

Aus dem Department für Nutztiere und
öffentliches Gesundheitswesen in der Veterinärmedizin
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Abteilung für Öffentliches Veterinärwesen und Epidemiologie
(Leiterin: Univ.-Prof. Dr. Annemarie Käsbohrer)

Feldstudie zur Bestimmung der Dichte von *Ixodes ricinus* Zecken in Deutschland: Auswertung der Jahre 2018–2019

Diplomarbeit
Zur Erlangung der Würde einer
MAGISTRA MEDICINAE VETERINARIAE
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Vorgelegt von
Belinda Hämmerle

Wien, im August 2020

Betreuerin:

Priv.-Doz. Dr. Katharina Brugger

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr. Anja Joachim, Dipl.EVPC

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zu der Erstellung dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Vielen Dank an Frau Priv. Doz. Dr. Katharina Brugger, die mir das Thema meiner Diplomarbeit angeboten und kompetent durch das Projekt „Diplomarbeit“ geleitet hat. Die Hilfestellungen und Anregungen haben mich beim Verfassen meiner ersten wissenschaftlichen Arbeit enorm unterstützt.

Ebenfalls möchte ich mich bei Prof. Mag. Claudia Böhler-Wüstner bedanken, die meine Diplomarbeit Korrektur gelesen hat und mit ihrer konstruktiven Kritik wesentlich zur Verbesserung der Arbeit beigetragen hat.

Diese Diplomarbeit wurde im Rahmen des durch Pfizer Deutschland GmbH geförderten Projekts OSWALD – AG Flaggen erstellt. Die Daten zur Zeckenaktivität wurden von den beteiligten Arbeitsgruppen an der Universität Hohenheim, der Universität Leipzig, der Tierärztlichen Hochschule Hannover, der Veterinärmedizinischen Universität Wien und der Firma Tick-Radar aus Berlin freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	4
1.1 Motivation und Fragestellung	4
1.2 Zecken als Vektoren	6
1.3 Feldstudie	12
2. Material und Methode	14
2.1 Feldstudie	14
2.2 Statistische und graphische Auswertung	18
3. Ergebnisse	20
3.1 Mittlere Zeckendichte pro Standort und Landklasse	20
3.2 Zeitreihendarstellung der Zeckendichte pro Standort	25
3.3 Korrelationsmatrix für die Zeckendichte pro Landklasse.....	52
4. Diskussion	58
5. Zusammenfassung	61
6. Summary	62
7. Literaturverzeichnis	63
8. Abbildungsverzeichnis	69

1. Einleitung

1.1 Motivation und Fragestellung

Europaweit stellen Zecken als Überträger von Krankheitserregern eine der Herausforderungen für das öffentliche Gesundheits- und Veterinärwesen dar. Krankheitserreger wie das Frühsommer-Meningoenzephalitis-Virus (FSME-Virus), welches die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) auslöst, oder die Spirochäten *Borrelia burgdorferi* sensu lato, die für Lyme-Borreliose-Erkrankungen verantwortlich sind, können bei einer Blutmahlzeit von Zecken, in Europa vor allem durch *Ixodes ricinus*, auf Menschen und Tiere übertragen werden (Süss et al. 2004a, 2004b). Das Robert Koch-Institut verzeichnete 2018 für Deutschland einen Rekordwert von 583 gemeldeten humanen FSME-Erkrankungen (Robert Koch-Institut 2019). Das Europäische Zentrum für die Prävention und Kontrolle von Krankheiten (*European Centre for Disease Prevention and Control*, ECDC) führt europaweit Kampagnen zur Stärkung des Bewusstseins für die Gefahren von Zeckenstichen vor allem in Risikogebieten durch (ECDC 2020).

Nicht nur in der Humanmedizin, auch in der Veterinärmedizin spielen Zecken als Überträger von verschiedensten Pathogenen eine wichtige Rolle und führen zu gesundheitlichen Problemen bei Haustieren und Nutztieren. Bei Rindern überträgt der gemeine Holzbock, *I. ricinus*, beispielsweise *Anaplasma phagozytophilum*, den Erreger des Weidefiebers, welches zu Störungen des Allgemeinbefindens, Lahmheit und einem drastischen Rückgang der Milchleistung führen kann und so enorme wirtschaftliche Verluste verursacht (Silaghi et al. 2018). Auch der Erreger der bovinen Babesiose, *Babesia divergens*, wird von *I. ricinus* auf Rinder übertragen und führt zu Symptomen wie Fieber, Schwäche und Anämie. Durch das zoonotische Potential führt *B. divergens* außerdem zu schwerwiegenden Erkrankungen immunsupprimierter Menschen (Zintl et al. 2003). Auch auf Hunde überträgt der gemeine Holzbock unter anderem die Erreger *Borrelia burgdorferi* sensu lato oder *Anaplasma phagozytophilum*. Eine weitere bedeutsame Krankheit in der Kleintiermedizin ist die Babesiose des Hundes, deren Erreger *Babesia spp.* jedoch von anderen Zeckenarten übertragen wird (Pantchev et al. 2015). Die genannten Krankheiten zeichnen sich oft durch schwere Krankheitsverläufe aus, die zu hohen Behandlungskosten und häufig zum Tod des Tieres führen. Die hier genannten Krankheitserreger stellen nur einen Auszug aller von Zecken übertragenen Pathogenen dar, europaweit, aber vor allem weltweit ist noch eine Vielzahl weiterer Erreger bekannt (Uilenberg 1995).

Aufgrund der bedeutenden wirtschaftlichen, finanziellen und emotionalen Verlusten und der Gefährdung der menschlichen Gesundheit, ist es von großer Wichtigkeit, das Risiko für eine Infektion mit von Zecken übertragenen Krankheitserregern abschätzen zu können. Hierfür muss einerseits das Ausmaß des Vorkommens wirtssuchender Zecken, als auch die Belastung der Zecken mit Krankheitserregern bekannt sein. Das Wissen um die Dichte der in Deutschland häufigsten Zeckenart *Ixodes ricinus* stellt einen wichtigen Schritt in Richtung Minimierung des Risikos von Zeckenstichen, Pathogenübertragungen und somit Erkrankungen dar.

Im Frühjahr 2018 wurde daher eine deutschlandweite Feldstudie gestartet, um die Häufigkeit von *I.-ricinus*-Zecken zu bestimmen. In dieser Studie werden an 84 Standorten mittels einer standardisierten Methode monatlich Zecken gesammelt. Durch die gesammelten Zecken können u. a. Rückschlüsse auf die Ausbreitung und die saisonale Aktivität gezogen werden.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, die Beobachtungsdaten der Periode 2018–2019 der Feldstudie zusammenzuführen und auszuwerten. Bei einem so komplexen Datensatz wie dem Vorliegenden, ist es unumgänglich, in einem ersten Schritt die Daten graphisch und deskriptiv auszuwerten und zu analysieren. Dadurch wird gleichzeitig die Plausibilität der einzelnen Datensätze überprüft und es können erste Aussagen z. B. hinsichtlich der monatlichen Dichte der Zecken in verschiedenen Regionen in Deutschland getroffen werden. Mit diesem Datensatz können erweiterte Erkenntnisse über saisonale Aktivität der Zecken in Abhängigkeit des Breitengrades oder der Landklassifikation in ganz Deutschland getroffen werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit stellen wichtige Grundlagen für die Modellierung von monatlichen Zeckendichtekarten für Deutschland dar. Diese werden analog zu der Jahresdichtekarte von Brugger et al. (2016) erstellt. Die Dichtekarten wurden mit Hilfe der Jahresmittelwerte der Temperatur, des Niederschlags, und der relativen Luftfeuchtigkeit, sowie von der Temperatur im trockensten Quartal und der Landnutzung modelliert. Durch die statistische Modellierung von Gebieten mit erhöhtem Vorkommen von Zecken kann ein erhöhtes Risiko von durch Zecken übertragbaren Infektionskrankheiten, wie FSME und Lyme-Borreliose, abgeschätzt werden.

1.2 Zecken als Vektoren

Zecken werden in den Stamm der *Arthropoda* (Gliederfüßler), in die Klasse der *Arachnida* (Spinnenartige) und in die Unterklasse der *Acari* (Milben) eingeordnet. Wie in Abb. 1 dargestellt, wird die Ordnung der *Ixodida* in drei Familien unterteilt (Guglielmone et al. 2010): Schildzecken (*Ixodidae*), Lederzecken (*Argasidae*) und *Nuttalliellidae*, deren einzige Art *Nuttalliella namaqua* hauptsächlich in Südafrika auftritt und eine Art Übergangsform zwischen Schildzecken und Lederzecken darstellt (Latif et al. 2012). Bis heute ist die Systematik der Zecken noch nicht vollständig geklärt. Neuste Studien beschäftigen sich mit der Erforschung von genetischen Markern, um durch die systematische Analyse der Gensequenzen eine neue Artenliste zu generieren (Mans et al. 2019).

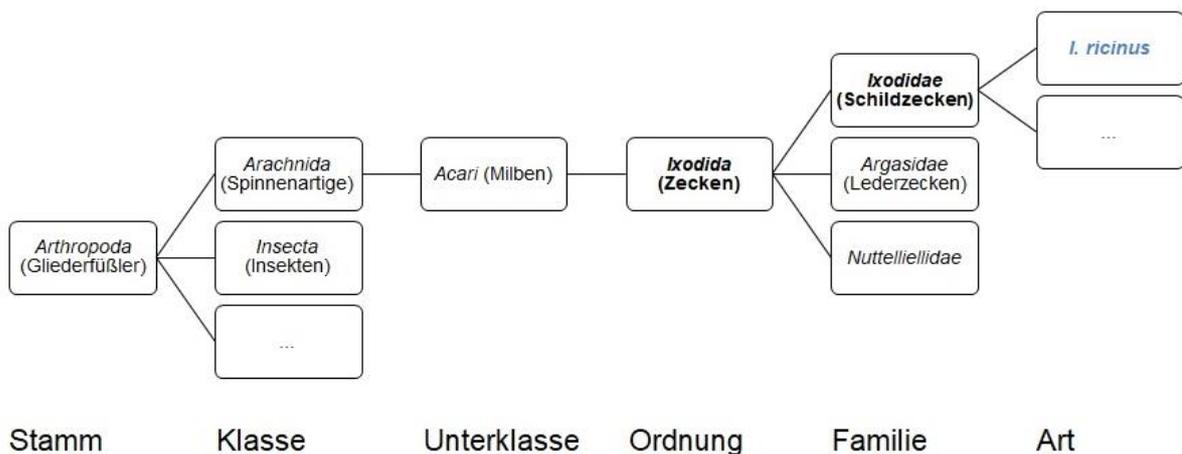


Abb. 1: Systematik der Zecken (*Ixodida*) nach Deplazes et al. (2013).

1.2.1 Zeckenarten in Deutschland

Weltweit sind über 900 Zeckenarten bekannt (Guglielmone et al. 2010), wobei in Deutschland folgende Arten der Schildzecken (*Ixodidae*) am häufigsten vorkommen und meist eine wichtige Rolle in der Übertragung von Krankheitserregern spielen (Rubel et al. 2014, Petney et al. 2015):

Ixodes ricinus, der Gemeine Holzbock, ist die am häufigsten vorkommende Zecke in ganz Mitteleuropa und gilt als Hauptüberträger des FSME-Virus und von Borrelien. Das Wirtspektrum umfasst die meisten Säugetiere, aber auch Vögel und Reptilien. Bei der Präferenz der Wirte spielt das Entwicklungsstadium eine Rolle (Deplazes et al. 2013). Larven parasitieren vor allem auf Kleinsäugetern, wie Mäusen, aber auch auf Vögeln und kleinen

Reptilien, wie Eidechsen. Nymphen befallen meist mittelgroßen Säuger wie Füchse, Katzen, Hunde, Igel und spielen für den Menschen die wichtigste Rolle als Überträger von Krankheitserregern (Brugger et al. 2016). Adultstadien bevorzugen als Wirt große Säugetiere, vor allem Großwild und Rinder (Deplazes et al. 2013).

Ixodes inopinatus ist eine 2014 erstmals beschriebene Zeckenart, die mit *I. ricinus* eng verwandt ist (Estrada-Peña 2014). Aktuelle Studien zeigen, dass *I. inopinatus* in Deutschland vorkommt (Chitimia-Dobler et al. 2018, Hauck et al. 2019).

Ixodes frontalis ist eine ornithophile, d. h. eine hauptsächlich an Vögeln saugende, Zeckenart. Bisher waren in Deutschland nur sehr wenige Funde von *I. frontalis* dokumentiert und die Zecke galt demnach als selten. Jedoch zeigte Drehmann et al. (2019), dass diese Art ein sehr häufiger Parasit bei einheimischen Vögeln ist. Bisher liegen nur zwei Berichte über den Befall von Menschen vor (Drehmann et al. 2019).

Ixodes hexagonus, die Igelzecke, befällt neben seinem Namensgeber dem Igel sporadisch auch Füchse, Hunde und Katzen. Als endophile Parasiten leben sie hauptsächlich in den Bauten und Nestern von Igel (Kahl und Petney 2019) und kommen in ganz Deutschland häufig vor. Menschen werden sehr selten befallen.

Dermacentor marginatus, die Schafzecke, ist hauptsächlich im südwestlichen Teil Deutschlands verbreitet. Ihr breites Wirtsspektrum umfasst vor allem Schafe, aber auch Rinder, Hunde, Ziegen, Wildtiere und Menschen (Walter et al. 2016). Als Überträger der Erreger der Tularämie, Rickettsiose und des Q-Fiebers rückt diese Art zunehmend in den Fokus der Wissenschaft.

Dermacentor reticulatus, die Auwaldzecke, ist die nach *I. ricinus* am häufigsten vorkommende Zecke Deutschlands (Kahl und Petney 2019). In einer Studie von Chitimia-Dobler et al. (2019a) wurde in Deutschland bei bis zu 11,3 % der untersuchten *D. reticularis*-Zecken eine Infektion mit FSME-Viren nachgewiesen, weshalb angenommen wird, dass sie eine wichtige Rolle im Infektionszyklus des FSME-Virus spielt.

Haemaphysalis concinna, auch Reliktzecke genannt, tritt in Deutschland an einigen Standorten, vor allem in feuchten Habitaten um Seen und Flüsse auf. Sie ist ein nachgewiesener Vektor für das FSME-Virus und *Francisella tularensis*, dem Erreger der Tularämie. In der Region um Österreich, Ungarn und Tschechien ist es die am dritthäufigsten gefundene Zecke (Rubel et al. 2018).

1.2.2 Entwicklungszyklus von *Ixodes ricinus*

Zecken parasitieren obligat und temporär als blutsaugende Ektoparasiten auf einer Vielzahl von Wirbeltieren wie Vögeln, Säugetieren und Reptilien. Da die Zeckenart *I. ricinus* in Deutschland am häufigsten auftritt, wird im folgenden Kapitel der Entwicklungszyklus dieser Art näher besprochen.

Die Familie der *Ixodidae* (Schildzecken) durchlaufen insgesamt vier Entwicklungsstadien: Ei, Larve, Nymphe und ein männliches oder weibliches Adultstadium (Abb. 2). Während Nymphen und Adulte vier Beinpaare besitzen, haben Larven nur drei Beinpaare. Zur Entwicklung von *I. ricinus* zum nächsten Stadium oder vor der Eiablage ist eine Blutmahlzeit notwendig (Estrada-Peña et al. 2004). Nach der Blutmahlzeit werden die Zecken als „gesogen“ bezeichnet und ziehen sich meist in die Laubstreu am Boden zurück. Abhängig von den Umweltbedingungen beginnen sie sich nach mehreren Wochen bis Monaten zu häuten (Ecdysis). Erfolgt die Blutmahlzeit der Larve oder Nymphe bereits im Frühsommer, ist eine Häutung und somit Weiterentwicklung noch im gleichen Jahr möglich. Wird die Blutmahlzeit allerdings erst im Spätsommer genommen, begeben sich die gesogenen Larven und Nymphen in ein Ruhestadium (Dormanz), um die Häutung im nächsten Frühsommer zu vollziehen (Kahl und Petney 2019). Im Anschluss an die Ecdysis begibt sich die Zecke in ein ein- bis zweiwöchiges Reifungsstadium, in dem die Kutikula aushärtet und sich verfärbt. Nach Abschluss der Reifungsphase wird von einer „ungesogenen“ Zecke gesprochen. Auch vor der Eiablage benötigt die weibliche Zecke eine Blutmahlzeit. Das Männchen begattet das Weibchen auf dem Wirt, während das Weibchen fest in der Einstichstelle verankert ist. Ist die Paarung vollendet und die Blutmahlzeit des Weibchens abgeschlossen, lässt sich die begattete Zecke in die Umgebung fallen. Mehrere tausend Eier werden in die schützende Laubschicht gelegt und das Weibchen stirbt kurze Zeit später (Estrada-Peña 2015).

Auch bei ungünstigen Umweltbedingungen wie Temperaturen unter 5–7 °C oder einer relativen Luftfeuchtigkeit unter 80 % ziehen sich Zecken in eine Ruhephase zurück. Aufgrund des Lebenszyklus wird angenommen, dass Zecken unter günstigen Bedingungen ein durchschnittliches Alter von zwei bis drei Jahren und bei ungünstigen Bedingungen von bis zu sechs Jahren erreichen. Während der insgesamt drei Blutmahlzeiten, die jeweils einige Tage dauern, verbringt die Zecke nur 1 % ihrer Lebenszeit auf einem Wirt (Kahl 1989, Kahl und Petney 2019).

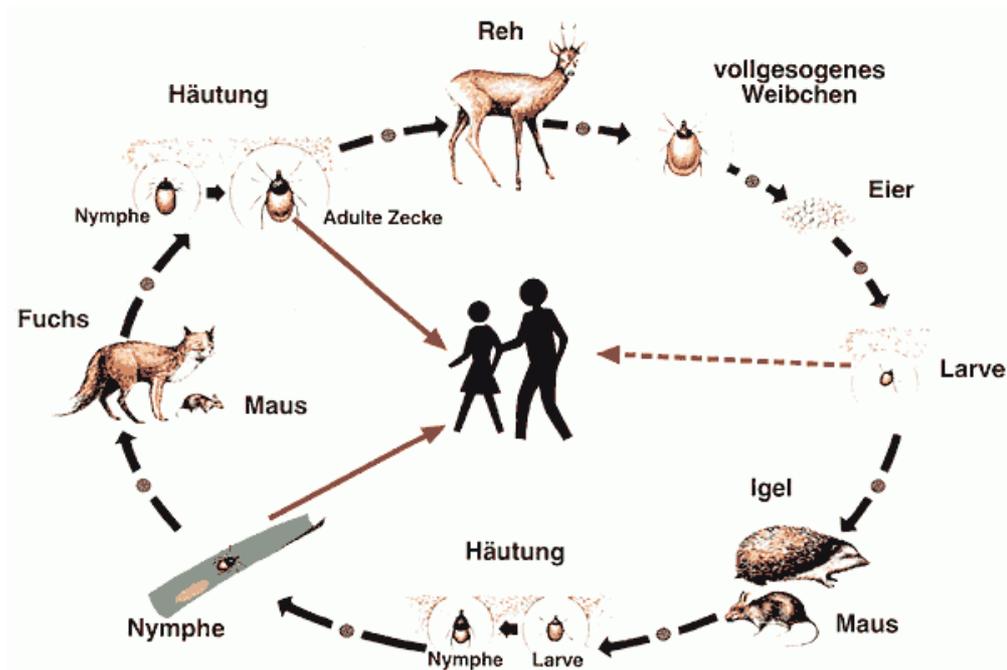


Abb. 2: Entwicklungszyklus von *Ixodes ricinus* (Baxter Deutschland GmbH 2020).

1.2.3 Wirtsuche

Die ungesogene Zecke begibt sich auf Wirtsuche, wobei verschiedene Taktiken bekannt sind. Die exophile Wirtsfindung zeichnet sich durch das Verlassen der schützenden Laubschichten oder anderer Habitate aus, um zum Wirt zu gelangen (Estrada-Peña et al. 2010). Hierbei werden die Strategien der „Lauerer“ und die der „Jäger“ unterschieden.

Ixodes ricinus erklimmt einen leicht erhöhten Punkt in der Vegetation, wie beispielsweise Grashalme und Büsche und lauert. Mit den Hinterbeinen klammert die Zecke sich an der ausgewählten Position fest, während die Vorderbeine charakteristisch nach oben ausgestreckt werden. So werden die an den Vorderbeinen befindlichen grubenförmigen Haller'schen Organe exponiert, die Thermo-, Mechano- und Chemorezeptoren (Lucius und Loos-Frank 2008) besitzen und somit Temperaturänderungen, aber auch Kohlendioxid, Pheromone und Vibrationen registrieren können. Damit werden vorbeistreifende Wirte erkannt und befallen (Stanek und Hofmann 1994).

Eine andere Taktik ist die der „Jäger“. Durch Aufspüren der sich in einiger Entfernung aufhaltenden Wirte laufen sie aktiv auf den Wirt zu. Zu den Jägern zählen unter anderem Zecken der Gattung *Hyalomma spp.* und *Amblyomma spp.* (Deplazes et al. 2013).

Bei der passiven Wirtsfindung, auch endophile Wirtsfindung genannt, verharren die ungesogenen Stadien im Bau oder Nest des Wirtes und warten auf dessen Rückkehr. Diese Taktik ist vor allem bei Lederzecken, wie *Argas reflexus* (Dautel et al. 1991), zu beobachten, aber auch die bei einigen Schildzecken, wie *I. hexagenous* (Kahl und Petney 2019). Durch diese Art der Wirtsfindung sind die Parasiten besser vor äußeren Umwelteinflüssen geschützt (Estrada-Peña et al. 2010).

Viele Zeckenarten präferieren bestimmte Wirte, so parasitiert zum Beispiel die Zeckenart *Argas reflexus* hauptsächlich auf Tauben (Dautel et al. 1991). Da alle Entwicklungsstadien der Taubenzecke denselben Wirt bevorzugen, wird von homoxenen Parasiten gesprochen. Wechselt eine Zeckenart in verschiedenen Entwicklungsstadien hingegen die Wirte, werden die Parasiten als heteroxen bezeichnet. Beispielsweise befallen die Larven der Zeckenart *I. ricinus* vor allem Kleinsäuger, wie Mäuse, aber auch Vögel und kleine Reptilien wie Eidechsen. Die Nymphen parasitieren vor allem auf mittelgroßen Säugern wie Füchsen, Katzen, Hunden und Igel. Große Säugetiere, wie Großwild oder Rinder, dienen den Adultstadien von *I. ricinus* als Wirt (Deplazes et al. 2013).

1.2.4 Stich, Saugakt und Übertragung von Pathogenen

Bei Kontakt mit einem potentiellen Wirt klammern sich die Zecken mit den Vorderbeinen an und beginnen mit der Suche nach einer passenden Stelle für die Blutmahlzeit. Bevorzugt werden vor allem warme, feuchte Stellen mit guter Durchblutung und oberflächlich liegenden Blutgefäßen (Süß und Schrader 2004). Diese Stellen finden sich beim Menschen zum Beispiel im Inguinalbereich, unter den Armen und am Haaransatz, bei Tieren vor allem an den Ohren.

Das *Capitulum*, der „Kopf“ der Zecke, ist ein hochspezialisiertes Werkzeug, um das Blut des Wirtes aufzunehmen. Wie in Abb. 3 dargestellt, besteht das Capitulum aus den paarigen Cheliceren (Kieferklauen) mit widerhakenartigen Zähnen, dem zungenartigen Hypostom (Stechrüssel) und den Pedipalpen (Tastorgane) (Richter et al. 2013).

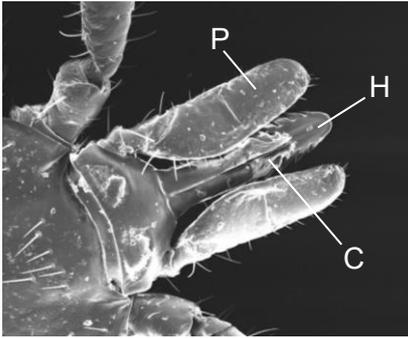


Abb. 3: Kopf von *Ixodes ricinus* mit Pedipalpen (P), Hypostom (H) und Cheliceren (C). (ZHAW Phytomedizin 2020).

Mit den Cheliceren wird die Haut bis tief in die Dermis aufgerissen und die Zecke verankert sich in der Wunde (Abb. 4). Dies geschieht bei einigen Arten hauptsächlich durch die Mundwerkzeuge, bei anderen Arten durch ein, von der Speicheldrüse gebildetes, zementartiges Sekret (Deplazes et al. 2013, Richter et al. 2013, Vancová et al. 2020). In der aufgerissenen Dermis entsteht ein Blutsee, aus welchem die Zecken das Blut durch den Hohlraum zwischen Hypostom und Cheliceren aufsaugen. Durch diesen Hohlraum fließt in entgegengesetzter Richtung auch das Speicheldrüsensekret, welches proteolytische, anästhesierende, gerinnungshemmende und weitere pharmakologisch wirksame Substanzen enthält (Estrada-Peña 2015). Dies führt einerseits zu einer Vergrößerung der „Blut-Pools“ durch Gewebeerweichung mittels Proteasen, andererseits zu einer verminderten Abwehrreaktion des Körpers wie zum Beispiel Bildung von Blutkoageln, Entzündungsreaktionen oder Wundheilung. Außerdem verringert es durch die anästhetische Wirkung die Abwehrreaktionen des Wirts (Kazimírová und Štibrániová 2013). Da die Dauer der Blutmahlzeit und somit auch des Substrataustauschs zwischen Zecke und Wirt in der Regel mehrere Tage beträgt, wird so die Übertragung von pathogenen Mikroorganismen begünstigt.

Um ein möglichst umfangreiches Futter- und somit Energiereservoir anzulegen, bedienen sich Zecken mehrerer speziell entwickelter Techniken. Um die dünnflüssige Blutmahlzeit zu konzentrieren und somit das aufgenommene Volumen zu verkleinern, werden überschüssiges Wasser und Ionen über die Speicheldrüsen zurück in den Wirt geleitet (Tatchell 1969). Außerdem wird nach dem Festbeißen eine Wachstumsphase indiziert, in welcher in großem Ausmaß neue Kutikula gebildet wird (Sonenshine und Anderson 2014). Aufgrund dieser Neubildung ist die Aufnahme enormer Futtervolumina möglich. Larven erreichen mit der Blutmahlzeit eine 10- bis 20-fache Nettomassezunahme,

Nymphen eine 15- bis 40-fache und adulte Weibchen erhöhen ihre Nettomasse um den Faktor 100–200 (Kahl 1989).

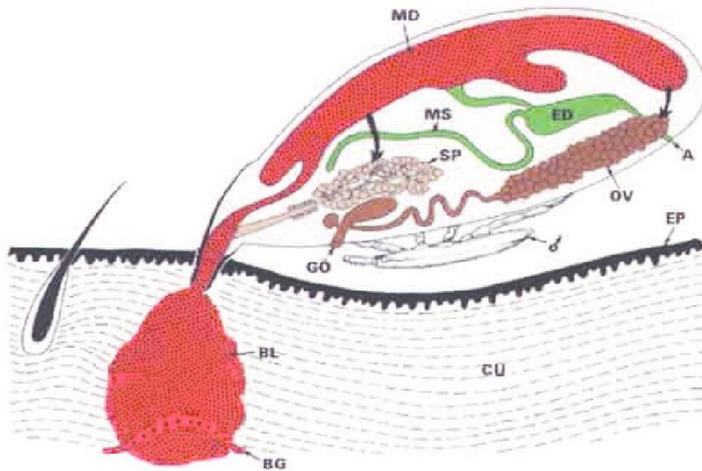


Abb. 4: Schematische Darstellung eines saugenden Schildzeckenweibchens (Längsschnitt), das während des Blutsaugens von einem Männchen begattet wird. (A) After, (BG) Blutgefäß, (BL) Blutlache, (CU) Cutis, (ED) Enddarm, (EP) Epidermis, (GÖ) Geschlechtsöffnung, (MD) Mitteldarm, (MS) Malpighi-Gefäß, (OV) Ovar, (SP) Speicheldrüse (Mehlhorn und Mehlhorn 2009).

