekenbeten in deze gemeente hoger ligt dan wat gemiddeld verwacht wordt in Vlaanderen. Deze laatste kaart vormt de uiteindelijke risicokaart met objectieve risicoklassen. De waarschijnlijkheid voor $RR > 1$ is $< 1\%$ voor de laagste klasse 1 en $\geq 99\%$ voor de hoogste klasse 3, daartussen ($1\% \geq$ "waarschijnlijkheid $RR > 1$ " $< 99\%$) ligt klasse 2.



Figuur 5: a) ruwe incidentiecijfers en b) RR model output (tertielen) en c) de uiteindelijke risicokaart met 3 afgeleide klassen op basis van de waarschijnlijkheid dat $RR > 1$.

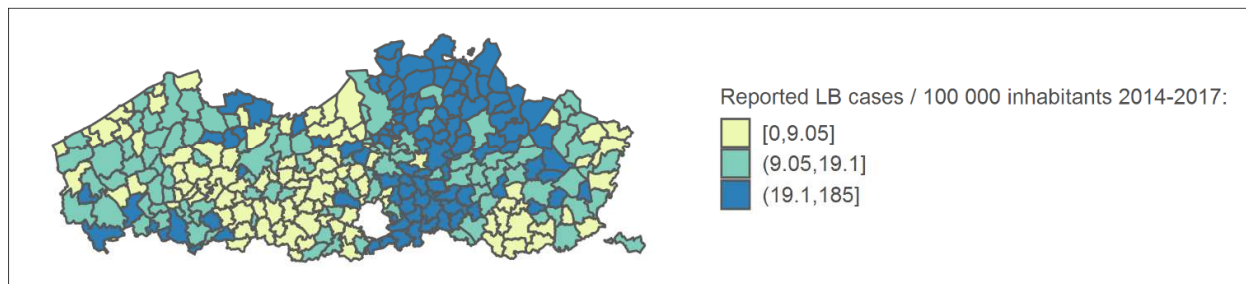
De scatterplots in figuur 6 geven aan hoe de finale opdeling in risicoklassen overeenkomt met de ruwe tekenbeet incidentiecijfers en de risicoschattingen in de MCDA met scenario 2. In beide gevallen vallen de gemeenten met de hoogste risicowaarden nagenoeg volledig binnen de range van “Exceedance probability of $RR > 1$ ” $\geq 0,99$. Ook voor klasse 1 is er een zeer sterke overeenkomst. Voor klasse 2 is de overeenkomst minder duidelijk met scenario 2, waarbij er toch wat gemeenten met risicowaarden tussen 0.33 en 0.66 terecht komen in klasse 1.



Figuur 6: Vergelijking van de verdeling van de tekenbeet incidentie en de gestandaardiseerde risicoschatting in scenario 2 met de verdeling van de probabieliteitschattingen van $RR > 1$.

3.4. RISICOKAART EN LYME BORRELIOSE SURVEILLANCE

De verdeling van Lyme borreliosis op basis van de labo surveillance (Peillabo en NRC 2014 - 2017) wordt ter informatie weergegeven in Figuur 7. De dekkingsgraad van deze labosurveillance in de ruimte is echter niet voldoende op gemeentelijke schaal. Bovendien wordt deze kaart ook opgesteld op basis van de plaats waar mensen wonen met een Lyme borreliose, wat niet zozeer overeen hoeft te komen met de plaats waar ze de tekenbeet hebben opgelopen.



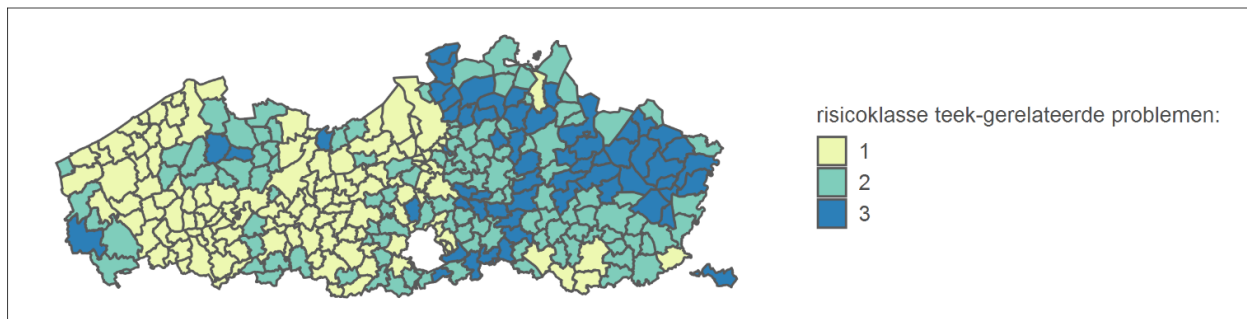
Figuur 7: Voorkomen van Lyme borreliosis op basis van het Netwerk van peillaboratoria en NRC

