

Bastian Heß¹, Peter Baufeld¹, Anto Raja Dominic², Christoph Menz³, Anne Reißig⁴, Jörn Strassemeyer², Timm Waldau², Anne Wilstermann¹, Olaf Zimmermann⁴, Gritta Schrader¹

Modellierung klimasensitiver Schadorganismen in der Pflanzengesundheit

Modelling of climate-sensitive pests in plant health

Zusammenfassung

Klimasensitive Schadorganismen sind Arten, deren Risiko einen Schaden zu verursachen sich aufgrund der vorhergesagten klimatischen Veränderungen voraussichtlich erheblich verändern wird. Damit stellen sie eine besondere Herausforderung für die Pflanzengesundheit dar. Zur Vorhersage des Etablierungs- und Ausbreitungspotenzials dieser Schadorganismen ist eine Bewertung unter verschiedenen Umwelt- und Managementszenarien unerlässlich. Ein effizientes Werkzeug zur Untersuchung des Risikos klimasensitiver Schadorganismen (SO) sind prozess-orientierte Simulationsmodelle. Im Rahmen des Projektes „ProgRAMM“ wird ein solches Modell, das auf Grundlage artspezifischer physiologischer Parameter und Verbreitungseigenschaften arbeitet, entwickelt. Mit diesem Modell wird es möglich sein, die o.g. Vorhersagen und Szenarioanalysen zu realisieren und langfristig einen übertragbaren, verallgemeinerten Open-Source-Modellrahmen als Standardverfahren zur Unterstützung von pflanzengesundheitlichen Risikoanalysen klimasensitiver SO zu etablieren. Dabei steht besonders im Vordergrund, dass das Modell leicht erweiterbar ist und sich leicht mit einzelnen Wirtspflanzen, aktuellen Klimadatensätzen sowie neuen An-/Abwesen-

heitsdaten der SO koppeln lässt. Die Ergebnisse des Modells werden in Form von Verbreitungs- und Risikokarten grafisch dargestellt. Diese Karten dienen der verbesserten Abschätzung und Darstellung der wirtschaftlichen und ökologischen Risiken durch die Schadorganismen in Risikoanalysen. Zusätzlich kann durch die Identifizierung von Hochrisikogebieten für die Ansiedlung von SO, die Planung von Monitoring-Aktivitäten unterstützt werden. Das Modell wird open-source gehalten und um verschiedene Untermodelle sowie artspezifische Funktionen und Parametrisierung erweiterbar sein, damit die Übertragbarkeit auf möglichst viele Schadorganismengruppen (Pilze, Insekten, Milben, Nematoden, Bakterien) sichergestellt ist.

Stichwörter: Monitoring, klimasensitive Schadorganismen, Pflanzengesundheit, invasive Arten, Risikoanalyse, Modellierung, Ausbreitung, Schadinsekten

Abstract

Climate-sensitive pests are those whose risk of causing damage is likely to change significantly due to predicted climatic changes. They therefore pose a particular chal-

Affiliationen

¹ Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für nationale und internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit, Braunschweig

² Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

³ Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung – Klimaresilienz, Potsdam

⁴ Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Referat 33 – Biologische Diagnosen, Pflanzengesundheit

Kontaktanschrift

Bastian Heß, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für nationale und internationale Angelegenheiten der Pflanzengesundheit, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, E-Mail: bastian.hess@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

19. Mai 2020

lenge to plant health. In order to predict the establishment and spread potential of these pests, an assessment under various environmental and management scenarios is essential. Process-oriented simulation models are an efficient tool to investigate the occurrence and spread of climate-sensitive pests. In the project 'ProGRAMM' (Proactive phytosanitary risk analysis through modelling and monitoring: adaptation to long-term risks caused by climate-sensitive pests) such a model based on species-specific physiological parameters and distribution characteristics is being developed. With this model the above mentioned predictions and scenario analyses can be carried out. A transferable, generalized open-source modelling framework will be established as a standard procedure to support plant health risk analyses (PRA) of climate-sensitive pests. A particular focus is on the fact that the model is easily extensible and that it can be easily coupled with a different set of additional host plants, plant databases, different climate data sets as well as new presence/absence data of pests. The results of the model are presented graphically in the form of distribution and risk maps. The results can be used in PRAs to better assess the economic and ecological risks of a pest. In addition, the high-risk areas for the occurrence of pests will be identified to support the planning of efficient monitoring activities. The open source license along with the modular nature of the model components will ensure transferability to pest groups such as fungi, insects, mites, nematodes and bacteria. This will also enable the extension of the model by different sub-models as well as by species-specific functions and parameterization.

Key words: Monitoring, Species distribution model (SDM), pest risk analysis (PRA), invasive species, plant health, climate-sensitive pests, ecological modelling, agricultural insect pests