1.3 Feldstudie

Um die Artenvielfalt in einem Habitat zu bestimmen, die saisonale Aktivität von Zecken zu verfolgen oder auch für den Nachweis von Krankheitserregern werden Zecken im Rahmen von Feldstudien gesammelt. Abhängig von dem Studienziel muss die passende Fangmethode ausgewählt werden. Eine Übersicht über die verschiedenen Zeckensammelmethode ist in Vogelgesang (2017) gegeben. Die am häufigsten verwendete Methode ist die Flaggmethode. Dabei wird eine weiße Fahne aus Baumwollstoff mit einer Fläche von 1x1 m von einer Person über die Vegetation gezogen und dann nach Zecken abgesucht. Meist wird so die Zeckenaktivität pro 100 m² bestimmt. Dazu wird in regelmäßigen Abständen (alle 10 m) die Fahne umgedreht und die Zecken abgesammelt und für den Transport ins Labor in einem Röhrchen aufbewahrt (Vogelgesang 2017). Optimalerweise wird die Flaggmethode nur an trockenen Tagen angewendet. Bei Frost, Schnee oder Dauerregen wird man mit dieser Methode wenige bis keine Zecken sammeln.

Anfang 2018 wurde in Deutschland eine bis dato einzigartige Feldstudie gestartet. An 86 Standorten werden mit der standardisierten Flaggmethode Zecken pro 100 m² monatlich

gesammelt. Damit wird ein Datensatz mit monatlichen Dichten von *I. ricinus*-Zecken erstellt. Dieser Datensatz wird anschließend unter anderem für die Modellierung von Zeckendichtekarten verwendet. Des Weiteren können damit Aussagen über die Artenvielfalt der Zecken in Deutschland und das Vorkommen und die Verbreitung der erst kürzlich beschriebenen *Ixodes*-Spezies *I. inopinatus* getätigt werden. An dieser deutschlandweiten Feldstudie sind fünf Arbeitsgruppen von der Universität Hohenheim, Universität Leipzig, der Tierärztlichen Hochschule Hannover, der Veterinärmedizinischen Universität Wien und der Firma Tick-Radar aus Berlin beteiligt.

2. Material und Methode

2.1 Feldstudie

Für die Feldstudie wurden 24 Untersuchungsgebiete in ganz Deutschland definiert und innerhalb dieser Untersuchungsgebiete 86 Standorte, an denen Zecken gesammelt werden, festgelegt. Für die hier präsentierte Auswertung und Analyse wurden jedoch 12 Standorte aufgrund von Standortwechseln im Frühjahr 2019 ausgeschlossen.

2.1.1 Auswahl der Standorte

Die Untersuchungsgebiete (Radius jeweils ca. 20 km) wurden so gewählt, dass die Standorte eines Untersuchungsgebiets innerhalb eines Tages angefahren werden können. Pro Untersuchungsgebiet wurden zwei bis drei Standorte definiert. Hierbei wurde darauf geachtet, dass die Standorte in unterschiedlichen Landklassen (d. h. eine unterschiedliche Landbedeckung oder -nutzung aufweisen) liegen. Dazu wurde der Datensatz des CORINE-Programms (*Coordination of Information on the Environment*) der Europäischen Umweltbehörde (*European Environment Agency*) verwendet (Europäische Umweltagentur 2019). Dieser Datensatz unterteilt basierend auf Satellitendaten die Landbedeckung und -nutzung in 44 verschiedene Klassen, die in fünf Übergruppen und 15 Untergruppen zusammengefasst sind. Der Datensatz hat eine räumliche Auflösung von 30 arcsec, das einer Gitterzellengröße von 0,55 km² (Spannweite 0,49–0,60) entspricht. Im Rahmen der Feldstudie wurden folgende Landklassen verwendet:

- (A) Landwirtschaftlich genutzte Flächen (*agricultural areas*) mit u. a. Ackerflächen, Grünland, heterogene landwirtschaftliche Flächen
- (B) Laubwald (*broad-leaved forest*)
- (C) Nadelwald (*coniferous forest*)
- (M) Mischwald (*mixed-forest*)
- (U) Urbane Flächen (*urban areas*) mit u. a. städtischen Grünflächen, Sport- und Freizeitanlagen.

Diese Klassifikation wurde bereits in den Arbeiten von Boehnke et al. (2015) und Brugger et al. (2016) angewendet. In Abb. 5 ist die Verteilung der 74 hier analysierten Standorte sowie die dazugehörige Landklasse dargestellt. In Tab. 1 sind die Standorte gemeinsam mit den geographischen Koordinaten und Landklasse aufgelistet. Die Standorte wurden bewusst so gewählt, dass alle fünf Landklassen in der Feldstudie repräsentiert sind. Der Landklasse B

wurden 23 Standorte zugeordnet, der Landklasse C 16 und den Landklassen M und A jeweils 13. In der Landklasse U sind mit neun Standorten die wenigsten Untersuchungsorte zu finden.

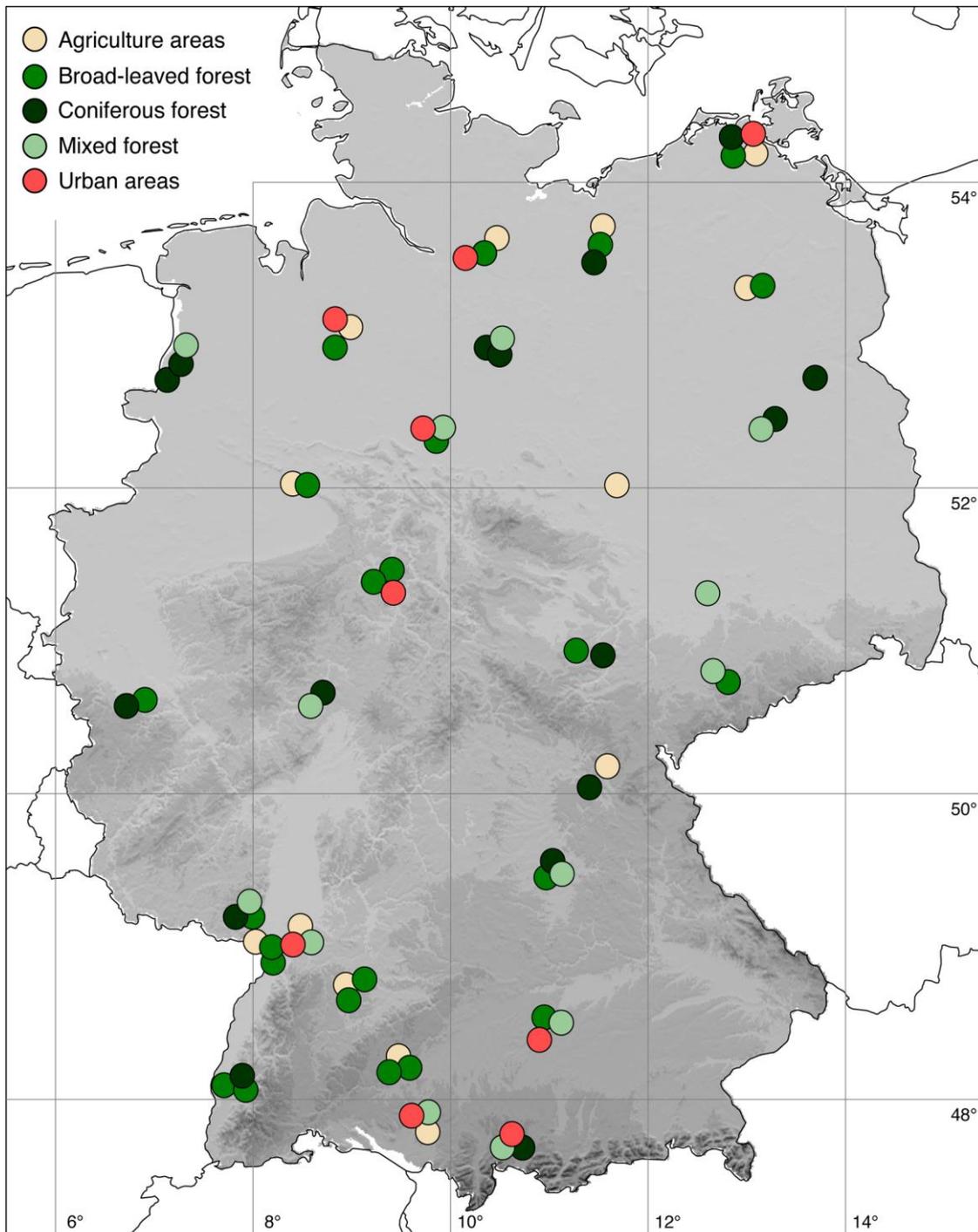


Abb. 5: Karte mit den Standorten der Feldstudie, an denen seit Anfang 2018 monatlich Zecken gesammelt werden.

Tab. 1: Auflistung der Standorte, an denen monatlich Zecken im Rahmen der Feldstudie gesammelt werden. Die Standorte wurden nach Bundesländern gruppiert (RLP – Rheinland-Pfalz, HB – Bremen, NI – Niedersachsen, HE – Hessen, ST – Sachsen-Anhalt, SN – Sachsen, TH – Thüringen, BY – Bayern, NRW – Nordrhein-Westfalen, BE – Berlin, HH – Hamburg, BW – Baden-Württemberg, MV – Mecklenburg-Vorpommern).

Bundesland	Standort	Abkürzung	Geograph. Länge	Geograph. Breite	Landklasse
RLP	Förlenberg	B-RLP	49.19675	7.99719	B
RLP	Rehberg	M-RLP	49.18494	7.96517	M
RLP	Rotenberg	C-RLP	49.19539	7.92389	C
HB	Bürgerpark	BRb	53.10613	8.83187	U
HB	Skye	BRs	52.92057	8.83058	B
HB	Oyten	BRo	53.05402	8.98797	A
NI	Wesuwe	EMw	52.75893	7.19202	C
NI	Lathen	EMl	52.87470	7.32222	M
NI	Emen	EMe	52.81332	7.27183	C
NI	Kolshorn	HNk	52.39643	9.92700	M
NI	Bockmerholz	HNb1	52.30950	9.85687	B
NI	Ricklingen	HNr	52.33153	9.72250	U
HE	Erlenloch	KSe	51.34637	9.40820	B
HE	Niederelsungen	KSn	51.38783	9.22092	B
HE	Wilhelmshöhe	KSw	51.31645	9.42185	U
NI	Ebstorfer Straße	UEe	52.97978	10.52490	M
NI	Hamerstorf	UEh	52.91982	10.46478	C
NI	B4	UEb	52.87492	10.49918	C
ST	Magdeburg A	MA_a	52.01995	11.68524	A
SN	Chemnitz M	CH_m	50.84397	12.80919	M
SN	Chemnitz B	CH_b	50.83205	12.81161	B
SN	Leipzig B	LE_b	51.31313	12.60336	M
TH	Jena M	JE_m	50.90712	11.54318	C
TH	Erfurt B	ER_b	50.93748	11.18368	B
BY	Kulmbach A	KU_a	50.11122	11.58877	A
BY	Kulmbach C	KU_c	50.04334	11.48753	C
HE	Giessen C	GI_c	50.56223	8.70847	C
HE	Giessen M	GI_m	50.57568	8.71457	M
NRW	Euskirchen B	EU_b	50.61530	6.80623	B
NRW	Euskirchen C	EU_c	50.57524	6.71900	C
BE	Danewitz	BEd	52.72248	13.69309	C
BE	Parforceheide	BEp	52.38698	13.14717	M
BE	Wannsee	BEw	52.41303	13.18741	C

NRW	In der Howe	Blh	52.02991	8.40206	A
NRW	Olderdissen	Blo	52.02112	8.49087	B
HH	Basthorst	HHb	53.58682	10.47022	A
HH	Sachsenwald	HHs	53.53829	10.34362	B
HH	Willinghusener Weg	HHw	53.55648	10.21143	U
BW	Hardtwald	KAh	49.13585	8.48051	A
BW	Schlossgarten	KAs	49.01403	8.40503	U
BW	Waldstadt	KAw	49.02890	8.42224	M
MV	Kalkhorst	MSk	53.32495	13.06174	B
MV	Groß Quassow	MSq	53.31090	12.99976	A
RLP	Kapsweyer	RPk	49.03294	8.02742	A
RLP	Sandbuckel	RPs	48.99617	8.20456	B
RLP	Viehunger Allee	RPv	48.98759	8.15063	B
MV	Kummerow	STk	54.29852	12.84586	C
MV	Nienhagen	STn	54.25487	12.96303	B
MV	Pütter See	STp	54.28997	12.99094	A
MV	Stadtwald	STs	54.31881	13.06643	U
MV	Hasenhäge	SWh	53.51761	11.45359	C
MV	Pinnower See	SWp	53.59293	11.51830	B
MV	Stettiner See	SWs	53.71416	11.54353	A
BY	Ostallgäu C	OAc	47.68555	10.73063	C
BY	Ostallgäu M	OAm	47.68746	10.68720	M
BY	Ostallgäu U	OAu	47.77483	10.62319	U
BY	Erlangen C	ERc	49.56105	11.03488	C
BY	Erlangen B	ERb	49.45400	10.96967	B
BY	Erlangen M	ERm	49.50720	11.12925	M
BY	Schrobenhausen B	SRb	48.53786	10.94867	B
BY	Schrobenhausen M	SRm	48.50344	10.93205	M
BY	Schrobenhausen U	SRu	48.39137	10.90039	U
BW	Biberach A	BBa	47.88719	9.76962	A
BW	Biberach M	BBm	47.91706	9.77627	M
BW	Biberach U	BBu	47.92468	9.75710	U
BW	Botnang A	BOa	48.67053	8.93919	A
BW	Botnang B	BOb	48.65032	8.96983	B
BW	Botnang t	BOt	48.78698	9.13020	B
BW	Emmendingen B	EMb	48.09413	7.79680	B
BW	Emmendingen C	EMc	48.15609	7.89157	C
BW	Emmendingen t	EMt	48.11354	7.82730	B
BW	Zwiefalten A	ZWa	48.28364	9.47399	A
BW	Zwiefalten B	ZWb	48.24834	9.48738	B
BW	Zwiefalten t	ZWt	48.24916	9.45935	B

2.1.2 Flaggen der Zecken

Jeder Standort hat eine Fläche von 2–4 ha, damit die Flagg-Strecke bei jedem Flaggtermin zufällig gewählt werden kann. Diese Vorgehensweise verhindert, dass die Zecken auf den beflaggten Flächen (Transects) durch die regelmäßige Entnahme aktiver Individuen zu stark dezimiert werden und die Ergebnisse so nicht mehr repräsentativ sind. Die Zeckendichte wird bei jedem Termin jeweils pro 100 m² bestimmt, das entspricht 10 Flaggzügen à 10 m.

Zecken wurden in den Jahren 2018 und 2019 monatlich von Februar bis November an jedem Standort mit der standardisierten Flagg-Methode gesammelt. Dazu wurde ein weißer Baumwollstoff mit den Maßen 1x1 m über die Vegetation einer Fläche von 100 m² gestreift. Durch die Flagg-Methode werden nur wirtsuchende Zeckenstadien, die einen kleinen Teil der Zeckenpopulation darstellen (Dobson 2014), eingesammelt. Aber genau jene wirtsuchenden Zeckenstadien sind ausschlaggebend für die Übertragung von Krankheitserregern, weshalb die Flagg-Methode als Sammelmethode für diese Feldstudie ausgewählt wurde. Die gesammelten Zecken wurden bestimmt (Art und Stadium) und gezählt. Anschließend wurden sie bei -80 °C für spätere Pathogenbestimmungen aufbewahrt.

2.2 Statistische und graphische Auswertung

In einem ersten Schritt wurde aus den Datensätzen der fünf Arbeitsgruppen, die an dieser Feldstudie beteiligt sind, ein einheitlicher Datensatz zusammengestellt. Dieser Datensatz beinhaltet für jeden Standort die Anzahl der monatlich gesammelten Zecken unterteilt in Spezies (z. B. *I. ricinus*, *I. inopinatus*, *D. reticulatus*, ...) und Stadium (Nymphen, weibliche Adulte, männliche Adulte). Zusätzlich wurden die Meta-Daten wie geographische Koordinaten, Landklasse, Arbeitsgruppe und Sammeltermine in einer eigenen Datei zusammengefasst. Beide Datenfiles liegen als EXCEL-Files vor.

In der hier vorliegenden Arbeit wurde der Datensatz für *I. ricinus* und *I. inopinatus* Nymphen (zusammengefasst als *Ixodes ricinus* Komplex) analysiert. Mit dem Microsoftprogramm EXCEL und dem *opensource*-Programm R wurde der Datensatz ausgewertet und graphisch dargestellt. Als erstes wurden Mittelwerte und Standardabweichungen für die Jahre 2018 und 2019, sowie für die einzelnen Landklassen berechnet.

Des Weiteren wurde der Datensatz zur Zeitreihendarstellung als Blockdiagramme (mittels EXCEL) und Mondrian-Matrix-Plots (mittels R) graphisch aufgearbeitet. Durch das

Erstellen eines Mondrian-Matrix-Plots können die Daten durch unterschiedliche Farbgebung der monatlichen Nymphendichten besser visualisiert werden und Gemeinsamkeiten, Unterschiede, Ausreißer, sowie Verteilungsmuster schneller erkannt werden (Theus 2002, Meiswinkel et al. 2014). Die Mondrian-Matrix zeigt die monatlichen Nymphendichten von 2018 bis 2019 der einzelnen Standorte, pro Landklasse und nach Breitengrad absteigend geordnet.

Zusätzlich wurden die Korrelationskoeffizienten zwischen den Standorten berechnet, um zu untersuchen in wie weit die Zeitreihen zusammenhängen. Dabei wurde der Korrelationskoeffizient nach Pearson verwendet, um den linearen Zusammenhang zwischen den zwei Variablen x und y zu bestimmen (Universität Zürich 2020). Die Variable x entspricht hier der Zeitreihe der Nymphendichte an einem Standort und y an einem anderen Standort.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2) (\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2)}}$$

Je stärker die Zeitreihen zweier Standorte miteinander korrelieren, desto näher liegt der Korrelationskoeffizient bei dem Absolutwert von 1. Ein Wert von 0 bedeutet daher, dass keine Korrelation festgestellt werden kann (Weiß 2019). Die Korrelation wurde mit der EXCEL-Funktion `KORREL()` berechnet.

Ob die Korrelationskoeffizienten signifikant sind, wurde anhand der kritischen Korrelation $r(\text{krit})$ geprüft.

$$r(\text{krit}) = \frac{1}{\sqrt{\frac{\nu}{t^2} + 1}}$$

Damit wird untersucht, ob sich der Korrelationskoeffizient sich zufällig von Null unterscheidet. Als Irrtumswahrscheinlichkeit wurde $\alpha = 0,05$ verwendet. Die Freiheitsgrade ν sind als $n-2$ definiert. Die Stichprobengröße n betrug 20, die Anzahl der geflaggtten Monate (2 Jahre x 10 Monate). Die Testgröße t wurde mit der EXCEL-Funktion `t = TINV(α ; ν)` berechnet (Rubel et al. 2020). Der Korrelationskoeffizient zwischen zwei Standorten gilt als signifikant, wenn der berechnete Korrelationskoeffizient die kritische Korrelation $r(\text{krit})$ übersteigt. Für $r(\text{krit})$ wurde ein Wert von 0,44 berechnet. Um die einzelnen Korrelationskoeffizienten einer Landklasse möglichst kompakt und übersichtlich darzustellen wurden sie als Korrelationsmatrix gezeichnet. Diese Graphiken wurden mit dem R-Package `corrplot` erstellt.

3. Ergebnisse

In einem ersten Schritt wurden die Datensätze der verschiedenen Arbeitsgruppen in einem EXCEL-File zusammengeführt. Dieser Datensatz mit 74 Standorten wurde im Folgenden verwendet um zu untersuchen, mit welcher Darstellung sich solche komplexen Datensätze am besten darstellen lassen. Dazu wurden die Daten als tabellarische Ansicht sowie Zeitreihendarstellungen (Balkendiagramm und Mondrian-Matrix-Plots) aufgearbeitet. Zusätzlich wurden Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet, um die Standorte bzw. die Unterschiede zwischen den Standorten zu beschreiben. Abschließend wurden durch Korrelationsrechnungen mögliche Zusammenhänge zwischen den Standorten untersucht.

3.1 Mittlere Zeckendichte pro Standort und Landklasse

Der Jahresgang der Zeckendichte (Nymphen/100 m²) gemittelt über alle 74 Standorte bzw. pro Landklasse ist in Abb. 6 bzw. Tab. 2 dargestellt. Es zeigt sich, dass im Jahr 2019 mit 16.851 Nymphen über 36 % mehr als im Jahr 2018 (n=12.364) gesammelt wurden. Dies entspricht einem Jahresmittelwert von 17,3 Nymphen/100 m² pro Standort im Jahr 2018 und 22,9 Nymphen/100 m² pro Standort im Jahr 2019. Die meisten Zecken (69,5 %) wurden in den Monaten April bis Juni gesammelt. Die durchschnittlich höchste Zeckendichte wurde im Mai mit 46 Nymphen/100 m² beobachtet. Während im Februar 2018 durchschnittlich nur 0,03 Nymphen/100 m² geflaggt wurden betrug der Mittelwert im Februar 2019 bereits 3,6 Nymphen/100 m². Diese Beobachtungen sprechen für eine deutlich frühere Nymphenaktivität im Jahr 2019. Insgesamt zeigt sich ähnliches Bild sich bei der Analyse für jede Landklasse.

Im Jahr 2018 wurde der höchste monatliche Mittelwert mit 19,1 Nymphen/100 m² in der Landklasse B ermittelt und im Jahr 2019 in der Landklasse M mit 28,1 Nymphen/100 m². Der niedrigste Mittelwert des Jahres 2018 lag bei 13,5 Nymphen/100 m² in der Landklasse U. Die durchschnittliche monatliche Nymphendichte für die Periode 2018–2019 war in der Landklasse A mit 18,6 geflaggt Nymphen/100 m² am niedrigsten. Nur in der Landklasse B wurden im Jahr 2019 im Vergleich zum Vorjahr weniger Nymphen gesammelt. In den restlichen Landklassen wurden im Jahr 2019 durchschnittlich mehr Nymphen geflaggt als im Jahr 2018. Wird der monatliche Durchschnitt beider Jahre berechnet, wurden die meisten Nymphen/100 m² in der Landklasse Mischwald mit einem Mittelwert von 23,4 geflaggt.

Tab. 2: Mittlere monatliche Zeckendichte (Nymphen/100 m²) gemittelt über alle 74 Standorte bzw. über die Landklassen A, B, C, M und U.

	Alle	Landklasse				
	Standorte	A	B	C	M	U
01.2018	-	-	-	-	-	-
02.2018	0,0 ± 0,2	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0	0,1 ± 0,3	0,0 ± 0,0	0,1 ± 0,3
03.2018	8,1 ± 13,9	9,2 ± 18,3	8,8 ± 16,8	5,8 ± 10,6	7,5 ± 9,1	8,9 ± 11,8
04.2018	33,9 ± 38,8	39,6 ± 50,4	31,9 ± 29,3	31,8 ± 21,1	43,5 ± 55,6	23,9 ± 40,8
05.2018	31,8 ± 32,3	24,2 ± 32,5	37,6 ± 36,4	38,1 ± 29,0	31,5 ± 28,6	21,3 ± 32,8
06.2018	32,4 ± 39,7	31,5 ± 39,0	37,4 ± 47,0	25,0 ± 25,5	39,5 ± 35,0	28,1 ± 36,0
07.2018	22,7 ± 37,2	15,5 ± 28,6	32,3 ± 55,2	22,5 ± 24,3	19,5 ± 24,1	17,3 ± 26,4
08.2018	14,3 ± 21,8	17,4 ± 27,1	17,4 ± 25,7	14,1 ± 19,6	9,5 ± 15,7	11,3 ± 16,1
09.2018	13,4 ± 24,4	15,1 ± 23,2	16,0 ± 33,0	11,4 ± 15,1	10,7 ± 22,4	13,4 ± 20,1
10.2018	9,3 ± 13,3	7,3 ± 9,1	10,4 ± 12,7	9,4 ± 10,1	12,2 ± 22,7	6,3 ± 7,5
11.2018	2,6 ± 5,7	1,8 ± 2,7	1,7 ± 2,6	2,4 ± 4,3	4,0 ± 6,2	4,7 ± 12,9
12.2018	-	-	-	-	-	-
01.2019	-	-	-	-	-	-
02.2019	3,6 ± 7,0	2,5 ± 4,8	3,4 ± 9,0	4,6 ± 7,8	4,9 ± 6,2	2,3 ± 3,3
03.2019	3,6 ± 7,0	34,7 ± 34,7	14,6 ± 27,8	31,3 ± 41,6	42,8 ± 83,1	29,3 ± 45,4
04.2019	35,6 ± 50,2	35,5 ± 39,0	21,5 ± 24,0	38,4 ± 38,1	55,3 ± 83,8	41,1 ± 67,5
05.2019	61,6 ± 82,4	56,2 ± 58,5	60,8 ± 107,3	62,3 ± 69,6	63,5 ± 61,7	74,6 ± 100,1
06.2019	39,7 ± 51,9	37,6 ± 50,7	35,2 ± 46,0	46,0 ± 43,8	39,0 ± 60,6	49,1 ± 73,0
07.2019	24,3 ± 36,6	20,0 ± 25,8	26,6 ± 34,0	19,5 ± 21,6	28,9 ± 56,0	29,1 ± 48,2
08.2019	18,1 ± 28,7	20,1 ± 27,1	16,6 ± 26,1	15,6 ± 26,8	18,2 ± 35,5	25,1 ± 35,1
09.2019	10,8 ± 17,4	7,2 ± 8,5	10,8 ± 19,7	11,1 ± 12,6	13,0 ± 22,0	13,6 ± 23,1
10.2019	8,2 ± 12,7	4,0 ± 5,4	6,8 ± 9,6	8,6 ± 9,2	13,9 ± 22,3	9,6 ± 13,3
11.2019	1,8 ± 5,7	1,5 ± 1,9	1,4 ± 2,9	1,3 ± 3,2	2,2 ± 4,0	4,1 ± 7,8
12.2019	-	-	-	-	-	-
Anzahl Nymphen	29.215	4.768	8.543	6.270	5.914	3.720
Anzahl Standorte	74	13	23	16	13	9
MW ± SD 2018	17,3 ± 29,2	16,5 ± 31,0	19,1 ± 33,6	16,7 ± 21,9	18,5 ± 30,0	13,5 ± 25,8
MW + SD 2019	22,9 ± 44,6	20,7 ± 35,3	18,8 ± 43,9	23,6 ± 37,8	28,1 ± 53,9	27,8 ± 53,3
MW + SD gesamt	20,2 ± 37,9	18,6 ± 18,6	19,0 ± 39,2	20,2 ± 31,2	23,4 ± 44,0	20,7 ± 42,1

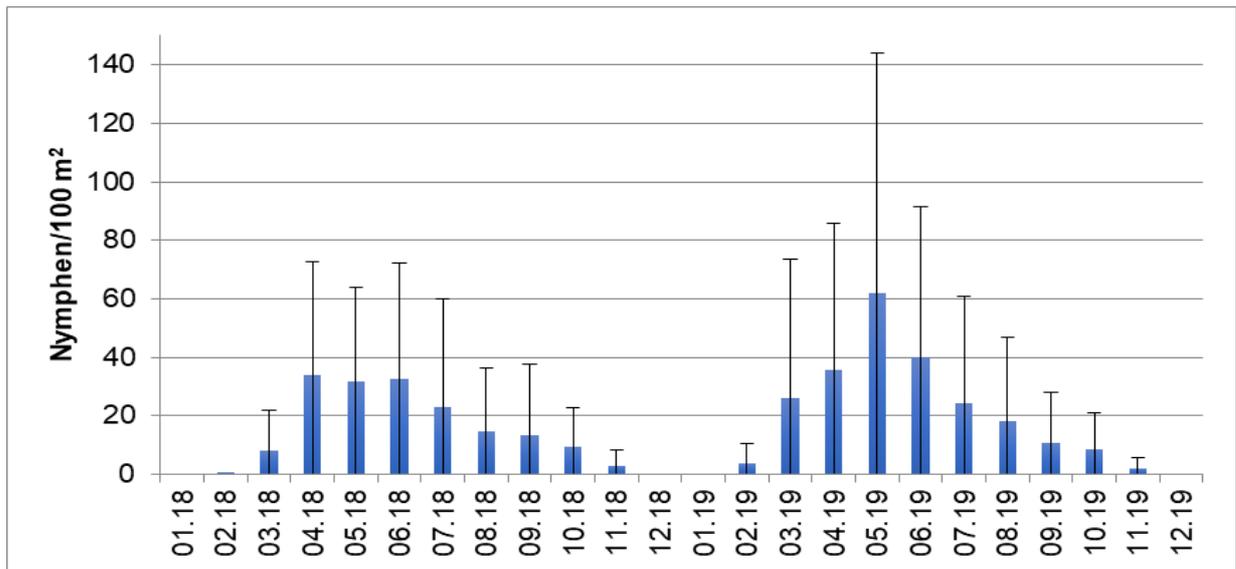


Abb. 6: Zeitreihe der der Nymphendichte (Nymphen/100 m²) gemittelt über alle 74 Standorte für die Periode 2018–2019.