De Lyme borreliose gegevens sluiten duidelijk niet uit dat er ook in de laagste risicoklasse gevallen van Lyme borreliose worden gerapporteerd in Vlaanderen. Daarom benoemen we klasse 1 niet als “laag”, maar als “gemiddeld” en klasse 2 en 3 noemen we respectievelijk “matig verhoogd” en “sterk verhoogd” met betrekking tot het risico op teek-gerelateerde aandoeningen.

Een beperking van de huidige risicokaart is de aanname dat de gemeenten waar mensen meer worden geconfronteerd met tekenbeten en teek habitat (door de combinatie tekenbeet incidentie en risicofactoren voor tekendensiteit) ook de gemeenten zijn waar er een hoger risico bestaat voor teek-overdraagbare aandoeningen. De ziektekiemen in teken kunnen lokaal zeer sterk variëren, maar er zijn ook verschillende studies die aangeven dat de densiteit van geïnfecteerde teken of nymfen lineair toeneemt met de densiteit van teken [3,4] en verschillende risicofactoren worden zowel vermeld in associatie met nymf densiteit als densiteit aan infectieuze nymfen (loof- en gemengd bos, ecotones, NDVI april-mei-juni) [6,14].

4. RISICOKLASSEN en PREVENTIEMAATREGELEN

Een risicokaart is zinloos indien er geen duiding is van gerichte preventiemaatregelen die passen bij elke risicoklasse. Het bepalen van die gerichte preventiemaatregelen is niet zo eenvoudig en bovendien worden niet alle maatregelen in praktijk haalbaar (zoals behandelen van vogels met acaricide) of wenselijk (behandeling van hele gebieden met pesticide is nefast voor een ecosysteem) geacht [6,15].



- **Risicoklasse 1: gemiddeld teek-gerelateerd risico:**

Er is geen nood aan toegevoegde acties bovenop datgene dat wordt aangeboden op <http://www.tekenbeten.be>.

Naast de regionale preventiemaatregelen toegelicht op <http://www.tekenbeten.be> zijn er op gemeentelijk vlak nog verschillende domeinen waarop meer doorgedreven preventie een rol kan spelen bij de hoogste risicoklassen.

- **Risicoklasse 2: matig verhoogd teek-gerelateerd risico:**

1. **Informatie verstrekken:**

- Goede voorlichting burgers (e.g. gebruik van [tekenbeten.be](http://www.tekenbeten.be) campagne stimuleren).
- Voorlichting rond tekenpreventie in tuinen, zeker wanneer deze in de nabijheid van bosgebied gelegen zijn.

2. **Materiaal verstrekken voor actieve preventie aan bevolking of specifieke risicogroepen in de gemeente:**

- Aanbieden van tekenverwijderaars/repellents, naast informatie, op jaarlijkse grote evenementen

3. **Materiaal verstrekken specifieke risicogroepen in de gemeente (groendiensten):**

- Kleding behandeld met Permethrine/repellents voor groendiensten.
- Correct management van werkkleding tussen blootstellingsactiviteiten door (bv. tussendoor droogzwieren van werkkleding op 60°C). Tekenen kunnen immers meerdere dagen overleven op kleding en een wasbeurt op 40°C overleven [16].

4. **Beperking van het ecologisch potentieel voor hoge tekendensiteit op openbare plaatsen met een hoge blootstellingsgraad [6,15]:**

- Gerichte omheining voor beperking van toegang van reeën en groot wild in bijvoorbeeld speelbossen, speeltuinen [17]

5. **Sturing van de blootstellingskans in natuurrijke openbare gebieden:**

- Picknickbanken op plaatsen met lage vegetatie en ecologische borders

- **Risicoklasse 3: sterk verhoogd teek-gerelateerd risico:**

- 1. Informatie verstrekken: :**

- Goede voorlichting burgers (e.g. tekenbeten.be campagne) + gemeente specifieke initiatieven.
- Voorlichting rond tekenpreventie in tuinen, zeker wanneer deze in de nabijheid van bosgebied gelegen zijn.
- Eenvoudige infoborden i.v.m. tekencheck bij ingang of bezoekerscentra van grote recreatiegebieden.

- 2. Materiaal verstrekken voor actieve preventie aan bevolking of specifieke risicogroepen in de gemeente:**

- Aanbieden van tekenverwijderaars/repellents, naast informatie, op jaarlijkse grote evenementen.
- Groepsaankopen organiseren voor ecologisch verantwoorde omheiningen of bordermateriaal voor individuele tuinen

- 3. Materiaal verstrekken specifieke risicogroepen in de gemeente (groendiensten):**

- Kleding behandeld met Permethrine/repellents voor groendiensten.
- Correct management van werkkleding tussen blootstellingsactiviteiten door (bv. tussendoor droogzwieren van werkkleding op 60°C). Teken kunnen immers meerdere dagen overleven op kleding en een wasbeurt op 40°C overleven [16].
- Ervarings-gebaseerde risicokaart voor tekenbeten binnen een gemeente. Groendiensten kunnen voor zichzelf op een kleine schaalkaart aanduiden waar veel tekenbeten worden opgelopen. Of ze kunnen gps meldingen doorgeven aan TekenNet en na een jaar een kaart opvragen. Zo kunnen, waar nodig, lokaal extra voorzorgen genomen worden.

- 4. Beperking van het ecologisch potentieel voor hoge tekendensiteit op openbare plaatsen met een hoge blootstellingsgraad:**

- Gerichte omheining voor beperking van toegang van reeën en groot wild in bijvoorbeeld speelbossen, speeltuinen.
- Behandeling reeën of wilde ruminants met acaricide (niet noodzakelijk aan te raden, wordt wel vermeld in de literatuur [15]).

- 5. Sturing van de blootstellingskansen in natuurrijke openbare gebieden [6] :**

- Picknickbanken op plaatsen met lage vegetatie en ecologische borders.
- Meer intensief bosmanagement: Sturen van zogenaamde “visitor flows” en vegetatie rond drukbezochte wandelpaden < 50cm houden.

Appendix 1: Literature review search strategy

Research question:

Which variables (Biological, socio-economical, behavioral, recreational...) impact on *Ixodes ricinus* (tick / tick infestation/ tick bite) and occurrence, density, abundance, activity) in Belgium and its surrounding countries. Period 2005-2018.

PUBMED search:

("Ticks"[Mesh] OR "Ixodes"[Mesh] OR "Tick Bites"[Mesh] OR "Tick Infestations"[Mesh] OR "Tick Control"[Mesh] OR bites[tiab] OR tick[tiab]) AND (I. ricinus*[tiab] OR Ixodes ricinus*[tiab] OR ricinus[tiab] OR deer tick*[tiab] OR castor bean tick*[tiab] OR sheep tick*[tiab] OR tick dynamics*[tiab]) AND (densit*[tiab] OR abundance[tiab] OR activity[tiab] OR incidence[tiab] OR number[tiab] OR occurrence[tiab] OR dynamics[tiab] OR presence*[tiab] OR risk map*[tiab]) AND (Belgium[tiab] OR Belgian[tiab] OR Netherlands[tiab] OR Dutch[tiab] OR German*[tiab] OR United Kingdom[tiab] OR Great Britain[tiab] OR England[tiab] OR Scotland[tiab] OR Wales[tiab] OR British[tiab] OR France[tiab] OR French[tiab] OR Luxembourg[tiab]) AND ("Biological Phenomena"[Mesh] OR "Socioeconomic Factors"[Mesh] OR "Recreation"[Mesh] OR "Behavior"[Mesh] OR environment*[tiab] OR vegetation*[tiab] OR climat*[tiab] OR landscape[tiab] OR forest[tiab] OR soil[tiab]) AND (2005:2018[dp]) AND (english[la] OR french[la] OR dutch[la] OR german[la])

SCOPUS search:

TITLE-ABS-KEY (tick OR ixodes) AND TITLE-ABS-KEY (ricinus OR "Ixodes ricinus" OR "deer tick" OR "castor bean tick?" OR "sheep tick" OR "tick dynamic?") AND TITLE-ABS-KEY ("Tick Infestation?" OR "Tick Control" OR densit* OR abundance OR activity OR incidence OR number OR occurrence OR dynamic OR presence OR "risk map*") AND TITLE-ABS-KEY (Belgium OR Belgian OR Netherlands OR Dutch OR German* OR "United Kingdom" OR "Great Britain" OR England OR Scotland OR wales OR British OR France OR French OR Luxembourg) AND TITLE-ABS-KEY ("Biological Phenomena" OR "Socioeconomic Factors" OR recreation OR behavior OR environment* OR vegetation* OR climat* OR weather OR landscape OR forest OR soil) AND LANGUAGE (english OR french OR dutch OR german) AND PUBYEAR>2004.