3.1.1 Landklasse A

Der Mittelwert der geflaggt Nymphen/100 m² beträgt 18,6 Nymphen pro 100 m² in der Landklasse A für die Periode 2018–2019, der niedrigste Mittelwert aller Landklassen über diesen Zeitraum. Im Jahr 2019 wurden mit durchschnittlich 20,7 Nymphen/100 m² pro Monat mehr Nymphen geflaggt als im Vorjahr 2018 mit 16,5 Nymphen/100 m². In der Landklasse A sind die Mittelwerte der Monate Februar, März, Mai, Juni, Juli und August im Jahr 2019 höher als im Jahr 2018, nur in den Monaten April, September, Oktober und November wurden im Jahr 2018 höhere Mittelwerte verzeichnet. Die insgesamt meisten Nymphen/100 m² wurden im Mai 2019 geflaggt, mit einem Mittelwert von 56,2. Der höchste Mittelwert im Jahr 2018 betrug 39,6 Nymphen/100 m² und wurde im Monat April verzeichnet. Diese Landklasse spiegelt die Erkenntnisse der Monatsmittelwerte aller Landklassen wieder, denn auch in dieser Landklasse alleine wurden im Februar 2018 keine Nymphen gefunden, während der monatliche Durchschnitt im Jahr 2019 2,5 Nymphen/100 m² betrug.

3.1.2 Landklasse B

In der Landklasse B beträgt der Mittelwert 19,0 geflaggte Nymphen/100 m² für die Periode 2018–2019. Mit einem Jahresmittelwert von 19,1 wurden im Jahr 2018 durchschnittlich mehr Nymphen geflaggt als im Jahr 2019 mit einem Mittelwert von 18,8. Der Mittelwert des Jahres 2018 ist somit der Höchste aller Landklassen im Jahr 2018 und ist konträr zu den

Beobachtungen der restlichen Landklassen, in denen der Mittelwert des Jahres 2019 stets den des Jahres 2018 überstieg. Der Jahresmittelwert 2019 ist hingegen der niedrigste aller Landklassen im Jahr 2019. In der Landklasse B wurde im Gegensatz zur Landklasse A beobachtet, dass der Großteil der monatlichen Mittelwerte des Jahres 2018, nämlich in den Monaten April, Juni, Juli, August, September, Oktober und November, die monatlichen Mittelwerte des Folgejahrs 2019 übersteigt. Auch in dieser Landklasse wurden im Mai 2019 die meisten Nymphen/100 m² geflaggt, mit einem Mittelwert von 60,8. Der höchste Mittelwert im Jahr 2018 betrug 37,6 Nymphen/100 m² und wurde im Monat Mai verzeichnet, im Gegensatz zum höchsten Mittelwert aller Standorte des Jahres 2018 im Juni. Wie bereits in der Landklasse A wurden hier im Februar 2018 keine Nymphen gefunden, wohingegen im Februar 2019 im Mittel 3,4 Nymphen/100 m² geflaggt wurden.

3.1.3 Landklasse C

In der Landklasse C beträgt der Mittelwert der geflaggt Nymphen/100 m² 20,2 für die Periode 2018 bis 2019. Im Jahr 2019 wurden mit einem Jahresmittelwert von 23,6 deutlich mehr Nymphen/100 m² geflaggt als im Jahr 2018 mit einem Jahresmittelwert von 16,7. Es zeigt sich auch in dieser Landklasse das zuvor beobachtete Muster, nach welchem in der ersten Jahreshälfte, nämlich in den Monaten Februar, März, April, Mai, Juni und August, die monatlichen Mittelwerte im Jahr 2019 höher sind. In der zweiten Jahreshälfte hingegen, in den Monaten Juli, September, Oktober und November, wurden durchschnittlich mehr Nymphen im Jahr 2018 geflaggt. Wie bereits in der Landklasse A und B wurde der höchste Mittelwert beider Jahre im Mai 2019 mit 62,3 Nymphen/100 m² registriert. Der höchste Mittelwert im Jahr 2018 betrug 38,1 Nymphen/100 m² im Monat Mai. Auch in der Landklasse C wurden im Februar 2018 mit einem Mittelwert von 0,1 kaum Nymphen geflaggt, während die Nymphenaktivität im Februar 2019 mit einem Mittelwert von 4,6 geflaggt Nymphen/100 m² deutlich höher war.

3.1.4 Landklasse M

Der Mittelwert in der Periode 2018–2019 beträgt in der Landklasse M 23,4 geflaggte Nymphen/100 m². Somit wurden in dieser Landklasse die meisten Nymphen in diesem Zeitraum geflaggt. Mit einem Jahresmittelwert von 28,1 Nymphen/100 m² wurden im Jahr 2019 die meisten Nymphen aller Landklassen in diesem Jahr geflaggt, im Jahr 2018 war der Mittelwert mit 18,5 deutlich geringer. Anders als in den bisher besprochenen Landklassen,

kann in der Landklasse M beobachtet werden, dass der fast alle monatlichen Mittelwerte des Jahres 2019 die Mittelwerte des Jahres 2018 übersteigen. Lediglich in den Monaten Juni und November wurde im Jahr 2018 ein höherer Mittelwert im Vergleich zum Folgejahr verzeichnet. Auch in dieser Landklasse wurden im Mai 2019 die meisten Nymphen/100 m² geflaggt, mit einem Mittelwert von 63,5. Der höchste Mittelwert im Jahr 2018 betrug 43,5 Nymphen/100 m² und wurde, wie bei den Mittelwerten des Jahres 2018 aller Landklassen zusammen, im Monat April ermittelt. Im Februar 2018 wurden keine Nymphen gefunden, wohingegen der Mittelwert im Februar 2019 bereits 4,9 Nymphen/100 m² betrug. Das ist der höchste ermittelte Mittelwert aller Landklassen im Monat Februar.

3.1.5 Landklasse U

In der Landklasse U beträgt der Mittelwert 20,7 Nymphen/100 m² für den Untersuchungszeitraum 2018–2019. Im Jahr 2019 wurden mit einem Jahresmittelwert von 27,8 Nymphen/100 m² deutlich mehr Nymphen geflaggt als im Vorjahr mit einem Jahresmittelwert von 13,5, der auch der niedrigste Mittelwert aller Landklassen im Jahr 2018 war. Ähnlich der Beobachtungen der Landklasse M, wurde auch in der Landklasse U festgestellt, dass der Großteil der monatlichen Mittelwerte des Jahres 2019 die des Jahres 2018 übersteigt. Nur im Monat November wurde im Jahr 2018 ein höherer Mittelwert als im Jahr 2019 berechnet. Im Mai 2019 wurden insgesamt die meisten Nymphen, mit einem Mittelwert von 74,6 Nymphen/100 m², geflaggt. Das ist der höchste monatliche Mittelwert, der in allen Landklassen berechnet wurde. Eine weitere Besonderheit ist der höchste monatliche Mittelwert des Jahres 2018. Dieser wurde nämlich im Juni berechnet, während in den anderen Landklassen der durchschnittlich nymphenreichste Monat des Jahres 2018 in den Monaten April oder Mai festgestellt wurde. Wie bei allen anderen Landklassen wurde auch in der Klasse U im Februar 2018 mit einem Mittelwert von 0,1 selten eine Nymphe gesammelt, wohingegen im Februar des Folgejahrs im Mittel bereits 2,3 Nymphen/100 m² geflaggt wurden.

3.2 Zeitreihendarstellung der Zeckendichte pro Standort

Für jeden Standort wurden die Zeckendichten pro Monat für die Periode 2018–2019 als Balkendiagramm und Mondrian-Matrix-Plot dargestellt. Dabei wurden die Daten pro Landklasse gruppiert.

Die Balkendiagramme wurden klassisch mit EXCEL erstellt. Innerhalb der Landklassen wurden die Standorte nach dem Bundesland geordnet. Bei den Balkendiagrammen ist die Y-Achse dem Maximum der monatlichen Zeckendichte innerhalb jeder Landklasse angepasst, deshalb unterscheiden sich die Skalierungen der Y-Achsen unter den Landklassen. Wurde an einem Standort während eines Monats nicht geflaggt, so werden keine Werte angezeigt, wurde hingegen geflaggt, jedoch keine Zecke gefunden, wird der Wert 0 angezeigt.

Alternativ dazu sind die Zeitreihen als Mondrian-Matrix-Plot dargestellt. Die Plots der einzelnen Landklassen beinhalten die Flagg-Standorte nach Breitengrad absteigend geordnet, also vom nördlichsten zum südlichsten Standort. Die Kürzel für die Standorte sind in Tab. 1 aufgeschlüsselt. Die Nymphendichte jedes Monats ist in der Einheit Anzahl der geflaggt Nymphen pro 100 m² angegeben. Die Besonderheit des Mondrian-Matrix-Plots ist die farbliche Darstellung, dazu werden die Werte in log₁₀-Klassen eingeteilt. Die Farbskala erstreckt sich von 0 Nymphen/100 m² (dunkelgrün) bis 1000 Nymphen/100 m² (dunkelrot). Monate, in denen nicht geflaggt wurde, werden durch die Buchstaben NA gekennzeichnet.

3.2.1 Landklasse A

In Abb. 7 bis Abb. 10 sind die Zeitreihen der Nymphendichte an den Standorten in der Landklasse A dargestellt. Die Landklasse A umfasst alle landwirtschaftlich genutzte Gebiete (*agricultural areas*) wie Ackerland, Grünland und andere landwirtschaftliche Flächen. Auch in der Landklasse A zeigt sich – wie bereits auch bei den gemittelten Daten – ein typischer Jahresgang der Nymphenaktivität. Die Hauptaktivitätszeit ist in den Monaten April bis Juni zu beobachten.

Vergleicht man die einzelnen Standorte der Landklasse untereinander, so zeigt sich, dass am Standort Basthorst in Hamburg (Abb. 7) mit insgesamt 1.564 Nymphen in den zwei Jahren die meisten Zecken gesammelt wurden. Interessanterweise wurde an diesem Standort, im Gegensatz zu den meisten anderen Standorten der Landklasse A mehr Nymphen/100 m² im Jahr 2018 als 2019 geflaggt. Auch an den Standorten Hardtwald in Baden-Württemberg (Abb. 9), Biberach A in Baden-Württemberg (Abb. 9) und

Zwiefalten A in Baden-Württemberg (Abb. 9) wurden im Jahr 2018 mehr Nymphen/100 m² gesammelt als im Folgejahr, jedoch war die Anzahl der gesammelten Zecken sehr gering. Die restlichen neun Standorte der Landklasse A wiesen 2019 einen höheren Jahresmittelwert auf. Die wenigsten Nymphen (insgesamt 5 Nymphen innerhalb der zwei Jahre) wurden an den Standorten Biberach A und Botnang A in Baden-Württemberg (Abb. 9) geflaggt.

Der Mondrian-Matrix-Plot in Abb. 11 zeigt die gesammelten Nymphen/100 m² der einzelnen Standorte in der Landklasse A für die Periode 2018–2019. Mit dieser kompakten Darstellung ist sofort ersichtlich, dass an den Standorten in den nördlichen Bundesländern deutlich höherer Nymphendichten beobachtet wurden als an den Standorten in den südlichen Bundesländern. Der Standort HHb (Basthorst) hebt sich mit den meisten geflaggt Nymphen über beide Jahre deutlich von den anderen Standorten ab.

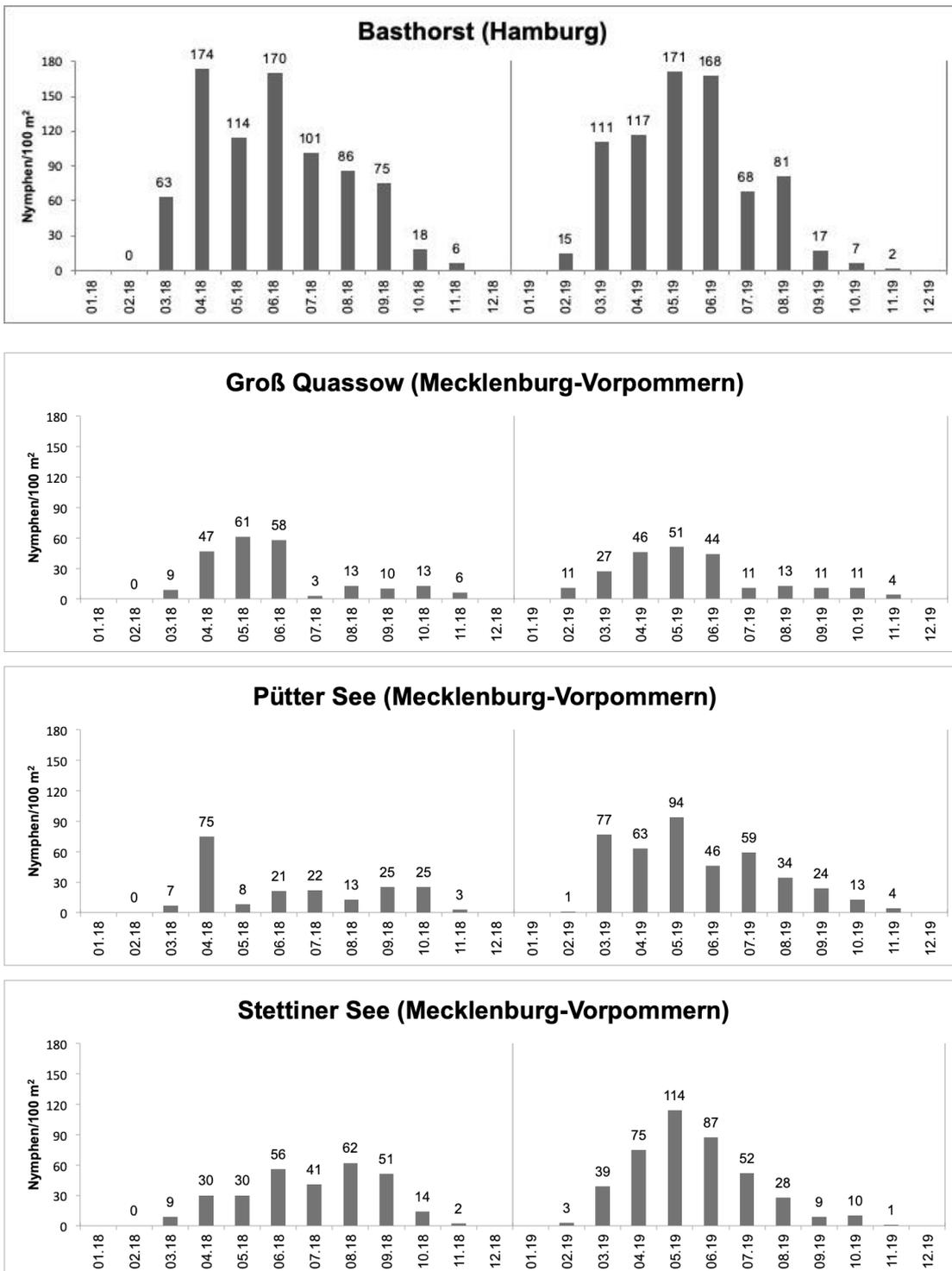


Abb. 7: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Basthorst, Groß Quassow, Pütter See und Stettiner See. Periode 2018–2019.

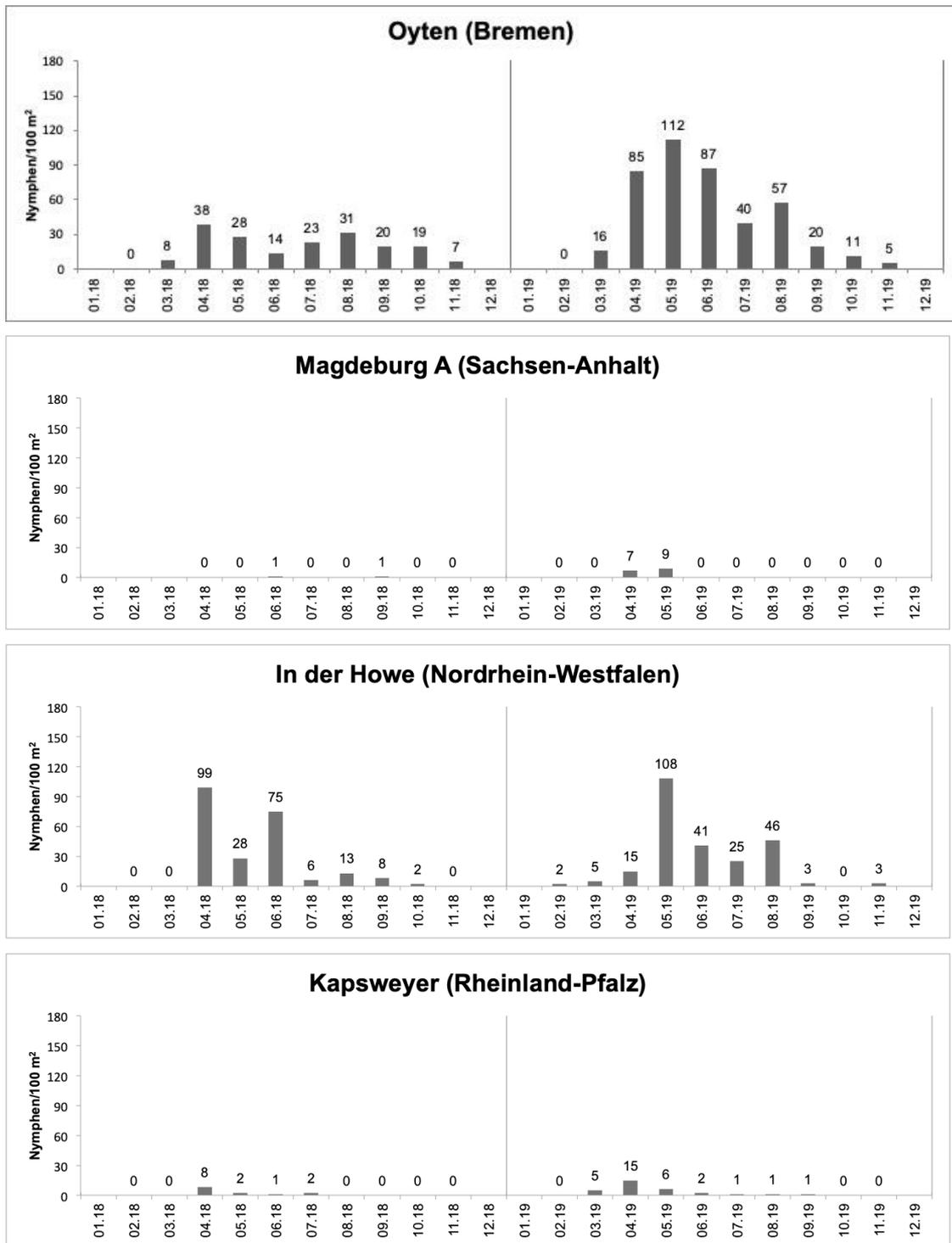


Abb. 8: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Oyten, Magdeburg A, In der Howe und Kapsweyer. Periode 2018–2019.

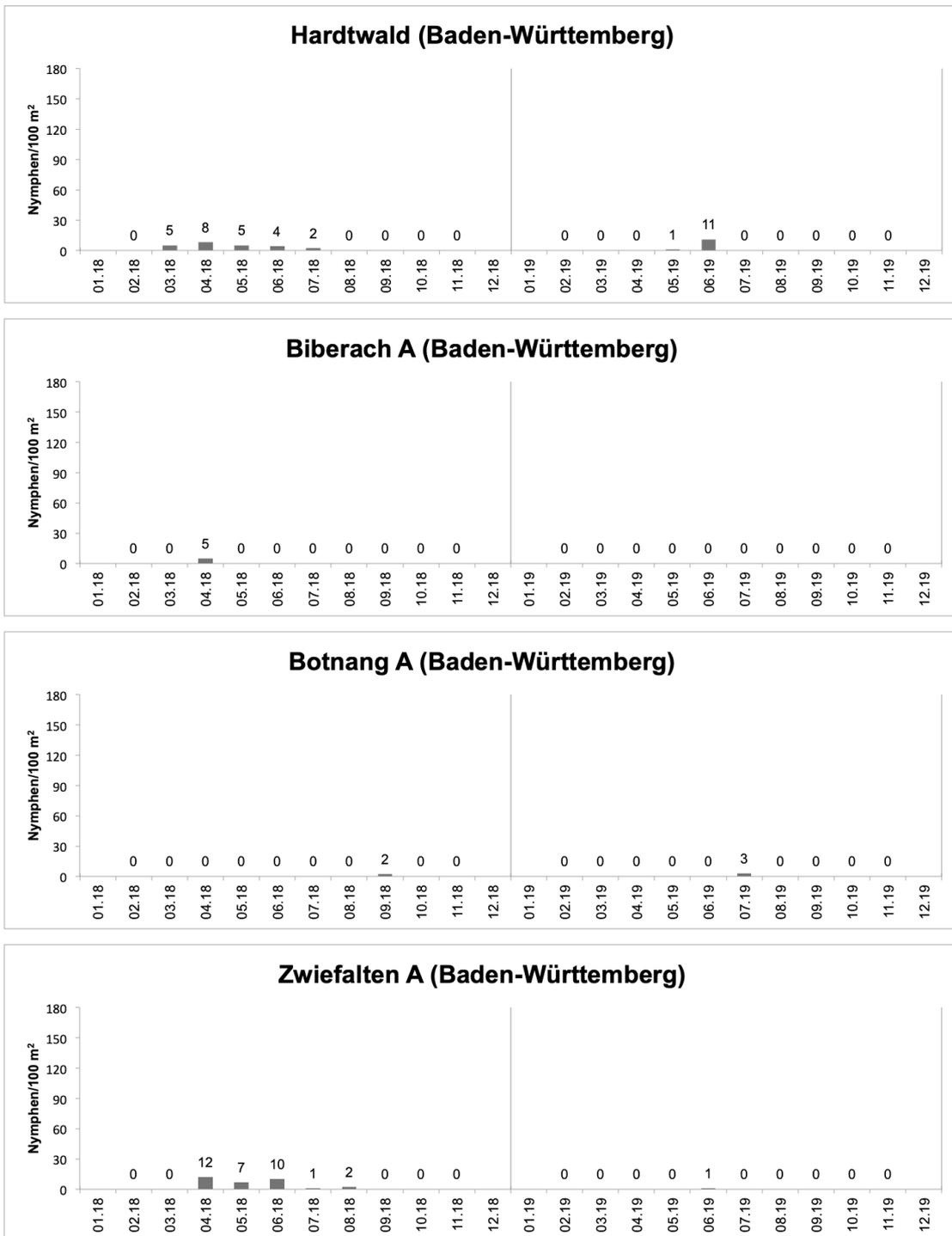


Abb. 9: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Hardtwald, Biberach A, Botnang A, Zwiefalten A. Periode 2018–2019.

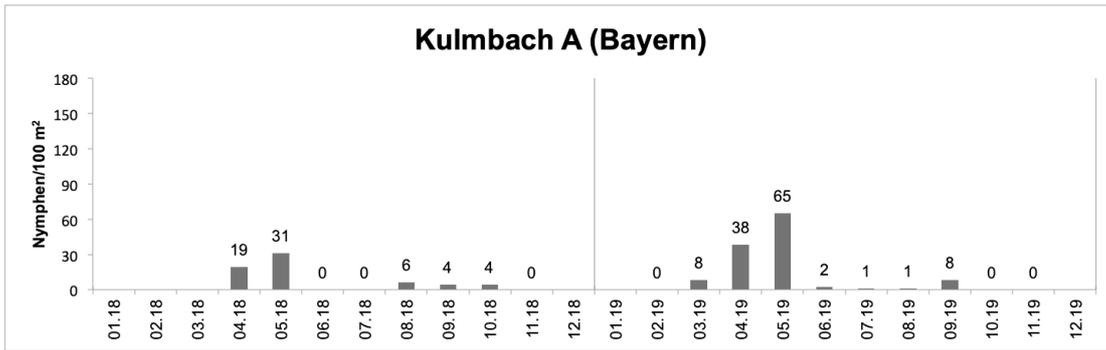


Abb. 10: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² am Standort Kulmbach A. Periode 2018–2019.

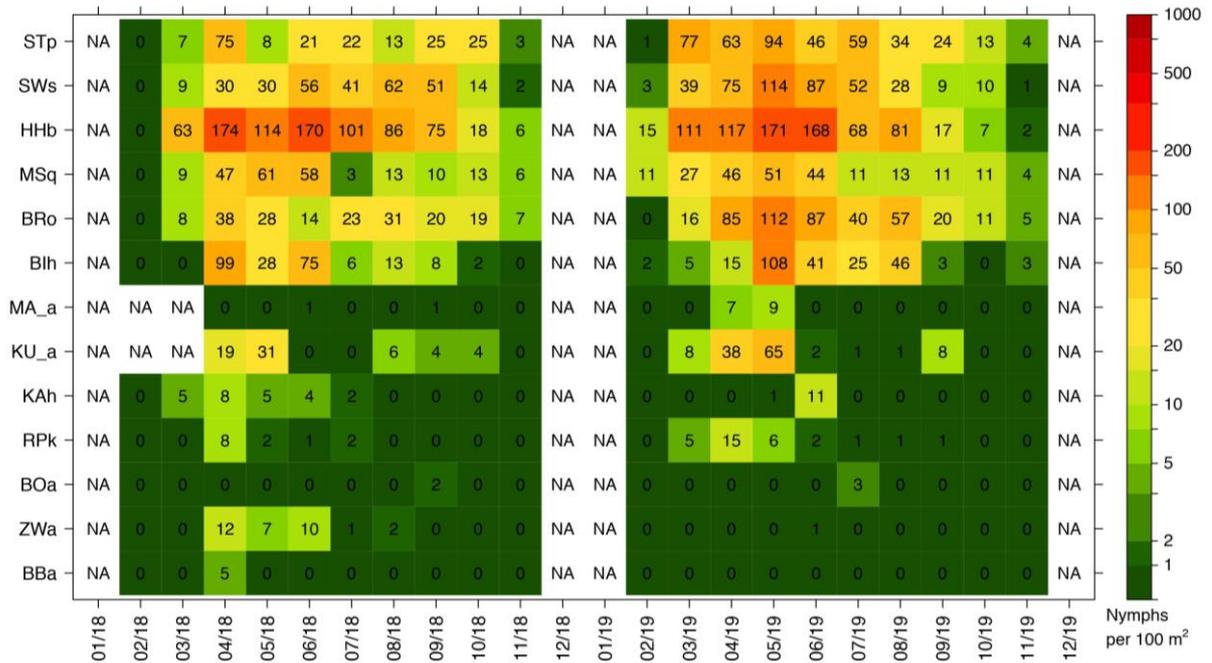


Abb. 11: Mondrian-Matrix-Plot der monatlichen Nymphendichte (Nymphen/100 m²) der Standorte in der Landklasse A. Abkürzungen der Standorte siehe Tab. 1.

3.2.2 Landklasse B

Die Zeitreihen der Nymphendichte an den Standorten in der Landklasse B, d. h. in Laubwäldern (*broad-leaved forest*) sind in Abb. 12 bis Abb. 17 dargestellt. Auch in dieser Landklasse zeigt sich die typische Hauptaktivitätszeit in den Monaten April bis Juni.

Betrachtet man die einzelnen Standorte der Landklasse, so wurden die meisten Nymphen am Standort Kalkhorst in Mecklenburg-Vorpommern (Abb. 12) mit insgesamt 1.809 Nymphen über beide Jahre geflaggt. An diesem Standort wurden mehr Nymphen im Jahr 2018 als im Jahr 2019 gesammelt (siehe auch Tab. 2). An den Standorten Bockmerholz in Niedersachsen (Abb. 13), Niederelsungen in Hessen (Abb. 14), Chemnitz B in Sachsen (Abb. 14), Viehhunger Allee in Rheinland-Pfalz (Abb. 15), Nienhagen in Mecklenburg Vorpommern (Abb. 12), Schrobenhausen B in Bayern (Abb. 17) und Emmendingen B in Baden-Württemberg (Abb. 16) wurden im Jahr 2019 mehr Nymphen/100 m² gesammelt als im Vorjahr. An den restlichen 16 Standorten dieser Landklasse wurde im Jahr 2018 eine höhere Nymphenaktivität festgestellt. Am Standort Schrobenhausen B (Abb. 17) wurde mit 493 Nymphen im Mai 2019 die meisten Zecken im Vergleich zu den anderen Standorten gesammelt. Die geringste Anzahl in dieser Landklasse mit insgesamt 26 Nymphen wurde über beide Jahre am Standort Emmendingen B gezählt (Abb. 16). Am Standort Zwiefalten t (Abb. 17) wurde im Jahr 2019 keine Nymphe geflaggt.

Die Nymphendichte der einzelnen Standorte in der Landklasse B für die Periode 2018–2019 werden mit dem Mondrian-Matrix-Plot in Abb. 18 kompakt dargestellt. Auch in dieser Landklasse ist sofort ersichtlich, dass an den Standorten in den nördlichen Bundesländern deutlich höherer Nymphendichten beobachtet wurden als an den Standorten in den südlichen Bundesländern. Auffällig sind die hohen Nymphendichten des Standorts Schrobenhausen B (SRb) im Mai 2019 und Förleberg (B-RLP) im Juli 2018, die deutlich durch die rote Farbe herausstechen.

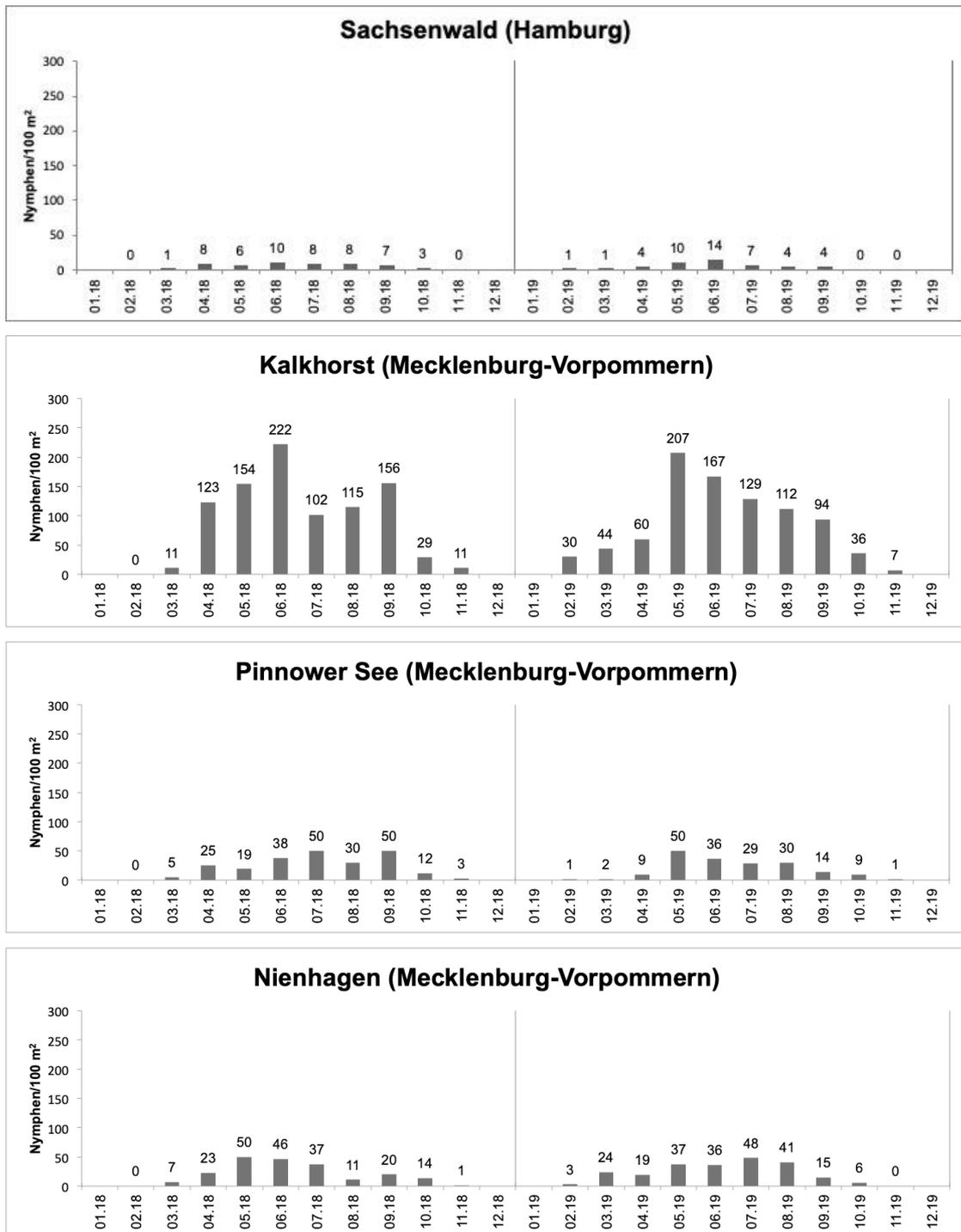


Abb. 12: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Sachsenwald, Kalkhorst, Pinnower See und Nienhagen. Periode 2018–2019.

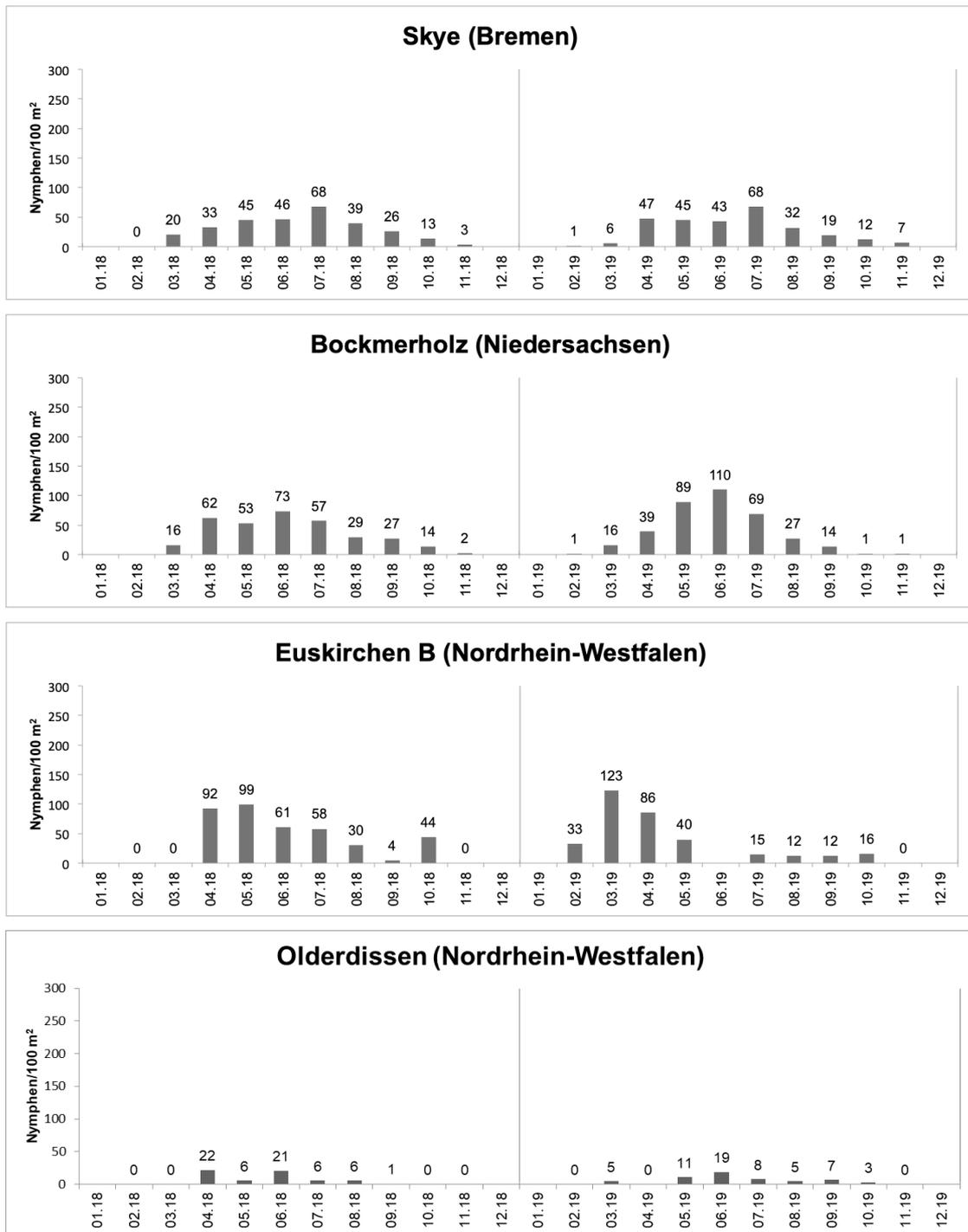


Abb. 13: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Skye, Bockmerholz, Euskirchen B und Olderdissen. Periode 2018–2019.

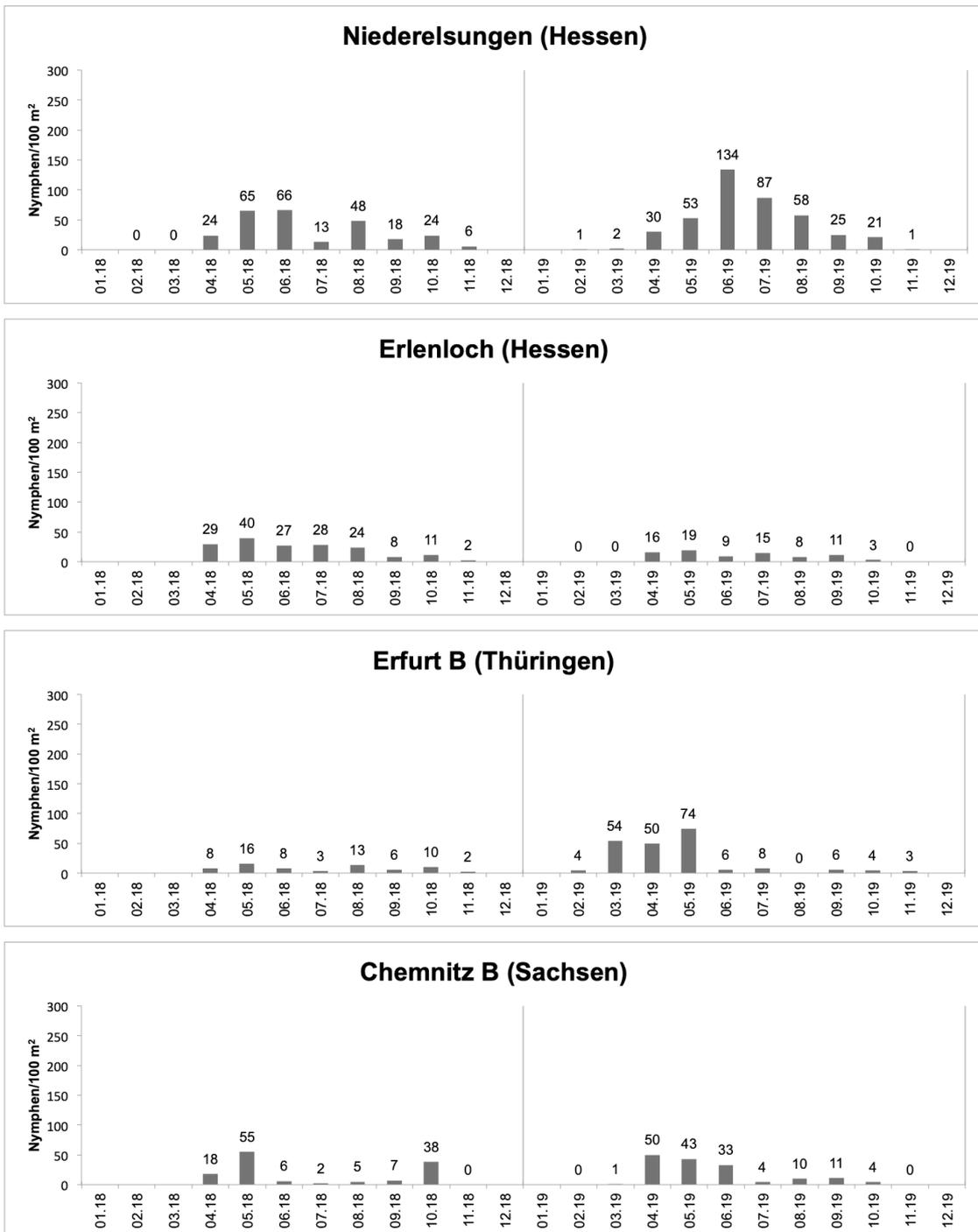


Abb. 14: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Niederelsungen, Erlenloch, Erfurt B und Chemnitz B. Periode 2018–2019.

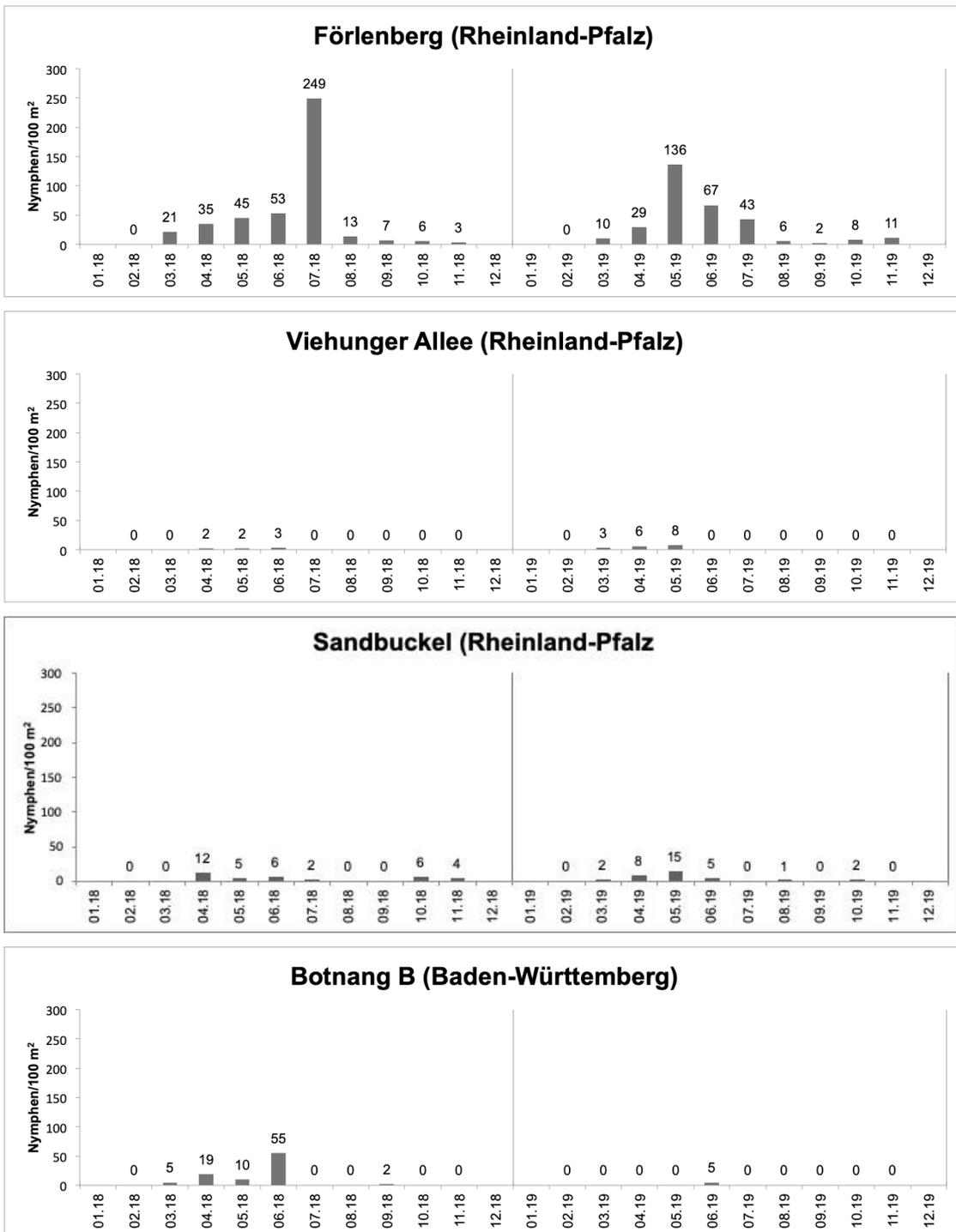


Abb. 15: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Förlenberg, Viehunger Allee, Sandbuckel und Botnang B. Periode 2018–2019.

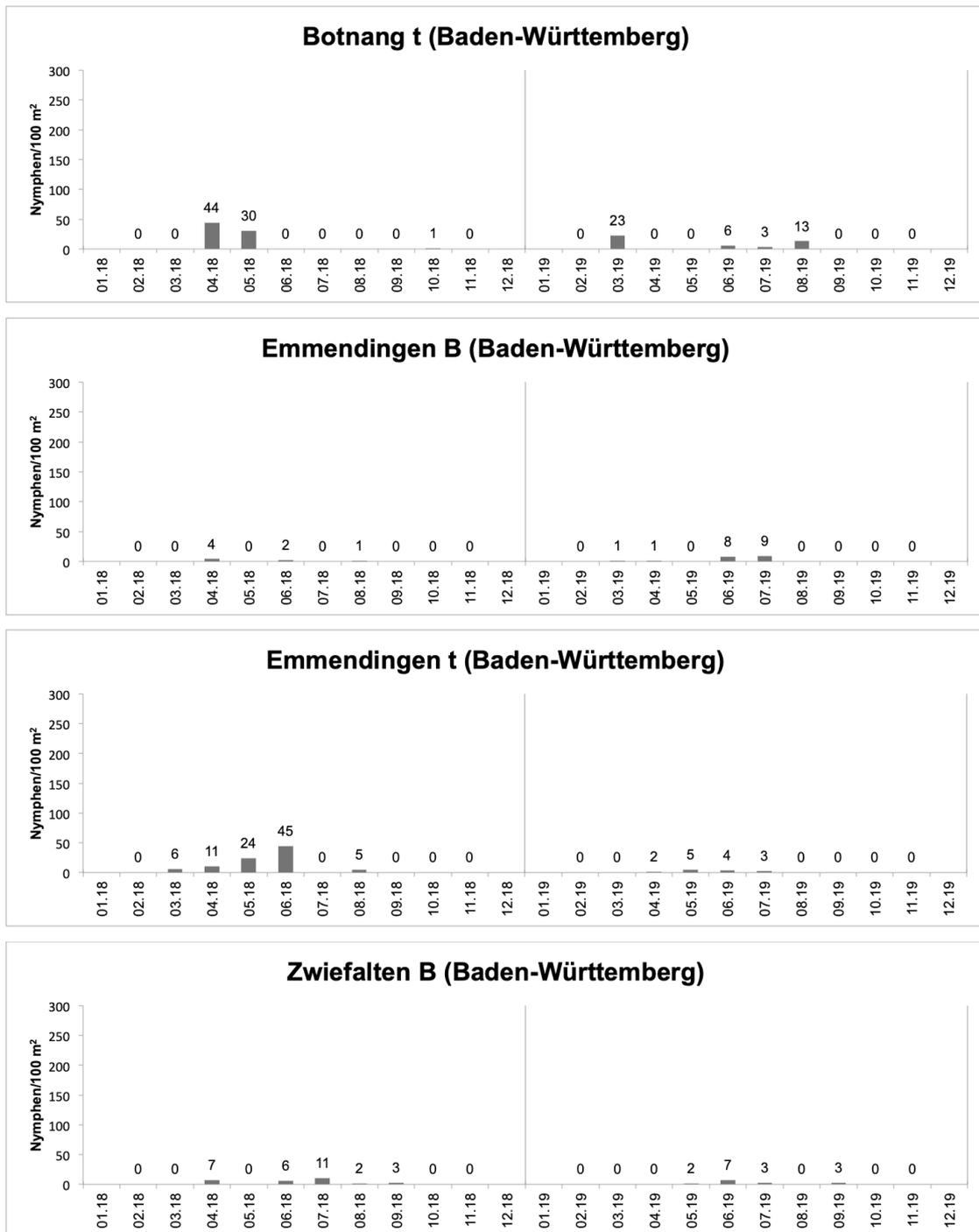


Abb. 16: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Botnang t, Emmendingen B, Emmendingen t und Zwiefalten B. Periode 2018–2019.

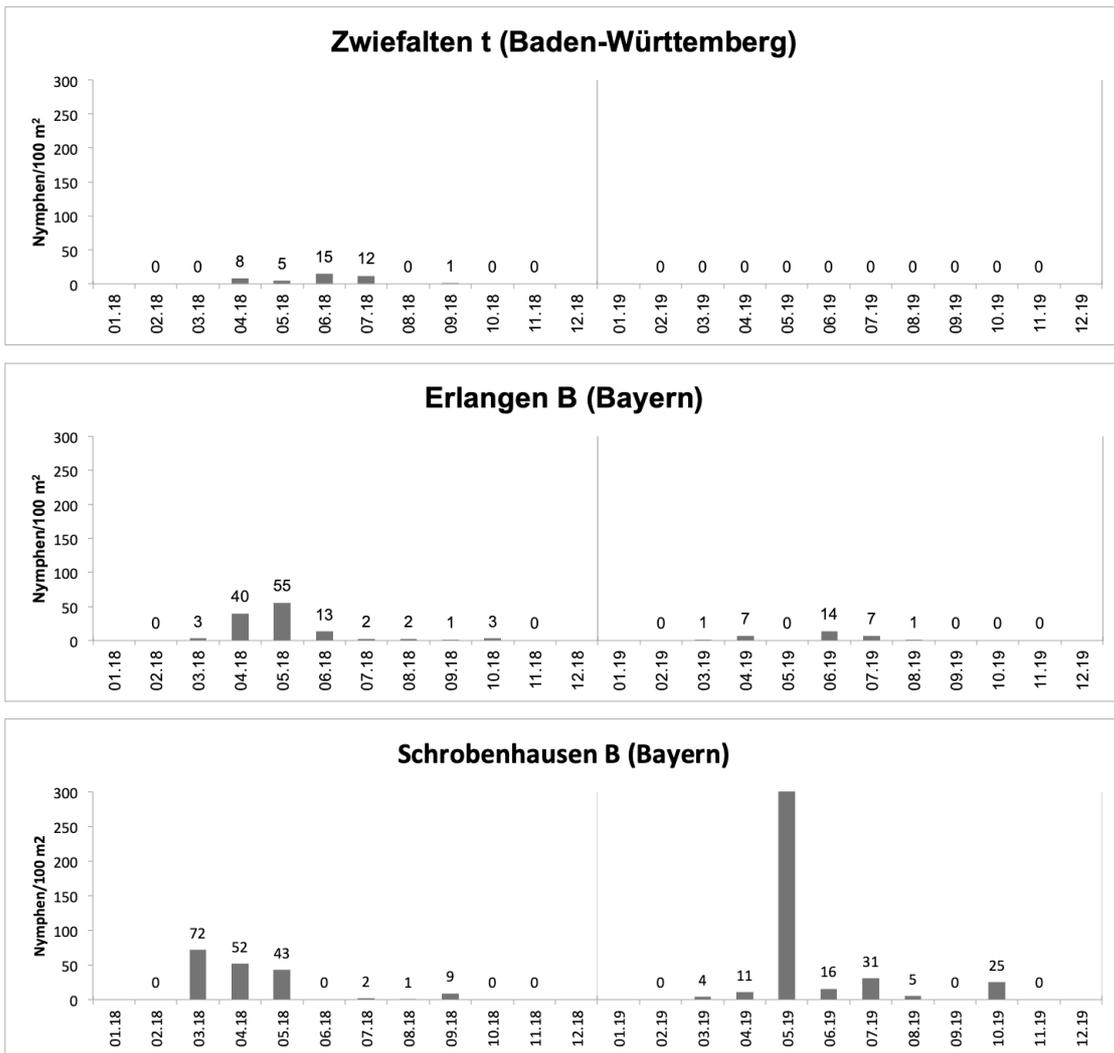


Abb. 17: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Zwiefalten t, Erlangen B und Schrobenhausen B. Periode 2018–2019.