Out of 148 papers, 40 papers focusing on spatial patterning and *Ixodes ricinus* were selected for thorough evaluation.

Table X1. Eco-epidemiological risk indicators for spatial patterning in tick (*Ixodes ricinus*) presence, activity, density + tick bites occurrence based on a literature review: restricted to Belgium and its surrounding countries (The Netherlands, Germany, France, Luxembourg, UK (indirectly)).

Determinant	Association	Integration in this study	Most important references
Landscape, landcover and geology:			
% forest cover: Deciduous or Deciduous and mixed; Deciduous and mixed and coniferous; Trees around pastures	(+)	Y	[9,18–27]
Greenness, Vegetation, Stress, NDVI	(+)	Y	[14,21,27,28]
Forest composition and fragmentation, edge density	e.g. Edge density(+) Mean forest patch size (+) Number of forest patches (+) Euclidean mean nearest neighbour distance both (+) en (-).	Y	[23,25,29,30]
Altitude / slopes	>800m (-)	N highest point in Belgium is 694 m	[24,31]
Soil, geology, soil water content	Drought sensitivity: No clear association (-). Sand (-) but also (+) in forests	Y, but association remains unclear	[2,32,31]
Climate			
Temperature	Mean annual temperature + Mean driest quarter +	Y	[18,21,24,27,31]
Mean annual precipitation	(+)	Y	[9,18]
Relative humidity, evaporation	Majority (+)	Only PET	[18,28,33,34]
Wind speed	(-)	Y	[23]
Hosts			
Deer density Or presence/ absence	(+) Majority presence /absence	Y	[17,27,27,35]
Wild boar	(+)	Y	[35]
Sheep or cattle or non-wild ruminants	(+)	Y	[9,31]
Predators (foxes)	(-)	N (data resolution too low)	[35]
Exposure			
Accessibility ; Walking paths, open or play areas	(+)	Y	[6]
Gardens	(+)	Y	[37]; TekenNet

5. Referenties

1. Hongoh V, Hoen AG, Aenishaenslin C, Waaub JP, Belanger D, Michel P (2011) Spatially explicit multi-criteria decision analysis for managing vector-borne diseases. *Int J Health Geogr* 10: 70.
2. Braks MAH, Mulder AC, Swart A., Wint W. (2016) Grasping risk mapping. In: Braks MAH, van Wieren SE, Takken W, Sprong H, editors. *Ecology and prevention of Lyme borreliosis*. Wageningen Academic Publishers. pp. 351-371.
3. Coipan EC, Jahfari S, Fonville M, Maassen CB, van der Giessen J, Takken W, Takumi K, Sprong H (2013) Spatiotemporal dynamics of emerging pathogens in questing *Ixodes ricinus*. *Front Cell Infect Microbiol* 3: 36.
4. Eisen L, Eisen RJ (2016) Critical Evaluation of the Linkage Between Tick-Based Risk Measures and the Occurrence of Lyme Disease Cases. *J Med Entomol* 5: 1050–1062.
5. Ehrmann S, Ruyts SC, Scherer-Lorenzen M, Bauhus J, Brunet J, Cousins SAO, Deconchat M, Decocq G, De FP, De SP, Diekmann M, Gallet-Moron E, Gartner S, Hansen K, Kolb A, Lenoir J, Lindgren J, Naaf T, Paal T, Panning M, Prinz M, Valdes A, Verheyen K, Wulf M, Liira J (2018) Habitat properties are key drivers of *Borrelia burgdorferi* (s.l.) prevalence in *Ixodes ricinus* populations of deciduous forest fragments. *Parasit Vectors* 11: 23.
6. Braks, M. A. H., van Wieren, S. E., Takken, W., and Sprong, H. (2016) *Ecology and prevention of Lyme borreliosis*. Wageningen Academic Publishers.
7. Malczewski, J. and Rinner, C. (2015) *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
8. Jung M (2016) A python plugin for automated landscape ecology analysis. *Ecological Informatics* 31: 18-21.
9. Rousseau R, McGrath G, McMahon BJ, Vanwambeke SO (2017) Multi-criteria Decision Analysis to Model *Ixodes ricinus* Habitat Suitability. *Ecohealth* 14: 591-602.
10. Lawson, A. B. (2008) *Bayesian disease mapping: hierarchical modeling in spatial epidemiology*. Chapman & Hall / CRC.
11. Bivand R, Gomez-rubio V, Rue H (2015) Spatial Data Analysis with R-INLA. *Journal of statistical software* 63: 1-31.
12. Machado G, Alvarez J, Bakka HC, Perez A, Donato LE, de Ferreira Lima Junior FE, Alves RV, Del Rio Vilas VJ (2019) Revisiting area risk classification of visceral leishmaniasis in Brazil. *BMC Infect Dis* 19: 2.
13. Zuur, A. F., Ieno, E. N., and Saveliev, A. A. (2017) *Spatial, temporal, and spatial-temporal ecological data analysis with R-INLA*. Highland Statistics Ltd.
14. Rosa R, Andreo V, Tagliapietra V, Barakova I, Arnoldi D, Hauße HC, Manica M, Rosso F, Blanařova L, Bona M, Derdakova M, Hamsikova Z, Kazimirova M, Kraljik J, Kocianova E, Mahrikova L, Minichova L, Mosansky L, Slovak M, Stanko M, Spitalska E, Ducheyne E, Neteler M, Hubalek Z, Rudolf I, Venclikova K, Silaghi C, Overzier E, Farkas R, Foldvari G, Hornok S, Takacs N, Rizzoli A (2018) Effect of Climate and Land Use on the Spatio-Temporal Variability of Tick-Borne Bacteria in Europe. *Int J Environ Res Public Health* 15.
15. Aenishaenslin C, Michel P, Ravel A, Gern L, Waaub JP, Milord F, Belanger D (2016) Acceptability of tick control interventions to prevent Lyme disease in Switzerland and Canada: a mixed-method study. *BMC Public Health* 16: 12.
16. Nelson CA, Hayes CM, Markowitz MA, Flynn JJ, Graham AC, Delorey MJ, Mead PS, Dolan MC (2016) The heat is on: Killing blacklegged ticks in residential washers and dryers to prevent tickborne diseases. *Ticks Tick Borne Dis* 7: 958-963.
17. Gilbert L, Maffey GL, Ramsay SL, Hester AJ (2012) The effect of deer management on the abundance of *Ixodes ricinus* in Scotland. *Ecol Appl* 22: 658-667.