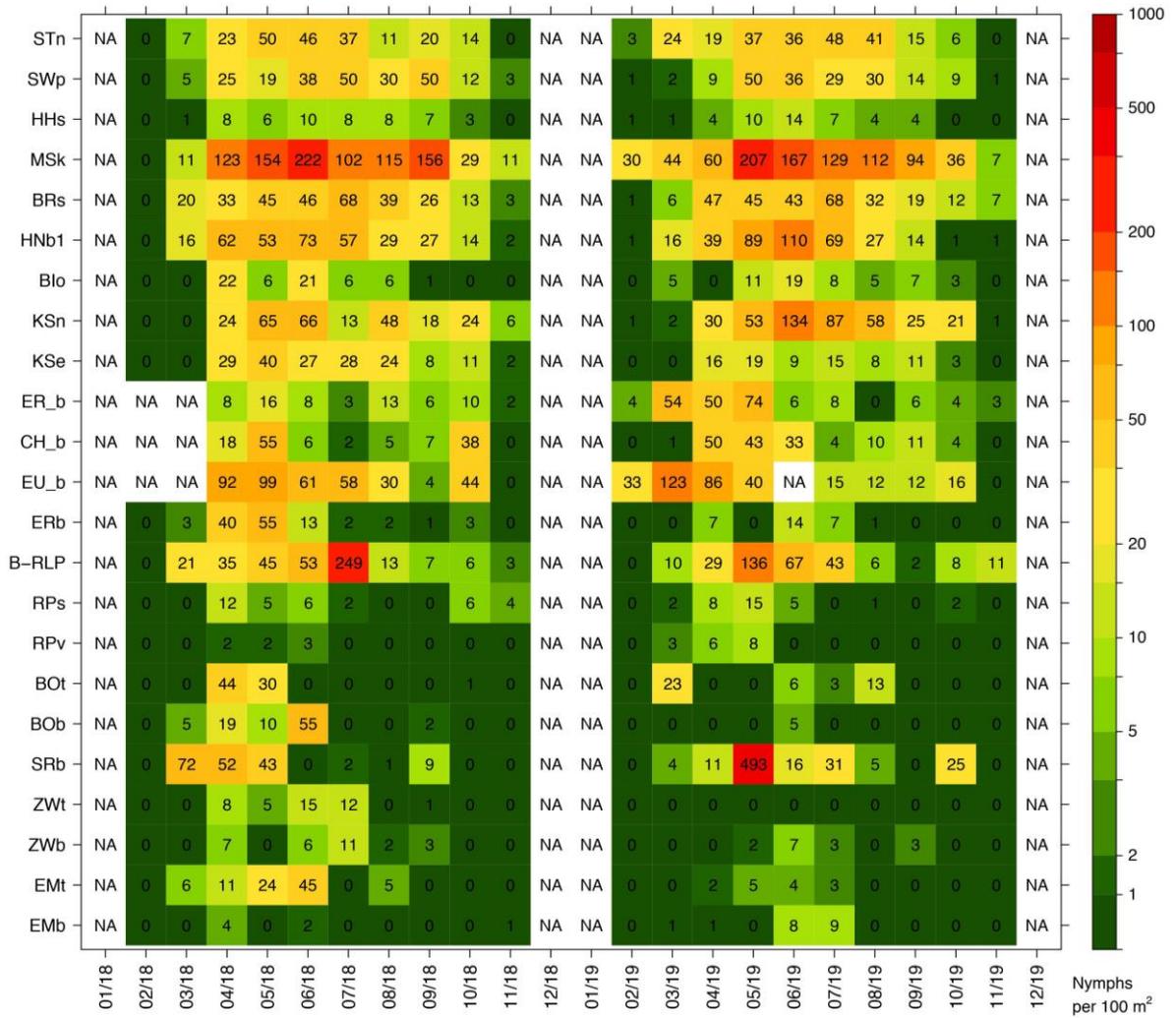


Abb. 18: Mondrian-Matrix-Plot der monatlichen Nymphendichte (Nymphen/100 m²) der Standorte in der Landklasse B. Abkürzungen der Standorte siehe Tab. 1.

3.2.3 Landklasse C

Die Abb. 19 bis Abb. 23 zeigen die Zeitreihen der gesammelten Nymphen/100 m² aller Standorte der Landklasse C, d. h. Nadelwald (*coniferous forest*). Auch in dieser Landklasse wurde die Hauptaktivität der Nymphen in den Monaten April bis Juni festgestellt.

Die insgesamt meisten Nymphen in der Landklasse C wurden in Hasenhäge in Mecklenburg-Vorpommern (Abb. 19) mit 1.361 Nymphen in der Periode 2018 bis 2019 geflaggt. Wie auch an den meisten anderen Standorten dieser Landklasse wurden im Jahr 2019 durchschnittlich mehr Nymphen geflaggt. Nur an den Standorten Emmendingen C in Baden-Württemberg (Abb. 22), Erlangen C in Bayern (Abb. 23), Ostallgäu C in Bayern (Abb. 23), Euskirchen C in Nordrhein-Westfalen (Abb. 21), B4 in Niedersachsen (Abb. 20) und Emen in Niedersachsen (Abb. 20) war der Jahresmittelwert 2018 höher als der des Folgejahres. Die wenigsten Nymphen wurden am Standort Ostallgäu C in Bayern (Abb. 23) mit insgesamt 47 Nymphen gesammelt.

Der Mondrian-Matrix-Plot in Abb. 24 zeigt auch in der Landklasse A die Nymphendichte der einzelnen Standorte für die Periode 2018–2019. Auch hier sind die höheren Nymphendichten an den Standorten in den nördlichen Bundesländern ersichtlich.

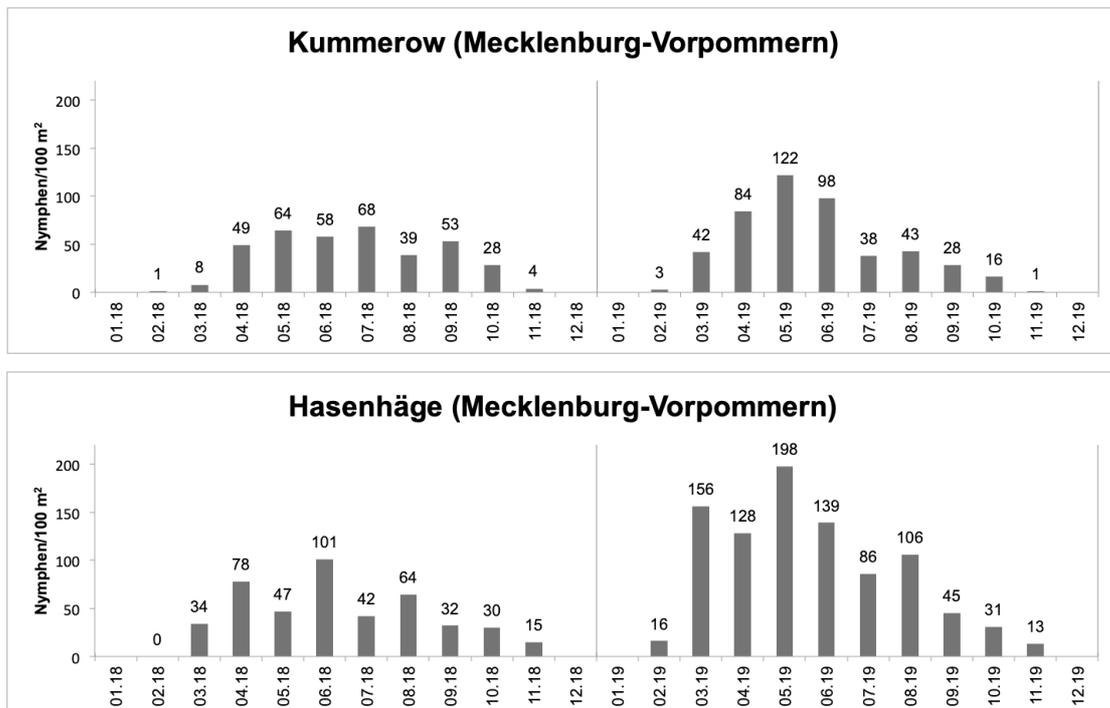


Abb. 19: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Kummerow und Hasenhäge. Periode 2018–2019.

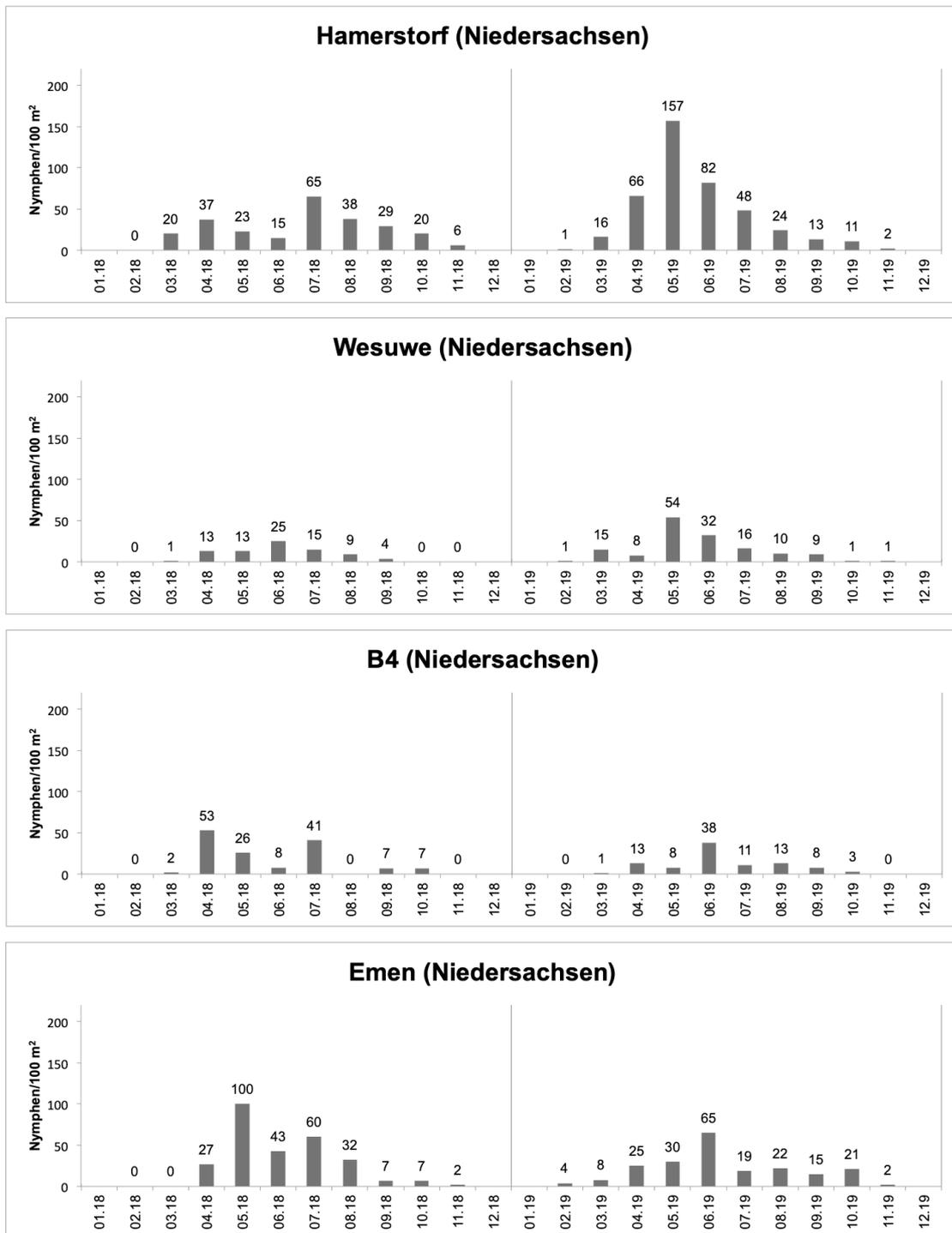


Abb. 20: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Hamerstorf, Wesuwe, B4 und Emen. Periode 2018–2019.

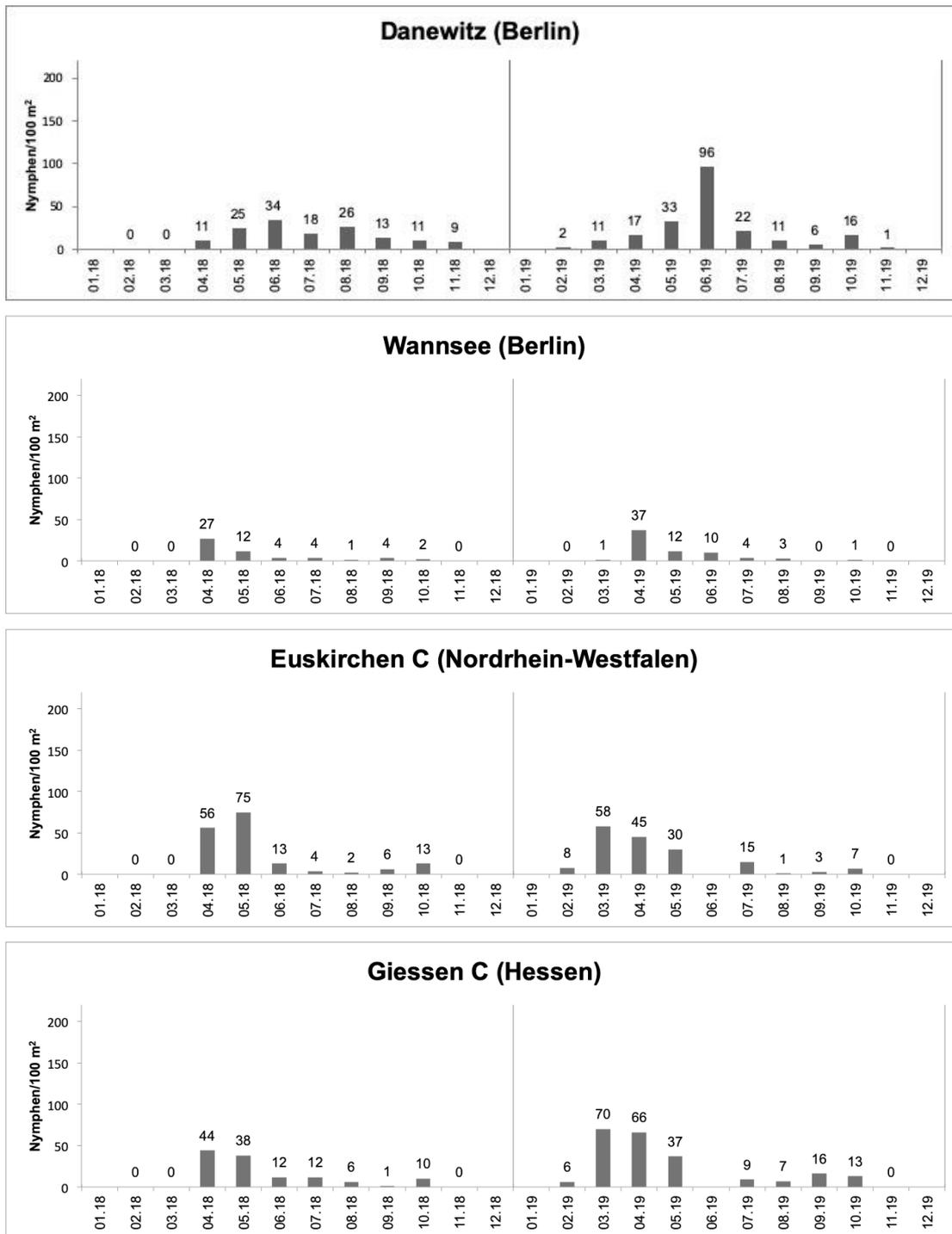


Abb. 21: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Danewitz, Wannsee, Euskirchen C und Giessen C. Periode 2018–2019.

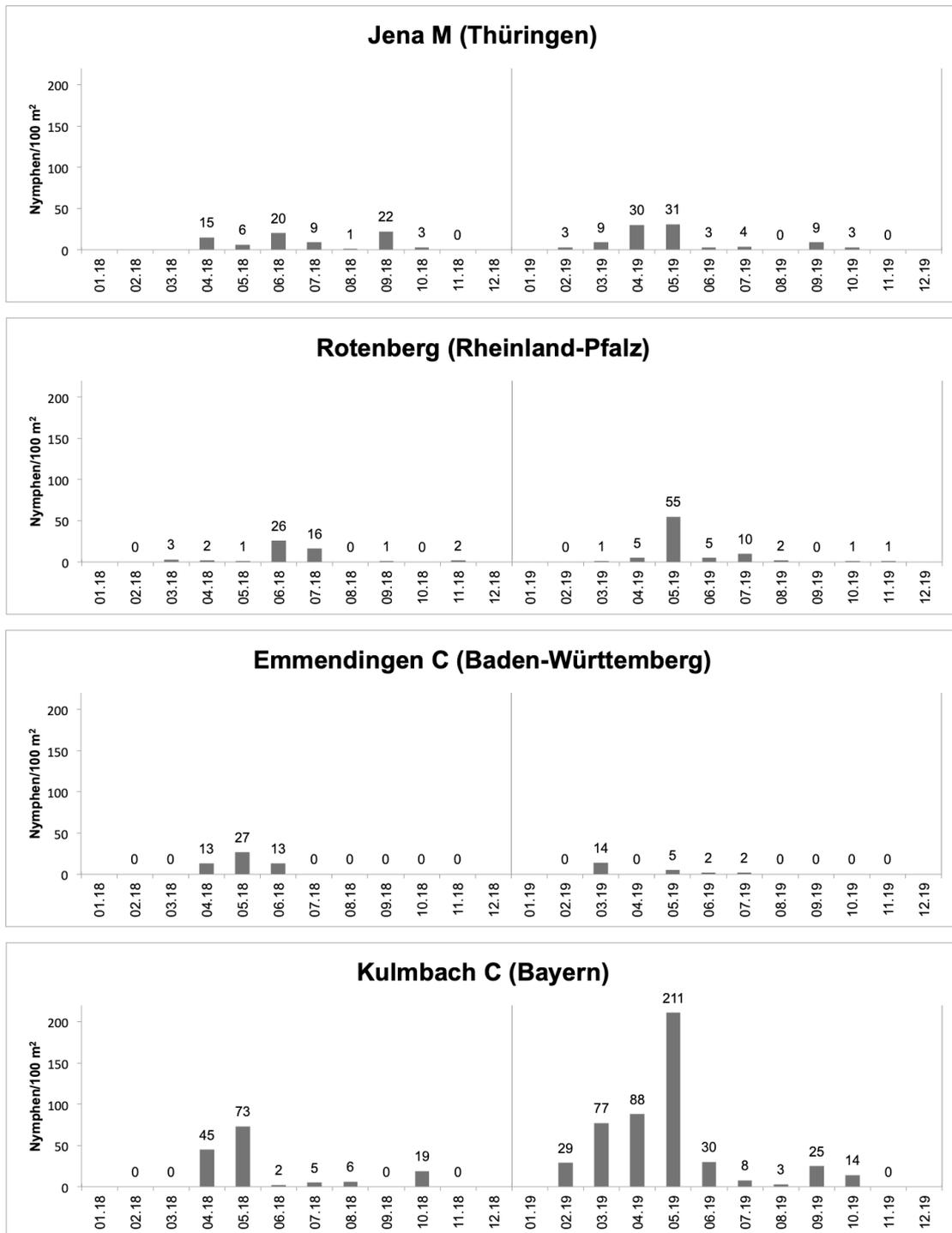


Abb. 22: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Jena M, Rotenberg, Emmendingen C und Kulmbach C. Periode 2018–2019.

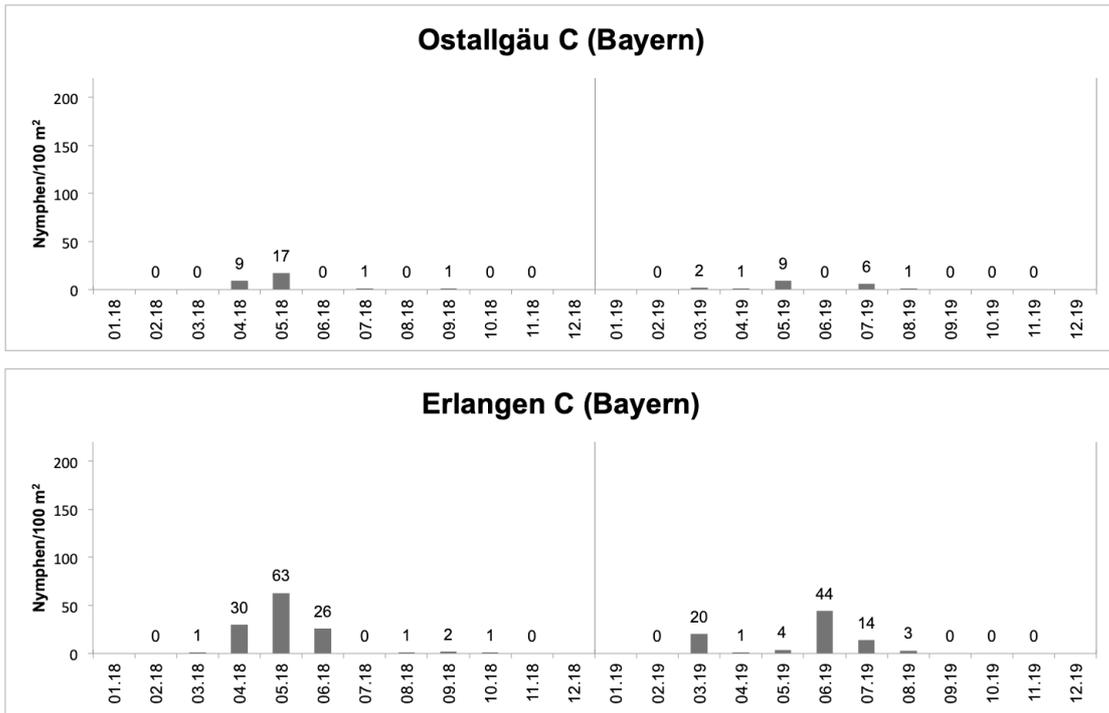


Abb. 23: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Ostallgäu C und Erlangen C. Periode 2018–2019.

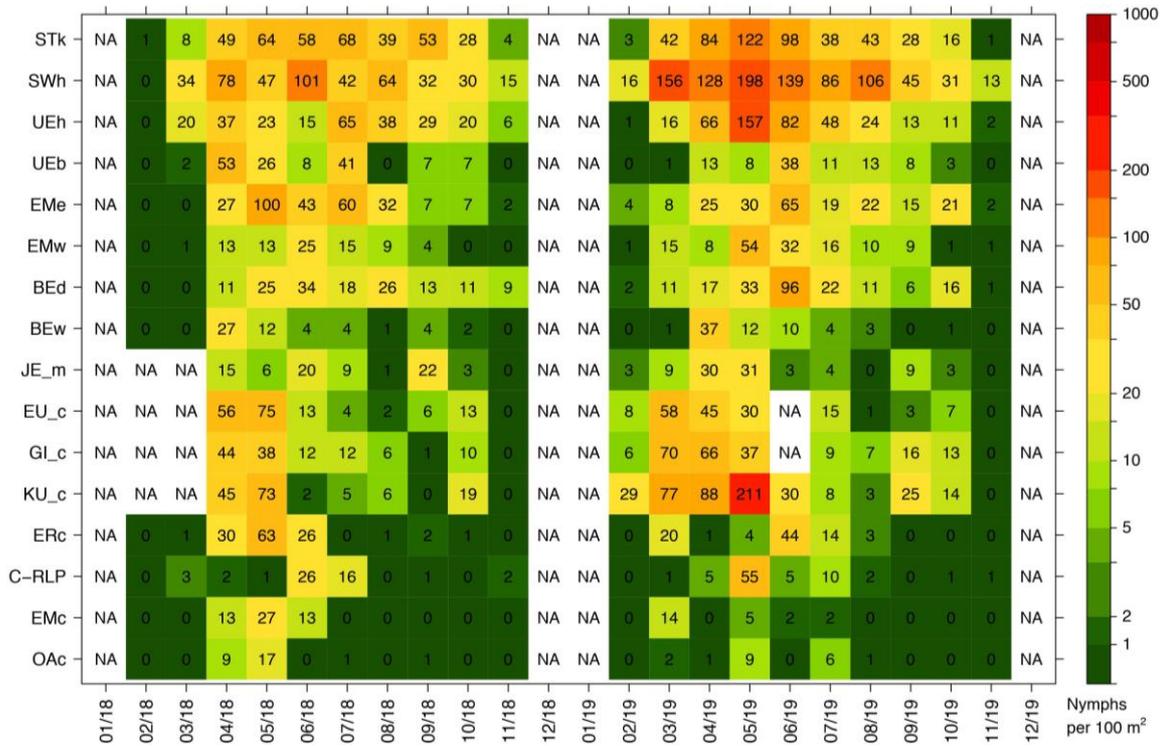


Abb. 24: Mondrian-Matrix-Plot der monatlichen Nymphendichte (Nymphen/100 m²) aller Standorte in der Landklasse C. Abkürzungen der Standorte siehe Tab. 1.

3.2.4 Landklasse M

In Abb. 25 bis Abb. 28 sind die Zeitreihen der Nymphendichten der Standorte in der Landklasse M, d. h. Mischwald (*mixed-forest*), dargestellt. Auch hier zeigt sich der typische Jahrgang der Nymphenaktivität mit der Hauptaktivitätszeit in den Monaten April bis Juni.

Am Standort Lathen in Niedersachsen (Abb. 25) wurden die meisten Nymphen aller Standorte geflaggt. Insgesamt wurden in beiden Jahren 2.197 Nymphen gesammelt, wobei im Jahr 2019 eine deutlich höhere Nymphenaktivität festgestellt wurde. An den Standorten Rehberg in Rheinland-Pfalz (Abb. 27), Erlangen M in Bayern (Abb. 28), Schrobenhausen M in Bayern (Abb. 28) und Biberach M in Baden-Württemberg (Abb. 27) wurden im Jahr 2018 mehr Nymphen geflaggt. An den restlichen neun Standorten wurden im Jahr 2019 mehr Nymphen gesammelt. Die geringste Anzahl an Nymphen wurde am Standort Ostallgäu M (Abb. 28) mit insgesamt 96 Nymphen ermittelt.

Der Mondrian-Matrix-Plot in Abb. 29 zeigt die monatliche Nymphendichte (Nymphen/100 m²) der einzelnen Standorte in der Landklasse M. Auch hier ist sofort erkennbar, dass an den Standorten in den nördlichen Bundesländern deutlich höherer Nymphendichten beobachtet wurden als an den Standorten in den südlichen Bundesländern.