18. Brugger K, Boehnke D, Petney T, Dobler G, Pfeffer M, Silaghi C, Schaub GA, Pinior B, Dautel H, Kahl O, Pfister K, Suss J, Rubel F (2016) A Density Map of the Tick-Borne Encephalitis and Lyme Borreliosis Vector *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) for Germany. *J Med Entomol* 53: 1292-1302.
19. Boyard C, Vourc'h G, Barnouin J (2008) The relationships between *Ixodes ricinus* and small mammal species at the woodland-pasture interface. *Exp Appl Acarol* 44: 61-76.
20. Boyard C, Barnouin J, Gasqui P, Vourc'h G (2007) Local environmental factors characterizing *Ixodes ricinus* nymph abundance in grazed permanent pastures for cattle. *Parasitology* 134: 987-994. S0031182007002351 [pii];10.1017/S0031182007002351 [doi].
21. Estrada-Pena A, Ortega C, Sanchez N, Desimone L, Sudre B, Suk JE, Semenza JC (2011) Correlation of *Borrelia burgdorferi sensu lato* prevalence in questing *Ixodes ricinus* ticks with specific abiotic traits in the western palearctic. *Appl Environ Microbiol* 77: 3838-3845.
22. James MC, Gilbert L, Bowman AS, Forbes KJ (2014) The Heterogeneity, Distribution, and Environmental Associations of *Borrelia burgdorferi Sensu Lato*, the Agent of Lyme Borreliosis, in Scotland. *Front Public Health* 2: 129.
23. Li S, Heyman P, Cochez C, Simons L, Vanwambeke SO (2012) A multi-level analysis of the relationship between environmental factors and questing *Ixodes ricinus* dynamics in Belgium. *Parasit Vectors* 5: 149.
24. Boehnke D, Brugger K, Pfaffle M, Sebastian P, Norra S, Petney T, Oehme R, Littwin N, Lebl K, Raith J, Walter M, Gebhardt R, Rubel F (2015) Estimating *Ixodes ricinus* densities on the landscape scale. *Int J Health Geogr* 14: 23.
25. Tack W, Madder M, Baeten L, De FP, Verheyen K (2012) The abundance of *Ixodes ricinus* ticks depends on tree species composition and shrub cover. *Parasitology* 139: 1273-1281.
26. Ruys SC, Tack W, Ampoorter E, Coipan EC, Matthysen E, Heylen D, Sprong H, Verheyen K (2018) Year-to-year variation in the density of *Ixodes ricinus* ticks and the prevalence of the rodent-associated human pathogens *Borrelia afzelii* and *B. miyamotoi* in different forest types. *Ticks Tick Borne Dis* 9: 141-145.
27. Swart A, Ibanez-Justicia A, Buijs J, van Wieren SE, Hofmeester TR, Sprong H, Takumi K (2014) Predicting tick presence by environmental risk mapping. *Front Public Health* 2: 238.
28. Garcia-Marti I, Zurita-Milla R, Harms MG, Swart A (2018) Using volunteered observations to map human exposure to ticks. *Sci Rep* 8: 15435.
29. Ehrmann S, Liira J, Gartner S, Hansen K, Brunet J, Cousins SAO, Deconchat M, Decocq G, De FP, De SP, Diekmann M, Gallet-Moron E, Kolb A, Lenoir J, Lindgren J, Naaf T, Paal T, Valdes A, Verheyen K, Wulf M, Scherer-Lorezen M (2017) Environmental drivers of *Ixodes ricinus* abundance in forest fragments of rural European landscapes. *BMC Ecol* 17: 31.
30. Li S, Hartemink N, Speybroeck N, Vanwambeke SO (2012) Consequences of landscape fragmentation on Lyme disease risk: a cellular automata approach. *PLoS One* 7: e39612.
31. Medlock JM, Pietzsch ME, Rice NV, Jones L, Kerrod E, Avenell D, Los S, Ratcliffe N, Leach S, Butt T (2008) Investigation of ecological and environmental determinants for the presence of questing *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) on Gower, South Wales. *J Med Entomol* 45: 314-325.
32. Goldstein V, Boulanger N, Schwartz D, George JC, Ertlen D, Zilliox L, Schaeffer M, Jaulhac B (2018) Factors responsible for *Ixodes ricinus* nymph abundance: Are soil features indicators of tick abundance in a French region where Lyme borreliosis is endemic? *Ticks Tick Borne Dis* 9: 938-944.
33. Dobson AD, Taylor JL, Randolph SE (2011) Tick (*Ixodes ricinus*) abundance and seasonality at recreational sites in the UK: hazards in relation to fine-scale habitat types revealed by complementary sampling methods. *Ticks Tick Borne Dis* 2: 67-74.
34. Schwarz A, Maier WA, Kistemann T, Kampen H (2009) Analysis of the distribution of the tick *Ixodes ricinus* L. (Acari: Ixodidae) in a nature reserve of western Germany using Geographic Information Systems. *Int J Hyg Environ Health* 212: 87-96.

35. Hofmeester TR, Jansen PA, Wijnen HJ, Coipan EC, Fonville M, Prins HHT, Sprong H, van Wieren SE (2017) Cascading effects of predator activity on tick-borne disease risk. *Proc Biol Sci* 284.
36. Vourc'h G, Abrial D, Bord S, Jacquot M, Masseglia S, Poux V, Pisanu B, Bailly X, Chapuis JL (2016) Mapping human risk of infection with *Borrelia burgdorferi sensu lato*, the agent of Lyme borreliosis, in a periurban forest in France. *Ticks Tick Borne Dis* 7: 644-652.
37. Mulder S, van Vliet A.J.H., Bron WA, Gassner F, Takken W (2013) High risk of tick bites in Dutch gardens. *Vector Borne Zoonotic Dis* 3: 865-871.
38. VMM (2018), 'Impact van klimaatverandering op meteorologische droogte in Vlaanderen', Vlaamse Milieumaatschappij, Afdeling Operationeel Waterbeheer, Dienst Hoogwaterbeheer & Sumaqua bvba (in opdracht van VMM).
39. Lokers R., Coninx I., Willems P., de Groot H., Staritsky I. (2018) Klimaatportaal Vlaanderen, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij, dienst Hoogwaterbeheer en dienst Milieuraapportering, AOW&MIRA/2018/02, Wageningen Environmental Research/KU Leuven.

CONTACT

Katrien Tersago • Katrien.Tersago@sciensano.be