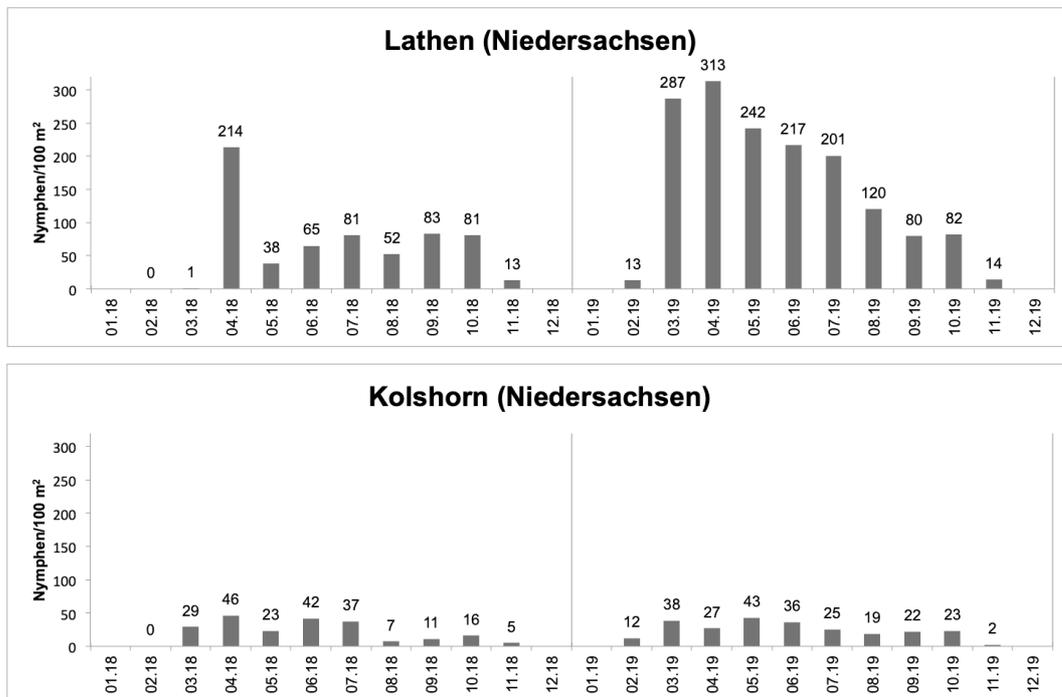


Abb. 25: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Lathen und Kolshorn. Periode 2018–2019.

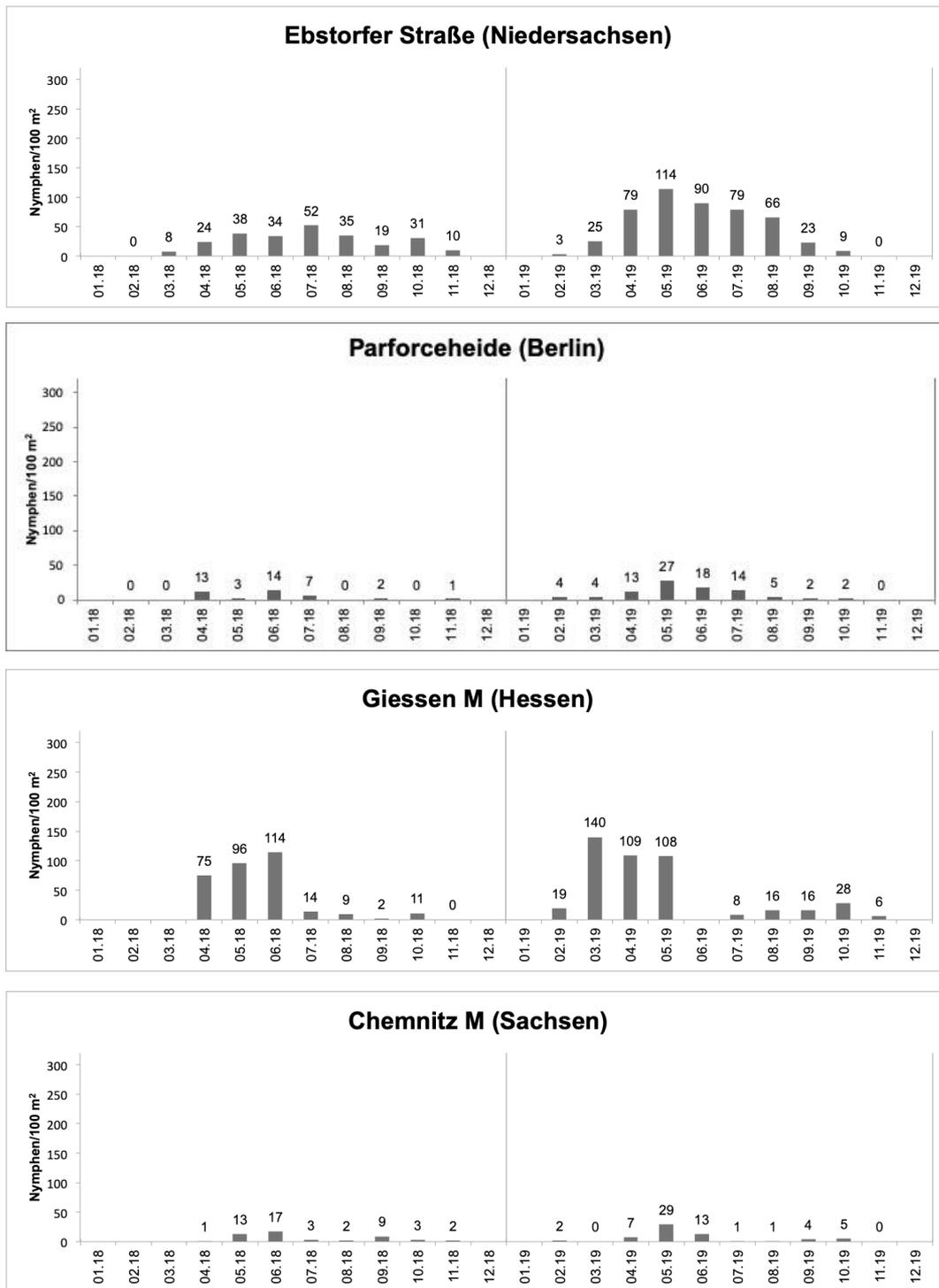


Abb. 26: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Ebstorfer Straße, Parforceheide, Giessen M und Chemnitz M. Periode 2018–2019.

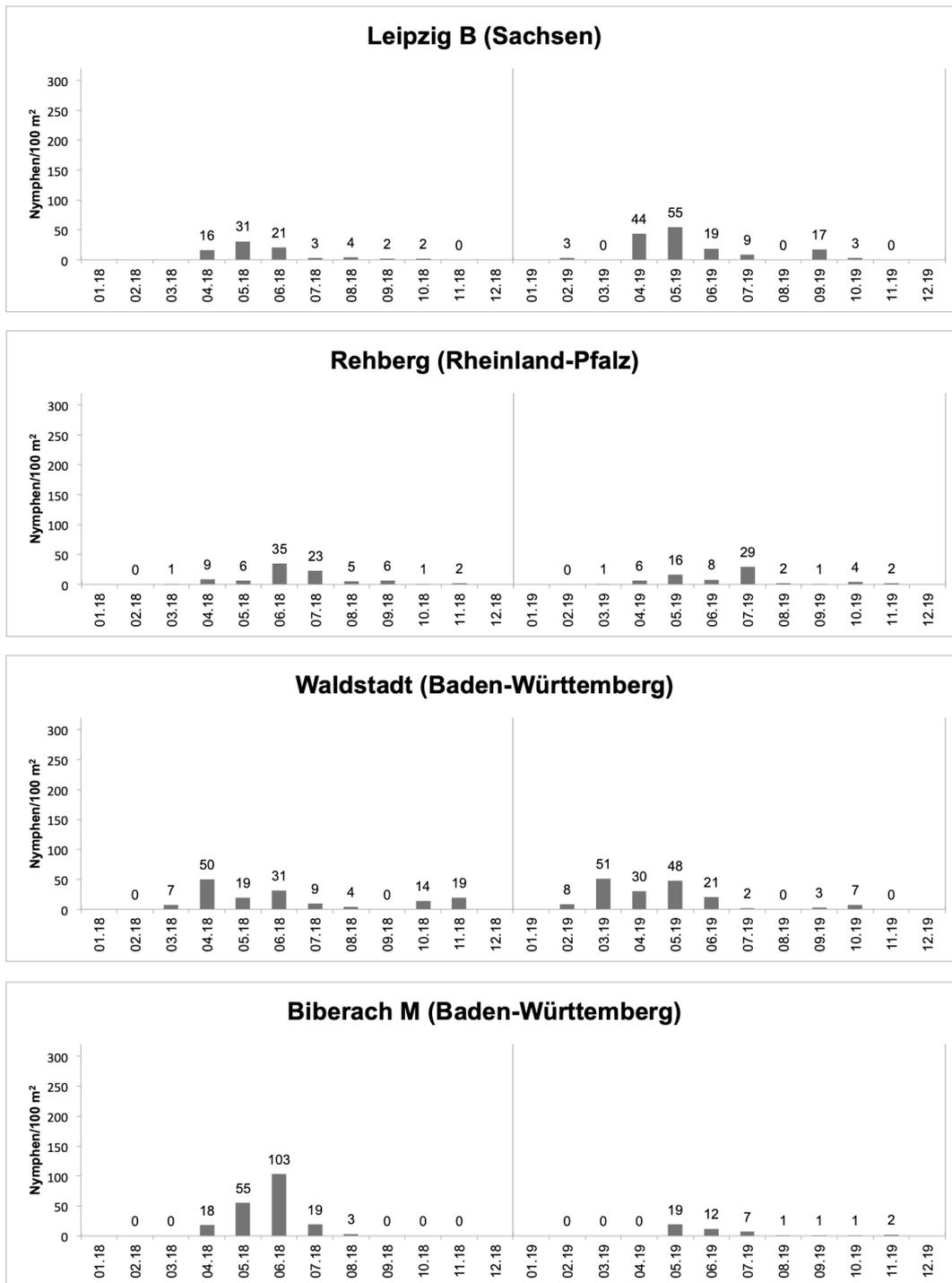


Abb. 27: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Leipzig B, Rehberg, Waldstadt und Biberach M. Periode 2018–2019.

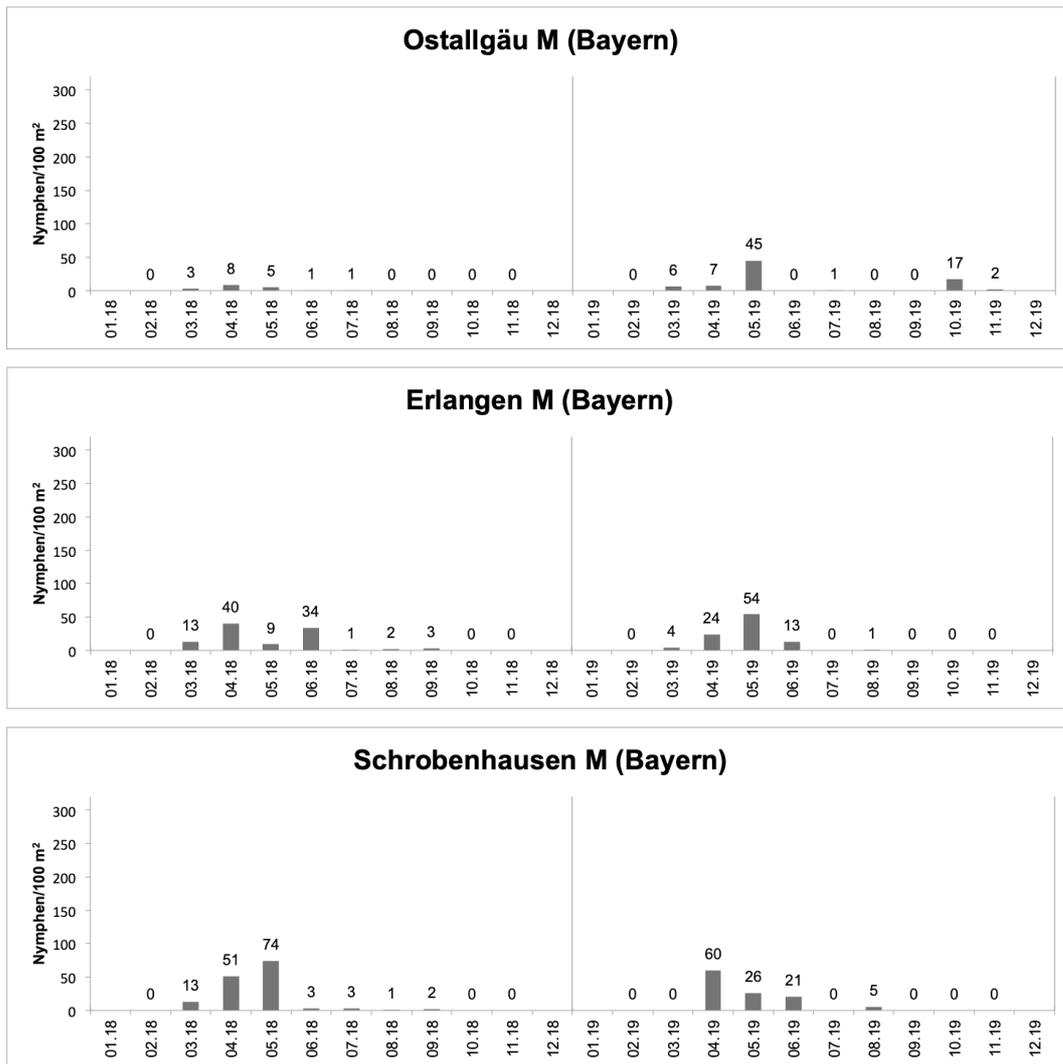


Abb. 28: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Erlangen M und Schrobenhausen M. Periode 2018–2019.

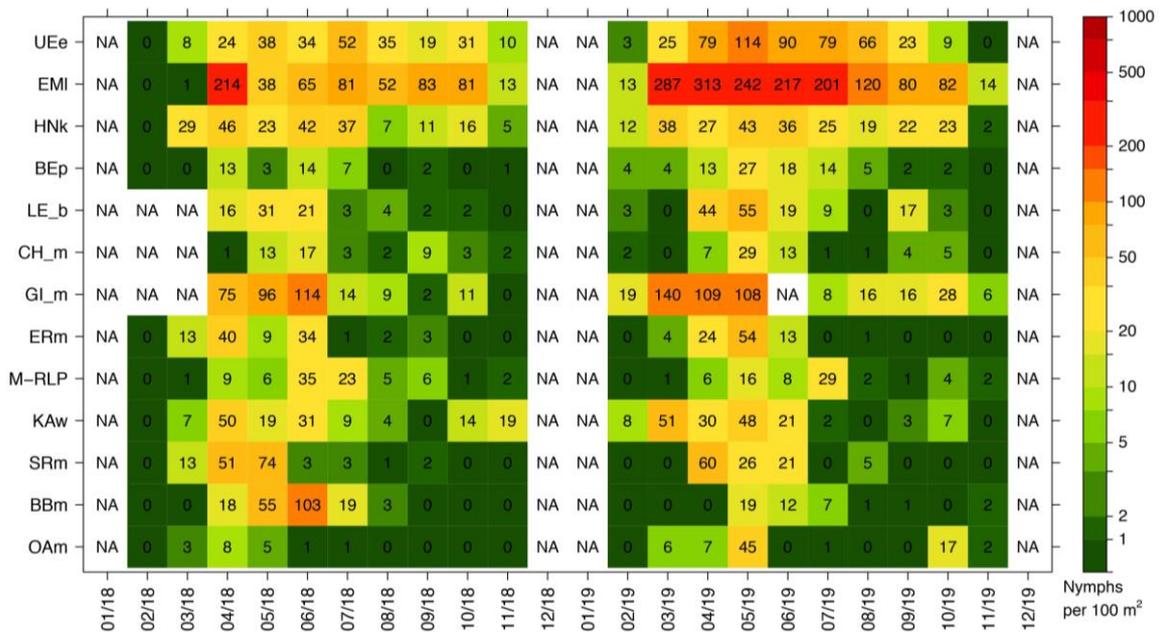


Abb. 29: Mondrian-Matrix-Plot der monatlichen Nymphendichte (Nymphen/100 m²) aller Standorte in der Landklasse M. Abkürzungen der Standorte siehe Tab. 1.

3.2.5 Landklasse U

In Abb. 30 bis Abb. 32 sind die Zeitreihen der Nymphendichte an den Standorten der Landklasse U dargestellt. In der Landklasse U werden urbane Flächen (*urban areas*) wie städtische Grünflächen, Sport- und Freizeitanlagen zusammengefasst. Diese Landklasse umfasst mit neun Standorten die wenigsten Untersuchungsstandorte. Auch die Landklasse U zeigt eine typisch verlaufende Nymphenaktivität, mit der Hauptaktivitätszeit in den Monaten April bis Juni.

Betrachtet man die einzelnen Standorte, so wurden am Standort Stadtwald in Mecklenburg-Vorpommern (Abb. 30) die meisten Nymphen mit einer Gesamtanzahl von 1.550 über die Periode 2018–2019 geflaggt. Wie an fast allen Standorten der Landklasse U, wurden am Standort Stadtwald mehr Nymphen/100 m² im Jahr 2019 gesammelt als im Vorjahr. Einzig am Standort Schlossgarten in Baden-Württemberg (Abb. 31) wurde ein höherer Jahresmittelwert im Jahr 2018 verzeichnet. Allerdings wurden an diesem Standort in beiden Jahren kaum Nymphen geflaggt. Der Standort Biberach U (Abb. 31) ist der einzige aller Standorte, an dem über beide Jahre keine Nymphen geflaggt wurden.

Der Mondrian-Matrix-Plot in Abb. 33 zeigt die monatliche Nymphendichte der Standorte in der Landklasse U für die Periode 2018–2019. Auch hier ist ersichtlich, dass in den nördlichen Bundesländern deutlich höherer Nymphendichten beobachtet wurden als an den südlicher gelegenen Standorten.

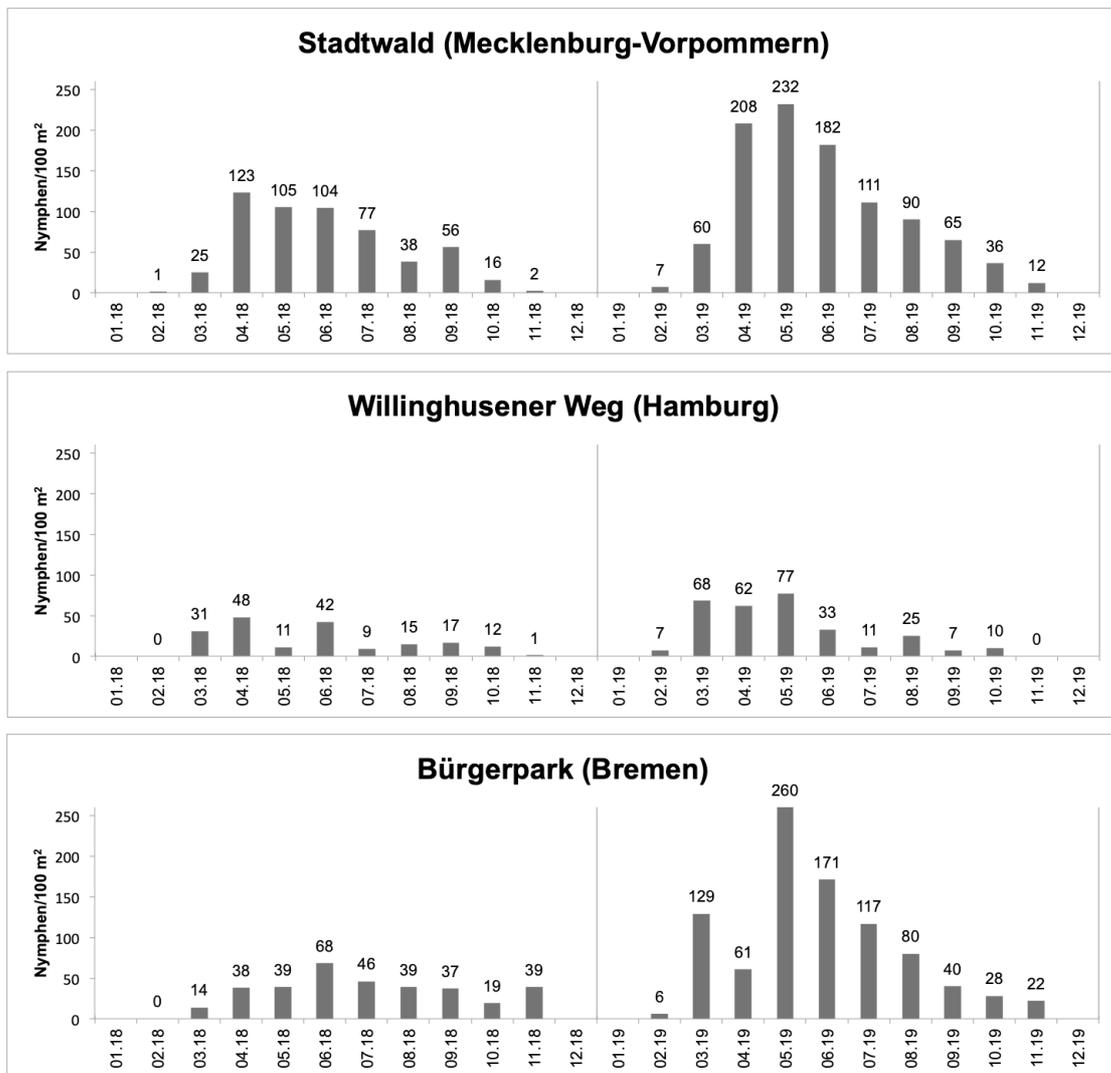


Abb. 30: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Stadtwald, Willinghusener Weg und Bürgerpark. Periode 2018–2019.

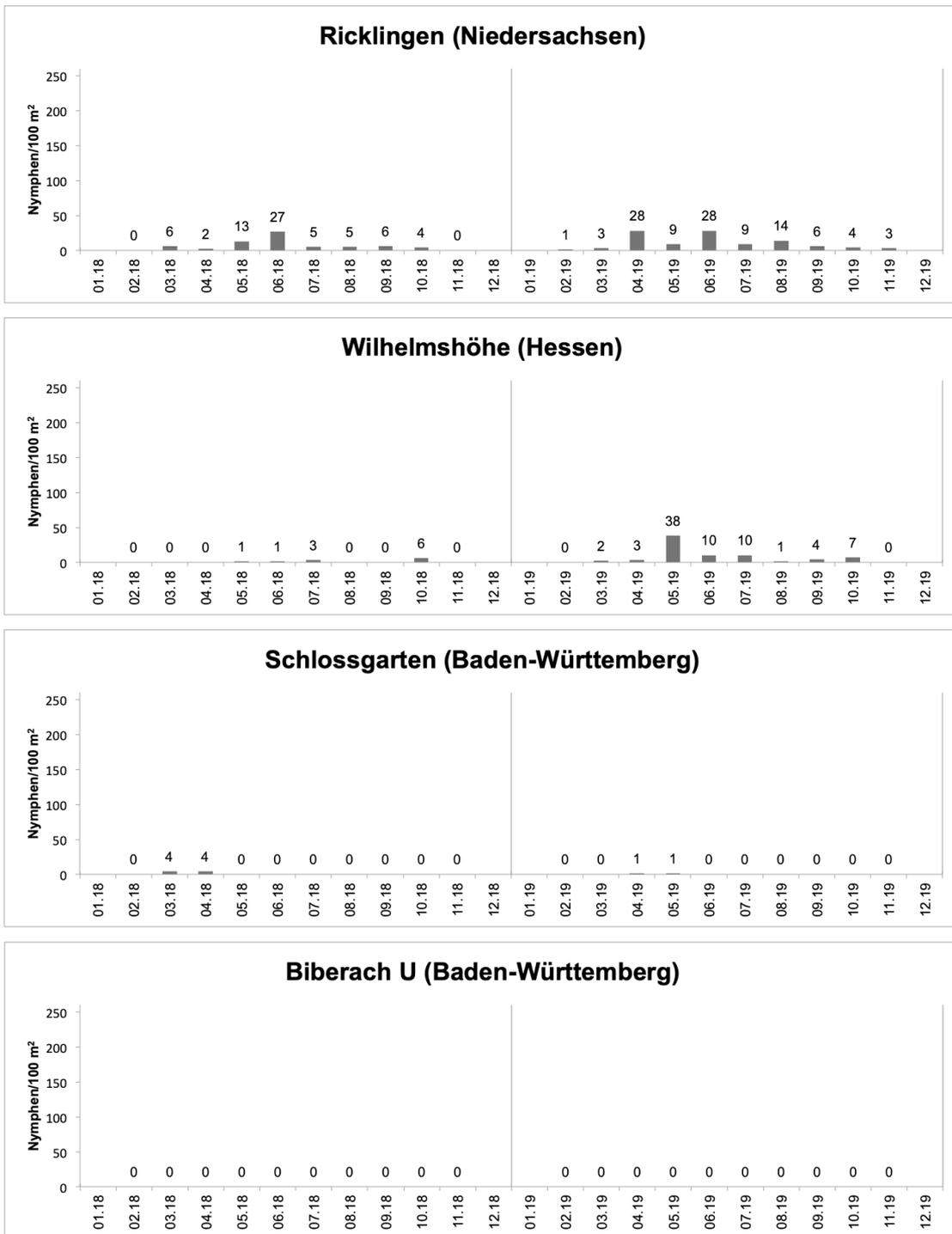


Abb. 31: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Ricklingen, Wilhelmshöhe, Schlossgarten und Biberach U. Periode 2018–2019.

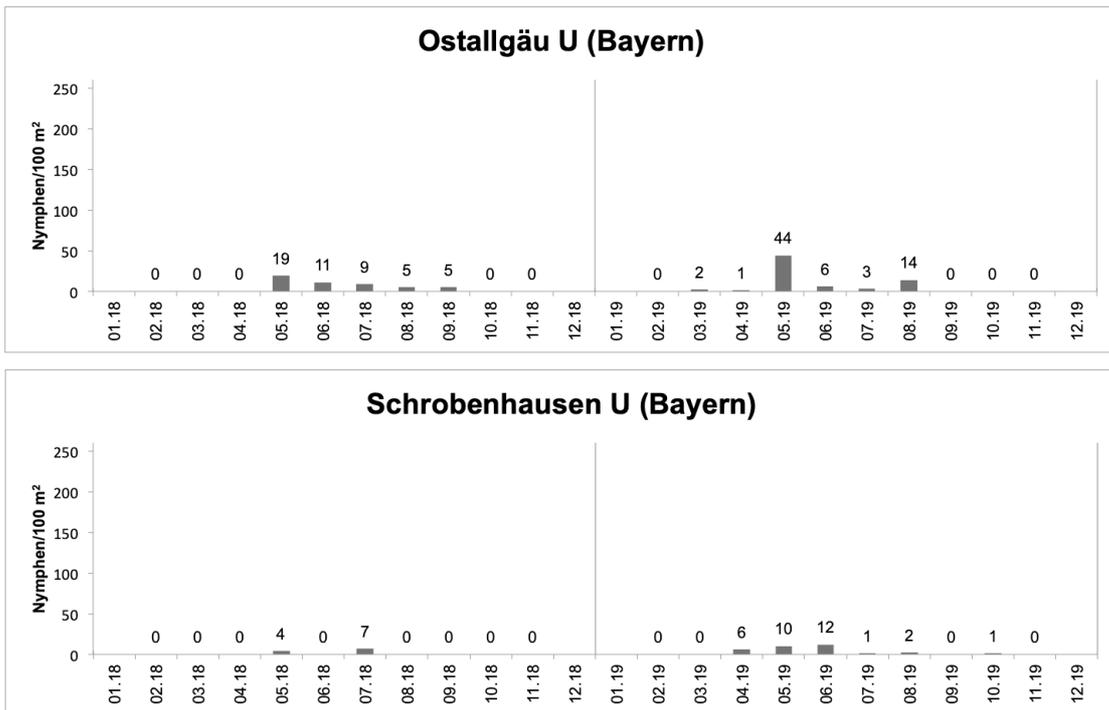


Abb. 32: Monatlich geflaggte Nymphen pro 100 m² an den Standorten Ostallgäu U und Schrobenhausen U. Periode 2018–2019.

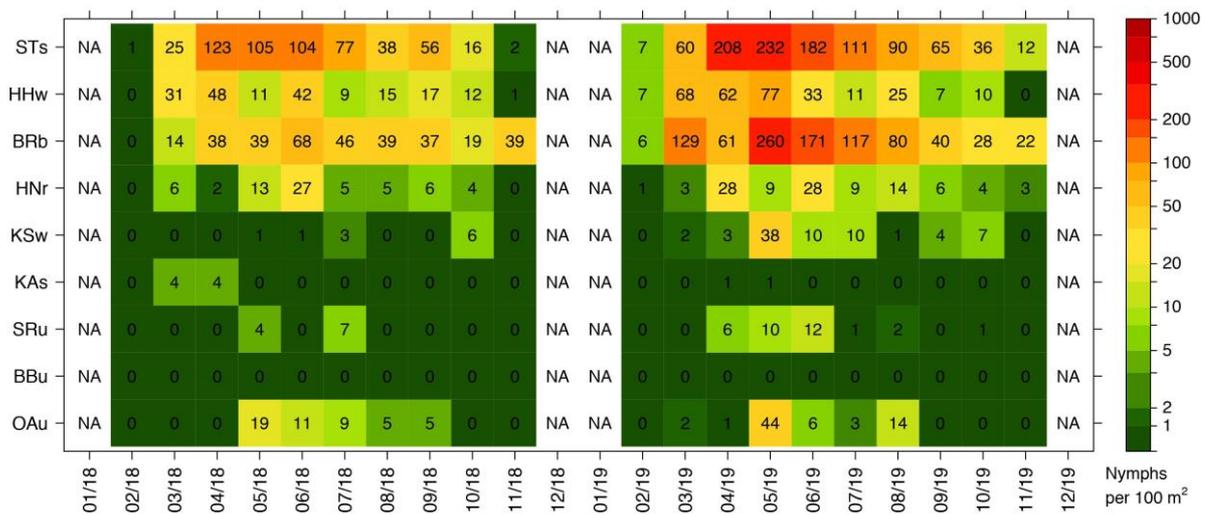


Abb. 33: Mondrian Matrix der monatlichen Nymphendichte (Nymphen/100 m²) aller Standorte in der Landklasse U. Abkürzungen der Standorte siehe Tab. 1.

3.3 Korrelationsmatrix für die Zeckendichte pro Landklasse

Um die Stärke des Zusammenhangs zwischen den Zeitreihen der Standorte zu untersuchen, wurde für alle möglichen Kombinationen der Korrelationskoeffizient nach Pearson berechnet. Auch hier wurden die Daten wieder nach den fünf Landklassen gruppiert. Die Korrelationsmatrizen sind in Abb. 34 bis Abb. 38 dargestellt. Für die Stichprobengröße $n = 20$ (10 Flaggmonate x 2 Jahre) wurde die kritische Korrelation mit $r^* = 0.444$ bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$ bestimmt. Das bedeutet, dass alle berechneten Korrelationskoeffizienten $|r| < r^*$ sich zufällig von Null unterscheiden und daher nicht signifikant sind. Alle Korrelationskoeffizienten $|r| \geq r^*$ sind signifikant.

Die Zeitreihen korrelieren innerhalb der Landklassen durchwegs positiv miteinander, d. h. an allen Standorten wurde ein ähnlicher Jahresgang der Zeckenaktivität beobachtet. Lediglich bei Standorten wie Botnang A (BOa), Zwiefalten A (ZWa), Botnang t (BOt), Erlangen B (ERb), Niederlesungen (KSn), Danewitz (BEd), Emmendingen C (EMc), Schlossgarten (KAs), an denen eine geringe Nymphenzahl gesammelt wurde, wurden niedrige und teilweise negative Korrelationskoeffizienten bestimmt. Diese sind jedoch nicht signifikant. Der Standort Biberach U wurde ausgeschlossen, da an diesem Standort in der Periode 2018 bis 2019 keine Nymphen geflaggt wurden.

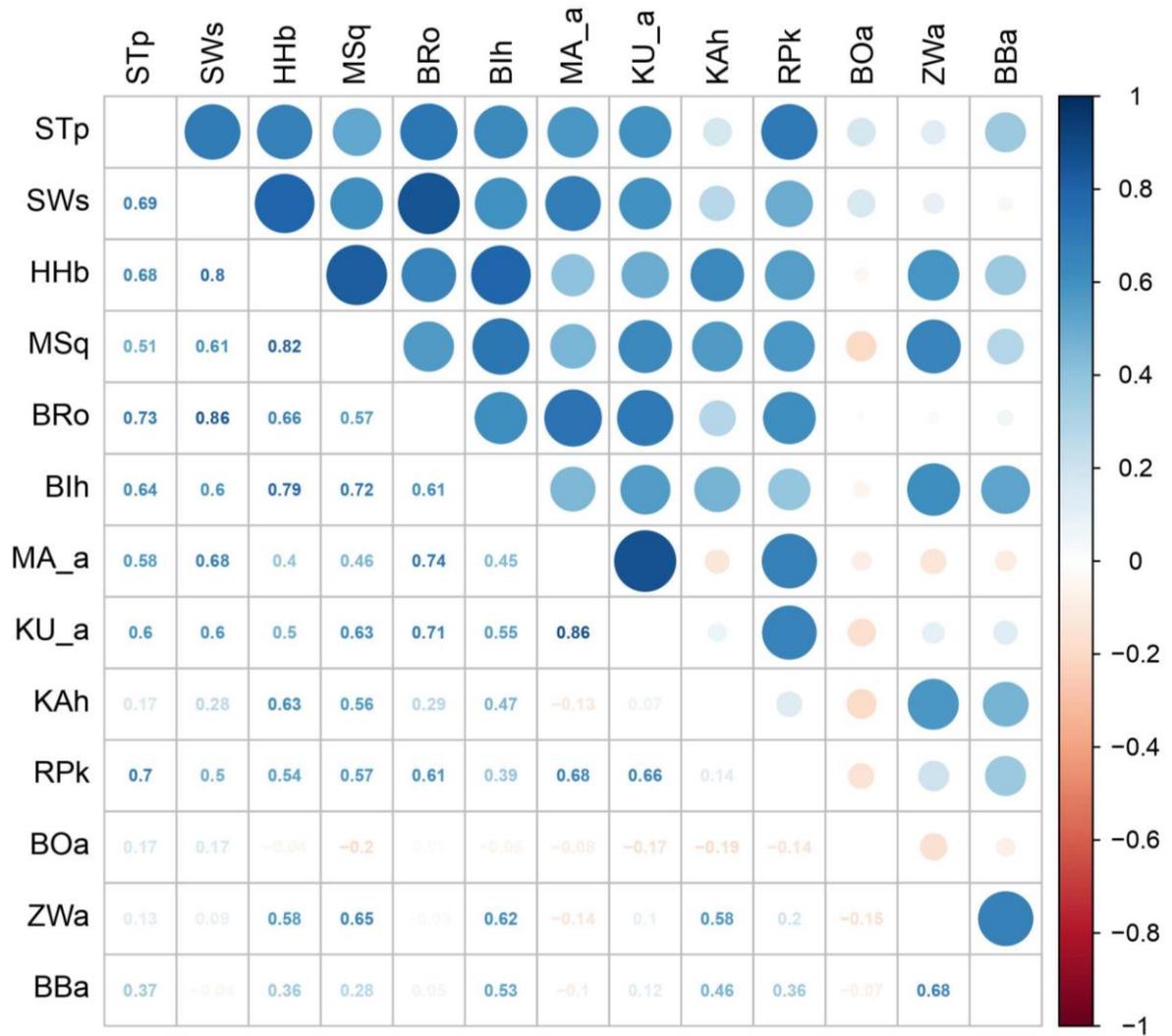


Abb. 34: Korrelationsmatrix für die 13 Standorte der Landklasse A. Alle Korrelationskoeffizienten $|r| \geq 0,444$ sind signifikant. Abkürzungen der Standorte siehe Tab 1.

In der Landklasse A sind die Standorte Stettinger See (SWs) und Oyten (BRo), sowie Magdeburg (MA_a) und Kulmbach A (KU_a) am stärksten miteinander korreliert (beide $r = 0.86$). Hingegen fällt der Standort Botnang A (BOa) auf, der mit keinem Standort signifikant korreliert. Dies liegt wahrscheinlich an der dort gesammelten geringen Nymphenzahl.

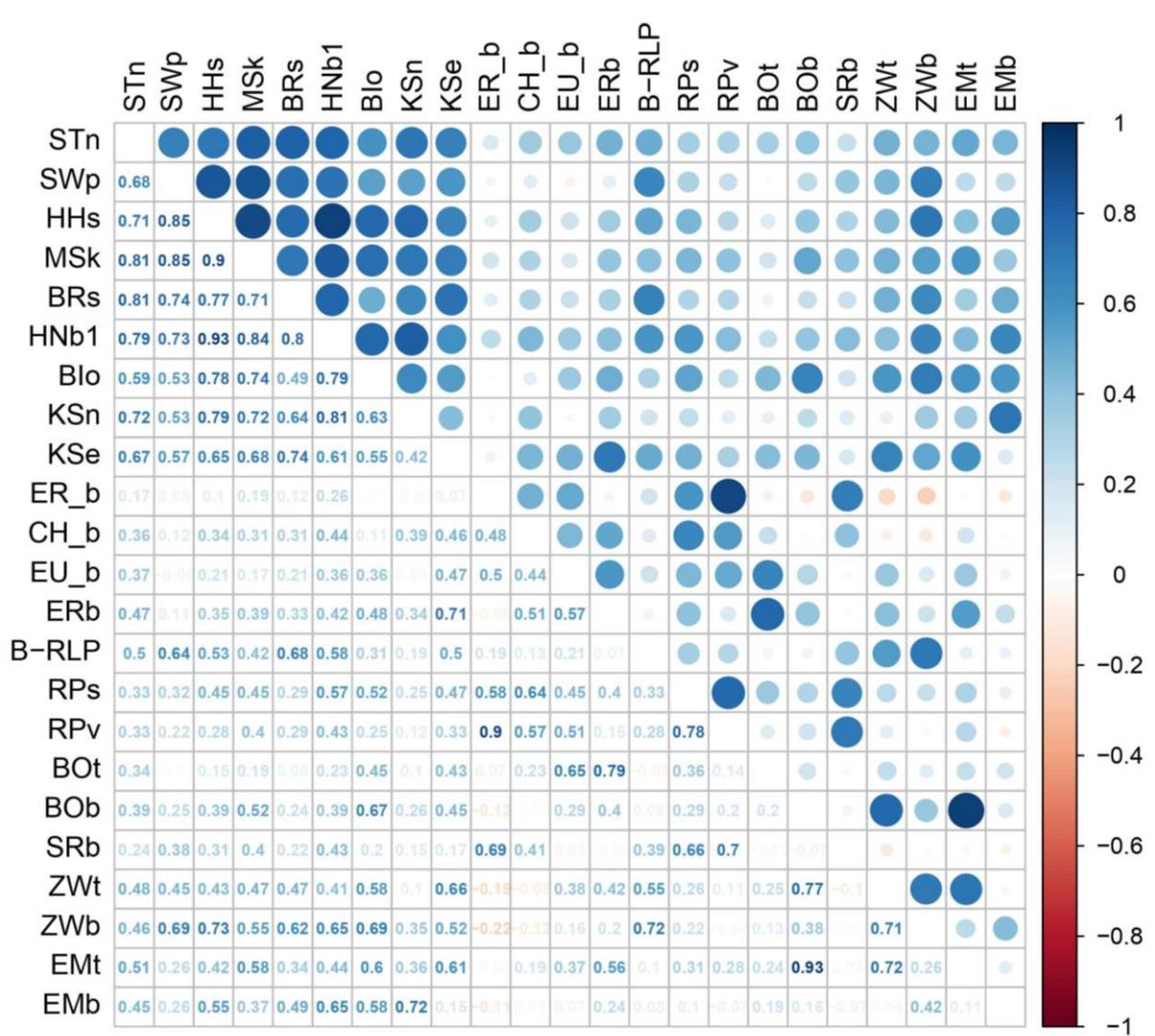


Abb. 35: Korrelationsmatrix für die 23 Standorte der Landklasse B. Alle Korrelationskoeffizienten $|r| \geq 0,444$ sind signifikant. Abkürzungen der Standorte siehe Tab 1.

In der Landklasse B korrelieren die Standorte Botnang B (BOb) mit Emmendingen t (EMt) und Bockmerholz (HNB1) mit Sachsenwald (HHs) am stärksten, wobei ein Korrelationskoeffizient von $r = 0,93$ ermittelt wurde. Eine ebenfalls starke Korrelation mit $r = 0,90$ wurde zwischen den Standorten Sachsenwald (HHs) und Kalkhorst (MSk), sowie zwischen Erfurt B (Er_b) und Viehhunger Allee (RPv) beobachtet. Erfurt B (Er_b) korreliert aufgrund der niedrigen Nymphenaktivität mit sehr wenigen Standorten signifikant, die starke Korrelation mit dem Standort Viehhunger Allee (RPv) lässt sich durch ebenfalls sehr niedrige Nymphenzahlen an diesem Standort erklären.

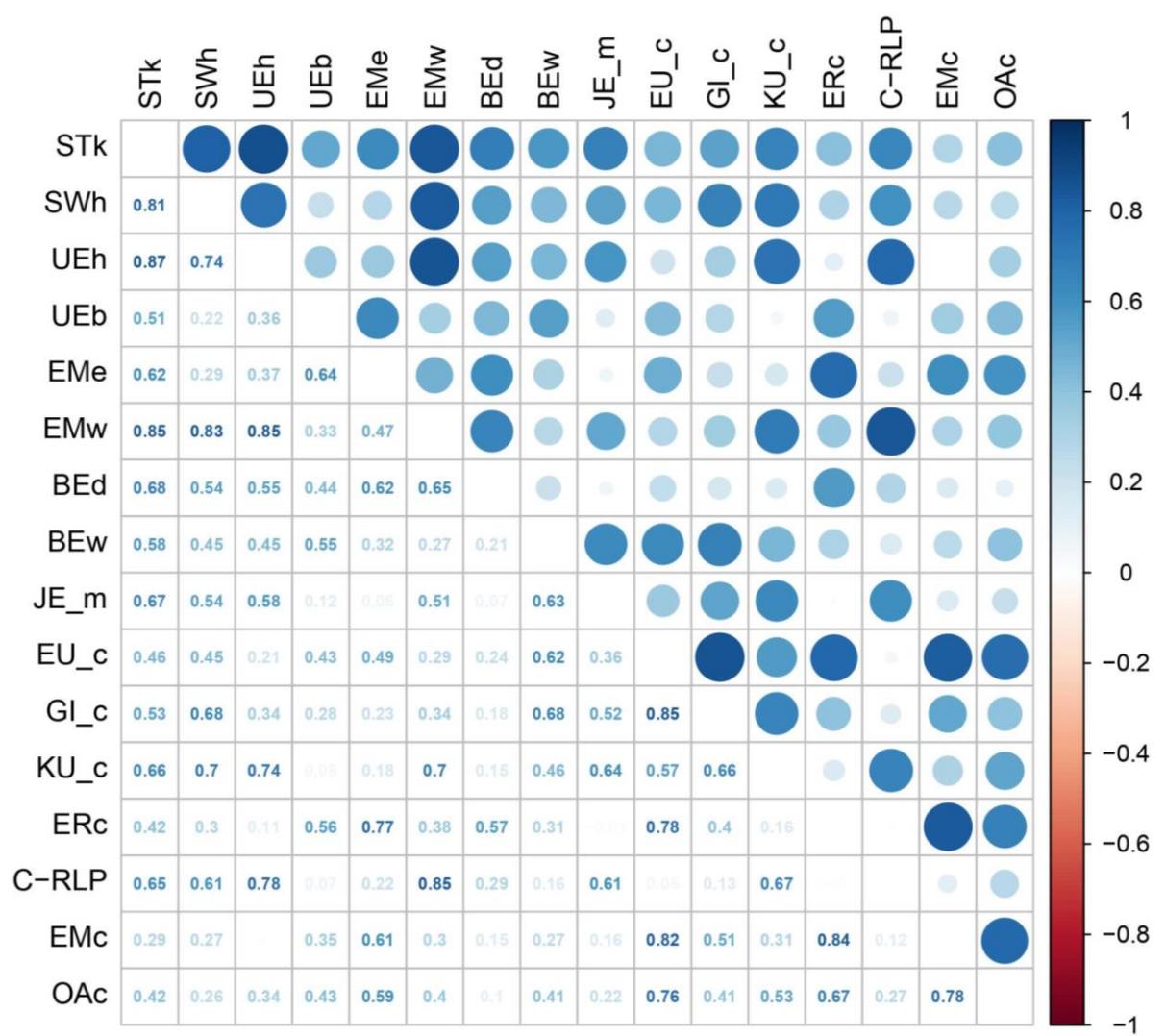


Abb. 36: Korrelationsmatrix für die 16 Standorte der Landklasse C. Alle Korrelationskoeffizienten $|r| \geq 0,444$ sind signifikant. Abkürzungen der Standorte siehe Tab 1.

In der Landklasse C sind die Standorte Hamerstorf (UEh) und Kummerow (STk) am stärksten miteinander korreliert ($r = 0,87$). Aber auch die Standorte Rotenberg (C-RLP) und Wesuwe (EMw), Hamerstorf (UEh) und Wesuwe (EMw), Hamerstorf (UEh) und Kummerow (STk), sowie Giessen C (GI_c) und Euskirchen C (EU_c) weisen mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,85$ eine starke Korrelation auf.

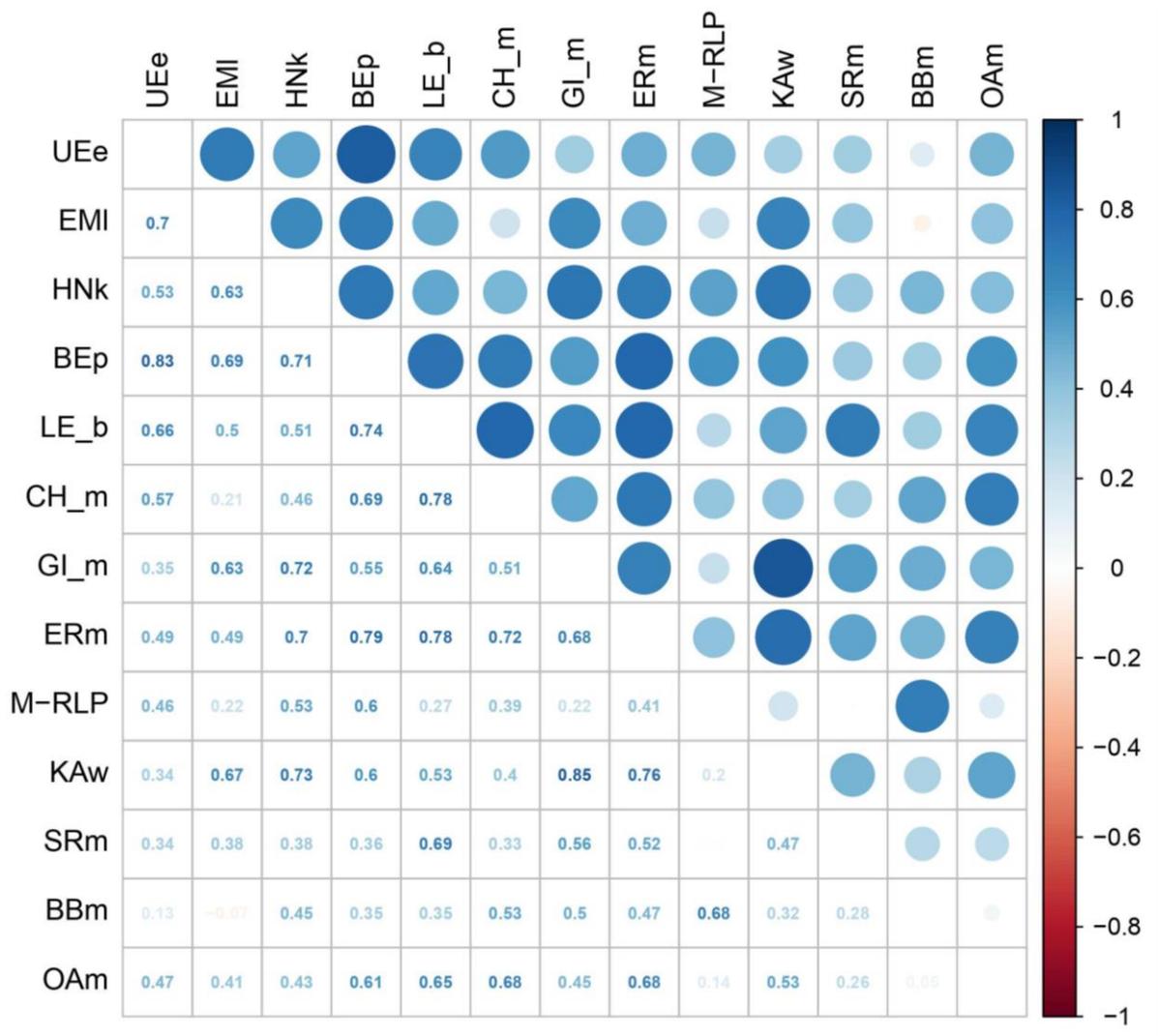


Abb. 37: Korrelationsmatrix für die 13 Standorte der Landklasse M. Alle Korrelationskoeffizienten $|r| \geq 0,444$ sind signifikant. Abkürzungen der Standorte siehe Tab. 1.

In der Landklasse M wurde die höchste Korrelation ($r = 0,85$) zwischen den Standorten Giessen M (GI_m) und Waldstadt (KAw) ermittelt. Die niedrigsten Korrelationskoeffizienten wurden am Standort Biberach M (BBm) festgestellt, auch hier wurden sehr wenige Nymphen – vor allem im Jahr 2019 – geflaggt.

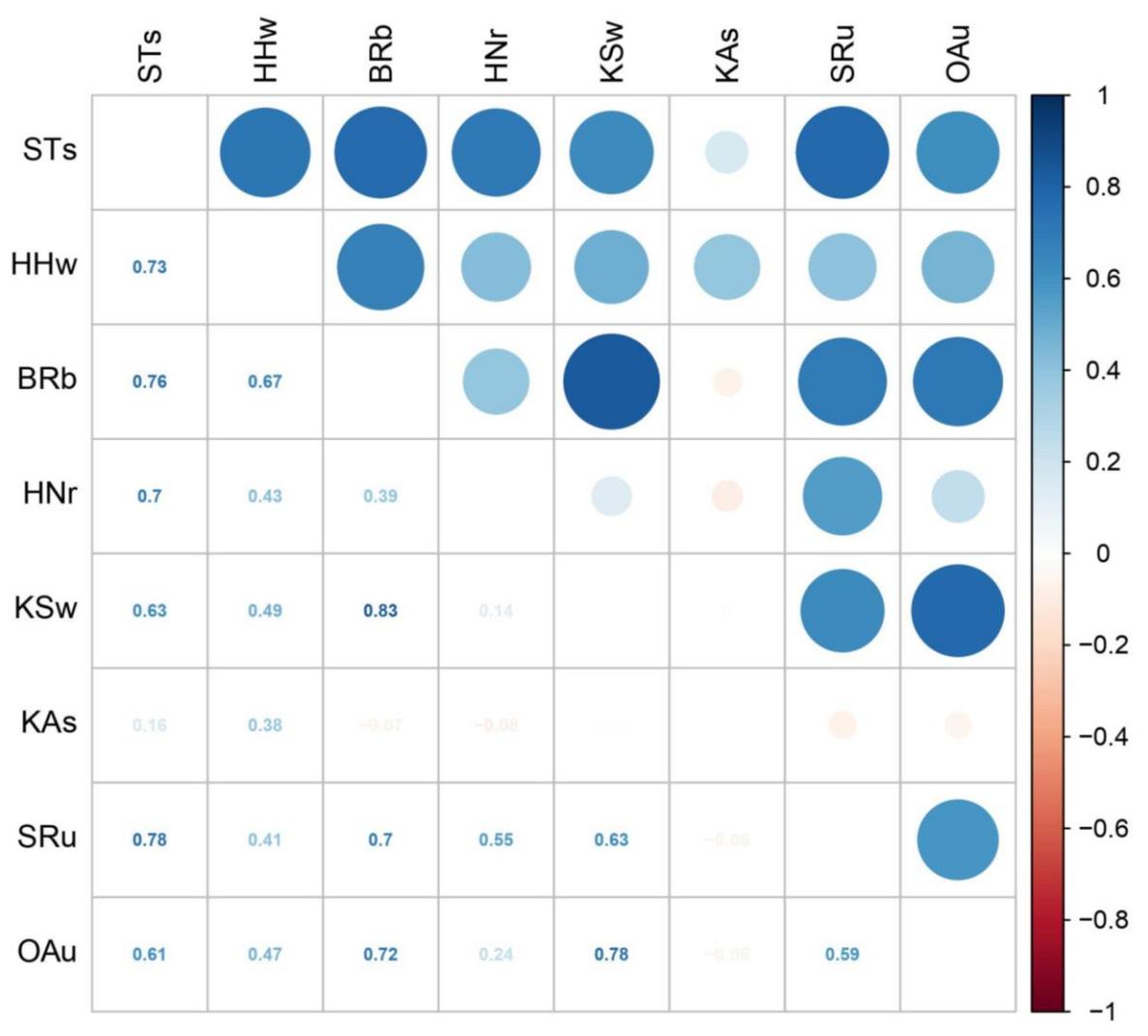


Abb. 38: Korrelationsmatrix für acht der neun Standorte der Landklasse U. Alle Korrelationskoeffizienten $|r| \geq 0,444$ sind signifikant. Abkürzungen der Standorte siehe Tab. 1.

In der Landklasse U korrelieren die Standorte Bürgerpark (BRb) und Wilhelmshöhe (KSw) am stärksten miteinander ($r = 0,83$). Der Standort Schlossgarten (KAs) korreliert nur mit dem Standort Willinghusener Weg (HHw) signifikant, mit den anderen Standorten der Landklasse U kann keine signifikante Korrelation festgestellt werden. Auch an diesem Standort wurden nur wenige Nymphen geflaggt.

4. Diskussion

Zecken sind weltweit Überträger von Krankheitserregern auf Mensch und Tier. Das Wissen um Verbreitung, Häufigkeit oder Saisonalität von Zecken ist wichtig, um das Risiko von Stichen und so einer Infektion mit Krankheitserregern abschätzen zu können. Anfang 2018 wurde in Deutschland eine Feldstudie gestartet, um die monatliche Zeckendichte (Zecken/100 m²) an 84 Standorten zu erheben. Aufbauend auf den Ergebnissen der Feldstudie sollen u. a. Deutschlandkarten der monatlichen Zeckendichte analog zu Boehnke et al. (2015) und Brugger et al. (2016) erstellt werden. Ziel dieser Arbeit war es den Datensatz der ersten zwei Jahre (2018–2019) graphisch aufzuarbeiten und zu analysieren.

Die hier vorgestellte Feldstudie übersteigt in der Standortanzahl und Durchführungsdauer die bisher in Deutschland durchgeführten Feldstudien. Die einzige vergleichbare Studie ist jene aus Baden-Württemberg, bei der über zwei Jahre an 25 Standorten monatlich Zecken gesammelt wurden. Basierend auf diesem Datensatz wurde eine erste Dichtekarte der Zeckendichte für Baden-Württemberg erstellt (Boehnke et al. 2015). Brugger et al. (2016) berechnete basierend auf diesem Datensatz und weiteren 44 Standorten eine Karte der jährlichen Zeckendichte in ganz Deutschland. Allerdings liegt die Mehrzahl der geflaggt Standorte in den südlichen Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg. Durch die im Jahr 2018 gestartete Feldstudie können nun erstmals Aussagen zur Zeckendichte für ganz Deutschland und vor allem aber auch für die nördlichen Bundesländer getroffen werden. Durch die standardisierte Flaggmethode ist es möglich die Daten u. a. hinsichtlich der Nymphenaktivität in den unterschiedlichen Landklassen zu vergleichen. Diese Erkenntnisse sollen zukünftig dazu dienen, das Risiko von durch Zecken übertragenen Krankheiten besser abschätzen zu können.

Vergleichbare Feldstudien wurden bereits in anderen Ländern durchgeführt, jedoch beschränkten sich die meisten nur auf eine begrenzte Region oder wurden nicht monatlich durchgeführt. Wie auch von Boehnke et al. (2015) diskutiert, wurde in vielen dieser Studien die Anwesenheit bzw. Abwesenheit bestimmter Zeckenarten und nicht die Zeckendichte untersucht. Die zeitliche Zeckenaktivität wurde u. a. von Daniel et al. (2006) in Tschechien untersucht, dabei wurden südöstlich von Prag wöchentlich die *I. ricinus*-Zecken mittels der Flaggmethode über einen Zeitraum von vier Jahren gesammelt. Auch Kubiak et al. (2019) veröffentlichte eine Studie über die Zeckendichte von *I. ricinus* in Polen. Allerdings war die Feldstudie auf ein kleines, urbanes Gebiet im nordöstlichen Teil Polens beschränkt und die

Zecken wurden nur einmal im Frühling und Herbst mittels der Flaggmethode gesammelt. In einer anderen Studie aus Frankreich von Marchant et al. (2017) wurden *I. ricinus*-Zecken in drei periurbanen Wäldern in Nordfrankreich geflaggt und die Zeckendichte ermittelt. Alle diese Studien dienten jedoch nicht der Erstellung von Zeckendichtekarten, sondern verfolgten andere Ziele, wie z. B. die Prävalenz von *Borrelia burgdorferi* sensu lato in Zecken. Zeckendichtekarten liegen z. B. auch für die USA vor. In den Studien von Diuk-Wasser et al. (2010, 2012) wurden *I. scapularis*-Nymphen gesammelt und auf den Ergebnissen aufbauend eine Zeckendichtekarte modelliert. Auch Eisen et al. (2006) modellierte eine Karte um die Zeckendichte von *I. pacificus* in nordwestlichen Teilen Kaliforniens darzustellen.

Die Ergebnisse der Feldstudie und damit dieser Diplomarbeit sind schwer mit den Ergebnissen anderer Studien zu vergleichen, da ein einheitlicher Ansatz zur räumlichen Verteilung von Zecken und zeckenübertragenen Krankheitserregern fehlt (Killilea et al. 2008). Beispielsweise die Einteilung in Landklassen, einer der Schwerpunkte hier, ist in sehr wenigen Studien zu finden. Oft werden die Untersuchungsgebiete, wie in der Studie von Li et al. 2012, nur in Laub- und Mischwäldern festgelegt, da dort die höchsten Zeckenaufkommen zu erwarten sind. Einige Studien mit ähnlichem Versuchsaufbau und der Berücksichtigung der Landbedeckung untersuchten nicht die Zeckendichte, sondern die Prävalenz von Krankheiten (Glass et al. 1995).

Ebenfalls in Landklassen unterteilt wurden die Standorte beispielsweise in der Publikation von Brugger (2019). Die mittlere Nymphendichte war in der Landklasse B am höchsten, gefolgt von den Landklassen M, A, C und U, in absteigender Reihenfolge. Bei dem hier bearbeiteten Datensatz lautet die Reihenfolge der Landklassen mit den höchsten mittleren Nymphendichten pro Landklasse M, U, C, B und A (Tab. 2).

Ziel dieser Diplomarbeit war es auch, den komplexen Datensatz möglichst kompakt graphisch aufzubereiten. Dazu wurde für alle Standorte einer Landklasse ein Mondrian-Matrix-Plot erstellt. Anhand dieser Darstellung ist ersichtlich, dass an den nördlichen Standorten mehr Nymphen geflaggt wurden als an den südlichen Standorten. Diese Beobachtungen sind jedoch konträr zu der Karte in Brugger et al. 2016, die ein Nord-Süd-Gefälle der Zeckendichte beschreiben. Eine Ursache für diesen Unterschied könnten die unterschiedlichen Arbeitsgruppen sein. Die Arbeitsgruppen verwenden zwar die gleiche, standardisierte Flaggmethode, trotzdem ist beispielsweise die Auswahl der Standorte ein subjektiver Faktor, der aber enorme Auswirkungen auf das Endergebnis haben kann.

Der hier präsentierte Datensatz der monatlichen Zeckendichte über ganz Deutschland an 86 Standorten ist ein wichtiger Baustein für weiterführende Analysen und so für das Verständnis der Zeckendynamik. Derzeit läuft die Feldstudie noch und es ist geplant, sie mit Ende 2020 abzuschließen.

5. Zusammenfassung

Feldstudie zur Bestimmung der Zeckendichte in Deutschland: Auswertung der Jahre 2018–2019

In Deutschland wurde Anfang 2018 eine Feldstudie gestartet, bei der an 86 Standorten Zecken gesammelt werden. Mit der standardisierten Flagg-Methode wird die monatliche Zeckendichte pro 100 m² bestimmt. Die Standorte wurden in fünf Landklassen unterteilt: (A) landwirtschaftliche Flächen, (B) Laubwälder, (C) Nadelwälder, (M) Mischwälder und (U) städtische Grünflächen. Dieser einzigartige Datensatz zur monatlichen Aktivität von Zecken wird in weiterer Folge u. a. zur Erstellung monatlichen Zeckendichtekarte verwendet. Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden die Beobachtungsdaten der Jahre 2018–2019 für *Ixodes ricinus*-Nymphen graphisch und deskriptiv ausgewertet. Zusätzlich wurden die Zeitreihen als Blockdiagramme und Mondrian-Matrix-Plots dargestellt. Die höchste mittlere Nymphendichte (Nymphen/100 m²) wurde in der Landklasse M, gefolgt von den Landklassen U, C, B und A geflaggt. Auch die beobachtete saisonale Aktivität an den Standorten korreliert sehr hoch innerhalb der jeweiligen Landklasse. Es wurde gezeigt, dass sich vor allem Mondrian-Matrix-Plots besonders gut für die kompakte Darstellung des saisonalen Aktivitätsmusters mehrerer Standorte eignen. Basierend auf diesem Datensatz und Analysen können Gebiete mit erhöhten Vorkommen von Zecken und Zecken-übertragenen Krankheitserreger identifiziert werden.

6. Summary

Field study to determine the tick density in Germany:

Evaluation of the years 2018–2019

In Germany, a field study was started at the beginning of 2018 in which ticks are collected at 86 locations. The monthly tick density per 100 m² is determined using the standardized flagg method. The sites were divided into five land classes: (A) agricultural areas, (B) deciduous forests, (C) coniferous forests, (M) mixed forests, and (U) urban areas. This unique data set on monthly activity of ticks will subsequently be used to model monthly tick density maps. As part of this diploma thesis, the observation data for the years 2018–2019 for *Ixodes ricinus* nymphs were evaluated graphically and descriptively. In addition, the time series were shown as block diagrams and Mondrian matrix plots. The highest mean nymph density (nymphs per 100 m²) was flagged in land class M, followed by land classes U, C, B, and A. The seasonal activity observed at the sites correlates very highly within the each land class. It was shown that Mondrian matrix plots are particularly suitable for a compact representation of the seasonal activity pattern at several sites. Based on this data set and analyses, areas with increased incidence of ticks and tick-borne pathogens can be identified.

7. Literaturverzeichnis

- Beck S, Schreiber C, Schein E, Krücken E, Baldermann C, Pachnicke S, Von Samson-Himmelstjern G, Kohn B. 2014. Tick infestation and prophylaxis of dogs in northeastern Germany: A prospective study. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 5(3): 336–342.
- Boehnke D, Brugger K, Pfäffle 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. *International Journal of Health Geographics*, 14: 23.
- Brugger K, Boehnke D, Petney T, Dobler G, Pfeffer M, Silaghi C, Schaub GA, Pinior B, Dautel H, Kahl O, Pfister K, Süß J, Rubel F. 2016. A Density Map of the tick-borne encephalitis and Lyme borreliosis Vector *Ixodes ricinus* (*Acari: Ixodidae*) for Germany. *Journal of Medical Entomology*, 53(6): 1292–1302.
- Brugger K, Walter M, Chitimia-Dobler L, Dobler G, Rubel F. 2018. Forecasting next season's *Ixodes ricinus* nymphal density: the example of southern Germany 2018. *Experimental and Applied Acarology*, 75: 281–288.
- Brugger K. 2019. Deutschlandkarte der Dichte des FSME-Virus-Vektor *Ixodes ricinus*. In: Rubel F, Schiffner-Rohe J, Hrsg. FSME in Deutschland: Stand der Wissenschaft. Baden-Baden: Deutscher Wissenschafts-Verlag, 67–80.
- Chitimia-Dobler L, Rieß R, Kahl O, Wölfel S, Dobler G, Nava S, Estrada-Peña A. 2018. *Ixodes inopinatus* – occurring also outside the Mediterranean region. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 9:196–200.
- Chitimia-Dobler L, Lemhöfer G, Król N, Bestehorn M, Dobler G, Pfeffer M. 2019a. Repeated isolation of tick-borne encephalitis virus from adult *Dermacentor reticulatus* ticks in an endemic area in Germany. *Parasites and Vectors*, 12: 90.
- Chitimia-Dobler L, Schaper S, Rieß R, Bitterwolf K, Frangoulidis D, Bestehorn M, Springer A, Oehme R, Drehmann M, Lindau A, Mackenstedt U, Strube C, Dobler G. 2019b. Imported *Hyalomma* ticks in Germany in 2018. *Parasites and Vectors* 12: 134.
- Daniel M, Ziteka K, Danielová V, Kříž B, Valter J, Kott I. 2006. Risk assessment and prediction of *Ixodes ricinus* tick questing activity and human tick-borne encephalitis infection in space and time in the Czech Republic. *International Journal of Medical Microbiology*, 296: 41–47.
- Dautel H, Kahl O, Knülle W. 1991. The soft tick *Argas reflexus* (F.) (*Acari, Argasidae*) in urban environments and its medical significance in Berlin (West). *Journal of Applied Entomology*, 111(1-5): 380–390.

- Deplazes P, Eckert J, Von-Samson-Himmelstjerna G, Zahner H. 2013. Lehrbuch der Parasitologie für die Tiermedizin. Stuttgart: Enke Verlag, 385–388.
- Diuk-Wasser MA, Vourc'h G, Cislo P, Hoen AG, Melton F, Sarah A, Hamer SA, Rowland M, Cortinas R, Hickling GJ, Tsao JI, Barbour AG, Kitron U, Piesman J, Fish D. 2010. Field and climate-based model for predicting the density of host-seeking nymphal *Ixodes scapularis*, an important vector of tick-borne disease agents in the eastern United States. *Global Ecology and Biogeography*, 19: 504–514.
- Diuk-Wasser MA, Hoen AG, Cislo P, Brinkerhoff R, Hamer SA, Rowland M, Cortinas R, Vourc'h G, Melton F, Hickling GJ, Tsao JI, Bunikis J, Barbour AG, Kitron U, Piesman J, Fish D. 2012. Human risk of infection with *Borrelia burgdorferi*, the Lyme disease agent, in eastern United States. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 86(2): 320–327.
- Dobson, ADM. 2014. History and complexity in tick-host dynamics: discrepancies between 'real' and 'visible' tick populations. *Parasites and Vectors*, 7: 231.
- Drehmann M, Chitimia-Dobler L, Lindau A, Frank A, Mai S, Facht K, Hauck D, Knoll S, Strube C, Lühken R, Fischer D, Ziegler L, Mackenstedt U. 2019. *Ixodes frontalis*: a neglected but ubiquitous tick species in Germany. *Experimental and Applied Acarology*, 78: 79–91.
- Eisen RJ, Eisen L, Lane RS. 2006. Predicting density of *Ixodes pacificus* nymphs in dense woodlands in Mendocino County, California, based on geographic information systems and remote sensing versus field-derived data. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 74(4): 632–640.
- Estrada-Peña A. 2003. The relationships between habitat topology, critical scales of connectivity and tick abundance *Ixodes ricinus* in a heterogeneous landscape in northern Spain. *Ecography*, 26(5): 661–671.
- Estrada-Peña A, Martinez JM, Sanchez Acedo C, Quilez J, Del Cacho E. 2004. Phenology of the tick, *Ixodes ricinus*, in its southern distribution range (central Spain). *Medical and Veterinary Entomology*, 18(4): 387–397.
- Estrada-Peña A, Nava S, Horak IG, Guglielmone AA. 2010. Using ground-derived data to assess the environmental niche of the spinose ear tick, *Otobius megnini*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 137(2): 132–142.
- Estrada-Peña A, Nava S, Petney T. 2014. Description of all the stages of *Ixodes inopinatus* n. sp. (Acari: Ixodidae). *Ticks and Tick-borne Diseases*, 5(6), 734–743.

- Estrada-Peña A. 2015. Ticks as vectors: Taxonomy, biology and ecology. *OIE Revue Scientifique et Technique*, 34(1): 53-65.
- Europäische Umweltagentur. 2019. CORINE Landbedeckung und -nutzung. Version 20, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-3> (Zugriff 10.05.2020)
- European Centre for Disease Prevention and Control. <https://www.ecdc.europa.eu/en/tick-borne-diseases> (Zugriff 11.02.2020)
- Glass GE, Schwartz BS, Morgan JM, Johnson DT, Noy PM, Israel E. 1995. Environmental risk factors for Lyme disease identified with geographic information systems. *American Journal of Public Health*, 85(7).
- Guglielmone AA, Robbins RG, Apanaskevich DA, Petney TN, Estrada-Peña A, Horak IG, Shao R, Barker SC. 2010. The *Argasidae*, *Ixodidae* and *Nuttalliellidae* (*Acari: Ixodida*) of the world: a list of valid species names. *Zootaxa*, 2528: 1–28.
- Hauck D, Springer A, Pachnicke S, Schunack B, Fingerle V, Strube C. 2019. *Ixodes inopinatus* in northern Germany: occurrence and potential vector role for *Borrelia* spp., *Rickettsia* spp., and *Anaplasma phagocytophilum* in comparison with *Ixodes ricinus*. *Parasitology Research*, 118(12): 3205–3216.
- Kahl O. 1989. Untersuchungen zum Wasserhaushalt von Zecken (*Acari: Ixodidae*) im Laufe ihrer postembryonalen Entwicklung unter besonderer Berücksichtigung der aktiven Wasserdampfsorption bei gesogenen Stadien [Inaugural-Dissertation]. Berlin: Freie Universität.
- Kahl O, Petney TN. 2019. Biologie und Ökologie des wichtigsten FSME-Virus-Überträgers in Mitteleuropa, der Zecke *Ixodes ricinus*. In: *FSME in Deutschland: Stand der Wissenschaft*. Erste Auflage. Baden-Baden: Deutscher Wissenschafts-Verlag, 23–35.
- Kazimírová M, Štibrániová I. 2013. Tick salivary compounds: their role in modulation of host defences and pathogen transmission. *Front Cell Infect Microbiol.*, 20(3): 43.
- Killilea ME, Swei A, Lane RS, Briggs CJ, Ostfeld RS. 2008. Spatial dynamics of Lyme disease: A review. *EcoHealth*, 5: 167–195.
- Kubiak K, Dziekońska-Rynko J, Szymańska H, Kubiak D, Dmitryjuk M, Dzika E. 2019. Questing *Ixodes ricinus* ticks (*Acari, Ixodidae*) as a vector of *Borrelia burgdorferi* sensu lato and *Borrelia miyamotoi* in an urban area of north-eastern Poland. *Experimental and Applied Acarology*, 78: 113–126.

- Latif AA, Putterill JF, de Klerk DG, Pienaar R, Mans BJ. 2012. *Nuttalliella namaqua* (*Ixodoidea: Nuttalliellidae*): first description of the male, immature stages and re-description of the female. PLoS One, 7(7): 41651.
- 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. Parasites and Vectors, 5: 149.
- Lindgren E, Tälleklint L, Polfeldt T. 2000. Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick *Ixodes ricinus*. Environmental Health Perspectives, 08(2): 119–123.
- Lucius R, Loos-Frank B. 2008. *Acari*, In: Die Biologie von Parasiten. Zweite Auflage. Berlin Heidelberg: Springer, 423–451.
- Mans BJ, Featherston J, Kvas M, Pillay KA, De Klerk DG, Pienaar R, De Castro MH, Schwan TG, Lopez JE, Teel p, Perez de Leon AA, Sonenshine DE, Egekwu NI, Bakkes DK, Heyne H, Kanduma EG, Nyangiwe N, Bouattour A, Latif AA. 2019. *Argasid* and *ixodid* systematics: Implications for soft tick evolution and systematics, with a new argasid species list. Ticks and Tick-borne Diseases. 10(1): 219–240.
- Marchant A, Le Coupanec A, Joly C, Perthame E, Sertour N, Garnier M, Godard V, Ferquel E, Choumet V. 2017. Infection of *Ixodes ricinus* by *Borrelia burgdorferi* sensu lato in peri-urban forests of France. PLoS ONE, 12(8): e0183543.
- Materna J, Daniel M, Metelka L, Harcarik J. 2008. The vertical distribution, density and the development of the tick *Ixodes ricinus* in mountain areas influenced by climate changes (The Krkonose Mts., Czech Republic). International Journal of Medical Microbiology, 298(1): 25–37.
- Medlock JM, Shuttleworth H, Copley V, Hansford KM, Leach S. 2012. Woodland biodiversity management as a tool for reducing human exposure to *Ixodes ricinus* ticks: A preliminary study in an English woodland. Journal of Vector Ecology, 37(2): 307–315.
- Medlock JM, Hansford KM, Bormane A, Derdakova M, Estrada-Peña A, George JC, Golovljova I, Jaenson TGT, Jensen JK, Jensen PM, Kazimirova M, Oteo JA, Papa A, Pfister K, Plantard O, Randolph SE, Rizzoli A, Santos-Silva MM, Sprong H, Vial L, Hendrickx G, Zeller H, Van Bortel W. 2013. Driving forces for changes in geographical distribution of *Ixodes ricinus* ticks in Europe. Parasites and Vectors, 6: 1.
- Mehlhorn B, Mehlhorn H. 2009. Zecken auf dem Vormarsch. Düsseldorf: University Press, 1–174.

- Mehlhorn H, Mehlhorn T, Müller M, Vogt M, Rissland J. 2016. Tick survey for prevalent pathogens in peri-urban recreation sites in Saarland and Rhineland-Palatinate (Germany). *Parasitol Res.* 115: 1167–1172.
- Meiswinkel R, Scolamacchia F, Dik M, Mudde J, Dijkstra E, Van der Ven IJK, Elbers ARW. 2014. The Mondrian matrix: *Culicoides* biting midge abundance and seasonal incidence during the 2006–2008 epidemic of bluetongue in the Netherlands. *Medical and Veterinary Entomology*, 28: 10–20.
- Pantchev N, Pluta S, Huisinga E, Nather S, Scheufelen M, Globokar Vrhovek M, Schweinitz A, Hampel H, Straubinger RK. 2015. Tick-borne Diseases (Borreliosis, Anaplasmosis, Babesiosis) in German and Austrian Dogs: Status quo and Review of Distribution, Transmission, Clinical Findings, Diagnostics and Prophylaxis. *Parasitol Res*, 114: 19–54.
- Papa A, Chaligiannis I, Xanthopoulou K, Papiokim M, Papnastasiou S, Storiaki S. 2011. Ticks parasitizing humans in Greece. *Vector Borne Zoonotic Disease*, 11: 539–542.
- Petney TN, Moser E, Littwin N, Pfäffle M, Muders SV, Taraschewski H. 2015. Additions to the “annotated checklist of the ticks of Germany”: *Ixodes acuminatus* and *Ixodes inopinatus*. *Systematic and Applied Acarology*, 20(2): 221–224.
- Richter D, Matuschka F-R, Spielman A, Mahadevan L. 2013 How ticks get under your skin: insertion mechanics of the feeding apparatus of *Ixodes ricinus* ticks. *Proceedings of the Royal Society*, 280: 20131758.
- Robert Koch-Institut. 2019. FSME: Risikogebiete in Deutschland (Stand: Januar 2019). *Epidemiologisches Bulletin*, 2019/ 7.
- Rubel F, Brugger K, Monazahian M, Habedank B, Dautel H, Leverenz S, Kahl O. 2014. The first German map of georeferenced ixodid tick locations. *Parasites and Vectors*, 10(7): 477.
- Rubel F, Brugger K, Walter M, Vogelgesang JR, Didyk YM, Fu S, Kahl O. 2018. Geographical distribution, climate adaptation and vector competence of the Eurasian hard tick *Haemaphysalis concinna*. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 9(5): 1080–1089.
- Rubel F, Brugger K, Schauburger G, Walter M. 2020. *Grundlagen der Statistik und Epidemiologie [Lehrveranstaltungs-Skript]*. Wien: Veterinärmedizinische Universität.
- Silaghi C, Nieder M, Sauter-Louis C, Knubben-Schweizer G, Pfister K, Pfeffer M. 2018. Epidemiology, genetic variants and clinical course of natural infections with *Anaplasma phagocytophilum* in a dairy cattle herd. *Parasites and Vectors*, 11: 20.

- Sonenshine DE, Anderson JM. 2014. Mouthparts and digestive system: anatomy and molecular biology of feeding and digestion. In: Sonenshine DE, Roe RM. Biology of ticks. Erste Ausgabe. Oxford: Oxford University Press, 122–162.
- Stanek G, Hofmann H. 1994. Krank durch Zecken: FSME und Lyme-Borreliose: Prävention, Infektion, Therapie. Wien: Verlag Wilhelm Maudrich.
- Süss J, Schrader C. 2004a. Durch Zecken übertragene humanpathogene und bisher als apathogen geltende Mikroorganismen in Europa, Teil I: Zecken und Viren. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz. 47: 392–404.
- Süss J, Fingerle V, Hunfeld, KP, Schrader C, Wilske B. 2004b. Durch Zecken übertragene humanpathogene und bisher als apathogen geltende Mikroorganismen in Europa, Teil II: Bakterien, Parasiten und Mischinfektionen. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz. 47: 470–486.
- Tatchell R. 1969. The ionic regulatory role of the salivary secretion of the cattle tick, *Boophilus microplus*. Journal of Insect Physiology, 15(8): 1421–1430.
- Theus M. 2002. Interactive data visualization using Mondrian. Journal of Statistical Software, 7(11): 1–9.
- Uilenberg G. 1995. International collaborative research: significance of tick-borne hemoparasitic diseases to world animal health. Veterinary Parasitology 57(1–3): 19-41.
- Universität Hohenheim, Deutschland. Braune Hundezecke gesucht: Uni Hohenheim forscht an eingewanderter Zeckenart. https://agrar.uni-hohenheim.de/105824?tx_ttnews%5Btt_news%5D=44034&cHash=aa0650fa6b0160839d6b86950379eed0 (Zugriff 14.02.2020)
- Universität Zürich, Schweiz. Methodenberatung: Korrelation nach Bravais und Pearson. https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/zusammenhaenge.html#1.1.__Korrelation_nach_Bravais_und_Pearson (Zugriff 15.05.2020)
- Vancová M, Bílý T, Šimo L, Grubhoffer L, Nebesařová J. 2020. Three-dimensional reconstruction of the feeding apparatus of the tick *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae): a new insight into the mechanism of blood-feeding. Scientific Reports, 10(1): 165.
- Vogelgesang J. 2017. Methodenvergleich zum Sammeln von Schildzecken [Diplomarbeit]. Wien: Veterinärmedizinische Universität.
- Walter M, Brugger K, Rubel F. 2016. The ecological niche of *Dermacentor marginatus* in Germany. Parasitology Research, 115(6): 2165–2174.
- Weiß C. 2019. Basiswissen Medizinische Statistik. 7. Aufl. Berlin: Springer-Verlag GmbH, 61–63.

- Zintl A, Mulcahy G, Skerrett HE, Taylor SM, Gray JS. 2003. *Babesia divergens*, a bovine blood parasite of veterinary and zoonotic importance. Clin Microbiol Rev, 10: 1128.
- Zubriková D, Wittmann M, Hönig V, Švec P, Víchová B, Essbauer S, Dobler G, Grubhoffer L, Pfister K. 2020. Prevalence of tick-borne encephalitis virus and *Borrelia burgdorferi* sensu lato in *Ixodes ricinus* ticks in Lower Bavaria and Upper Palatinate, Germany. Ticks and Tick-borne Diseases, 101375.

8. Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1:** Systematik der Zecken (*Ixodida*). Eigene Darstellung nach Deplazes P, Eckert J, Von-Samson-Himmelstjerna G, Zahner H. 2013. Lehrbuch der Parasitologie für die Tiermedizin. Stuttgart: Enke Verlag, 385–388.
- Abb. 2:** Entwicklungszyklus von *Ixodes ricinus*. Baxter Deutschland GmbH. https://static.geo.de/bilder/96/51/758/article_image_small/5a0267aed6dc28fbf2f11f5526ac0557.gif (Zugriff 19.02.2020)
- Abb. 3:** Kopf von *Ixodes ricinus* mit Pedipalpen (P), Hypostom (H) und Cheliceren (C). ZHAW Phytomedizin. Holzbock, *Ixodes ricinus*: REM-Aufnahme Zeckenkopf mit Stechapparat. <https://zecke-tique-tick.ch/wp-content/uploads/2016/07/1468139099-92973deb8ba9d91bd1339ef4c7657ef7-300x200.jpg> (Zugriff 13.02.2020)
- Abb. 4:** Schematische Darstellung eines saugenden Schildzeckenweibchens (Längsschnitt), das während des Blutsaugens von einem Männchen begattet wird. (A) After, (BG) Blutgefäß, (BL) Blutlache, (CU) Cutis, (ED) Enddarm, (EP) Epidermis, (GÖ) Geschlechtsöffnung, (MD) Mitteldarm, (MS) Malpighi-Gefäß, (OV) Ovar, (SP) Speicheldrüse. Mehlhorn B, Mehlhorn H. 2009. Zecken auf dem Vormarsch. Düsseldorf: University Press, 1–174.
- Abb. 5:** Karte mit den Standorten der Feldstudie, an denen seit Anfang 2018 monatlich Zecken gesammelt werden. Zur Verfügung gestellt von Priv.-Doz. Dr. Katharina Brugger.
- Abb. 6 bis Abb. 38:** eigene Darstellungen.