Hintergrund

Der zunehmende internationale Handel und aktuelle Klimaprognosen stellen auch die Pflanzengesundheit vor große Aufgaben und Unsicherheiten. Denn mit einem Anstieg der global gehandelten Warenmengen auch aus Ländern mit einem wärmeren Klima, das unserem zukünftigen Klima entsprechen könnte, steigt auch das Potenzial für die Einschleppung und Etablierung gebietsfremder Arten. Immer wieder gelangen so neue, potenzielle Schadorganismen (SO) aus Drittländern in die Europäische Union. Das Risiko einen Schaden zu verursachen, ist bei den sogenannten klimasensitiven Schadorganismen aufgrund der aktuellen und vorhergesagten klimatischen Veränderungen, voraussichtlich erheblichen Änderungen unterworfen. Um die großen Ungewissheiten bezüglich der langfristigen Risikoveränderung aufgrund des Klimawandels abschätzen zu können, bedarf es verschiedener Betrachtungsweisen und Analyse- sowie Vorhersagewerkzeuge. Besonders wichtig ist es herauszufinden welche Schadorganismen sich

unter den zukünftigen klimatischen Gegebenheiten bei uns ansiedeln können und welche Schäden sie anrichten können. Von großem Interesse ist dabei, wann mit dem Auftreten und der Etablierung von SO zu rechnen ist, wo genau die SO zuerst auftreten und wie sie sich weiter ausbreiten werden. Ein wesentlicher Faktor für eine mögliche Besiedlung durch einen SO ist die Anwesenheit seiner Wirtspflanzen. Bei Abwesenheit oder nur geringer Dichte der Wirtspflanzen ist sowohl die Wahrscheinlichkeit einer Etablierung des SO, als auch das Risiko für Schäden als gering einzustufen. Kommen hingegen die Wirtspflanzen in großen Mengen vor und sind von hoher ökologischer oder ökonomischer Bedeutung, so besteht ein großes Risiko für die Etablierung und Ausbreitung des SO und somit für ökonomische und ökologische Schäden. Die Abschätzung und Bewertung des Risikos von SO im Hinblick auf die Ansiedlung in Deutschland sowie dem möglichen Schaden an Wild- und Kulturpflanzen ist daher von großer Wichtigkeit.

Halyomorpha halys als Modellorganismus

Ein Beispiel für eine besonders invasive Art mit einem hohen Schadpotenzial ist die Marmorierte Baumwanze (*Halyomorpha halys*) (Abb. 1). Aus ihrem ursprünglichen Verbreitungsgebiet in Ostasien ist sie mit Warenlieferungen in die Schweiz gelangt, wurde dort 2004 (CLAEREBOUT et al., 2018) nachgewiesen und hat sich seither in Europa stark ausgebreitet. Seit 2011 ist sie auch in Deutschland nachgewiesen und setzt ihre Ausbreitung unvermindert fort (HAYE & ZIMMERMANN, 2017) (Abb. 2). Dabei begünstigt der Klimawandel durch mildere Winter das ohnehin große Überlebens- und Ausbreitungspotenzial der Wanze. *H. halys* hat eine breite ökologische Potenz und ist sehr polyphag (WERMELINGER et al., 2008). In ihrem über 300 Arten umfassenden Wirtspflanzenspektrum befinden sich auch viele wichtige Kulturpflanzen, Obstarten, Strauchbeeren und Gemüse (WERMELINGER et al., 2008), daher besitzt die Art ein hohes Potenzial für wirtschaftliche Schäden. Ein weiterer Grund für ihr starkes Ausbreitungsvermögen ist ihre Eigenschaft sich passiv ‚per Anhalter‘ zu verbreiten. Die Wanzen nutzen dabei anthropogene Infrastruktur und fahren in und auf LKWs, PKWs, Fähren und anderen Fortbewegungsmitteln mit (GARIEPY et al., 2015). Durch die Kombination dieser verschiedenen Eigenschaften birgt die Marmorierte Baumwanze ein großes Risiko für Deutschland und die EU. Da *H. halys* schon weit verbreitet und eine Ausrottung nicht mehr möglich ist, erfüllt sie nicht mehr die Anforderungen für einen Quarantäneschadorganismus, stellt aber einen idealen Modell-SO dar um die Etablierungs- und Ausbreitungswahrscheinlichkeit im Modell zu quantifizieren und verifizieren. Im Vordergrund steht dabei die Einbeziehung verschiedener Klima- und Managementszenarien zur Vorhersage von unterschiedlichen Etablierungs- und Ausbreitungsszenarien basierend auf den verfügbaren Daten über heimische Gegebenheiten (klimatische Eignung, Wirtspflanzenvorkom-



Abb. 1. Die invasive Marmorierete Baumwanze (*Halyomorpha halys*) an Kirschlorbeer an einer Autobahnraststätte bei Heidelberg. Foto: O. Zimmermann, LTZ Augustenberg, 2019.

men) und den biologischen artspezifischen Eigenschaften der SO.

Modellierung als effizientes Tool in der Pflanzengesundheit

Einen Ansatz zur Vorhersage der oben genannten Populations- und Ausbreitungsentwicklungen bieten Simulationsmodelle. Man unterscheidet zwei Hauptarten von Ausbreitungsmodellen. Zum einen korrelative, statistische Modelle (bioklimatische Modelle oder Habitat-Modelle), die georeferenzierte Verbreitungspunktinformationen in Beziehung zu Umweltvariablen setzen, die in Verbindung zur Artausbreitung stehen. Mit diesen Informationen lässt sich die Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen der Art an beliebigen anderen Punkten mit entsprechend verfügbaren Umweltvariablen, bestimmen. Diese Modelle unterliegen gewissen Limitierungen für die Prognosen von Invasionen (wenn die SO noch nicht alle theoretisch möglichen Habitate besiedelt haben) und neuen SO-Verteilungen unter dem Einfluss des Klimawandels, die nur mit weiteren Modellkomponenten umgangen werden können (ELITH & LEATHWICK, 2009). Die zweite Art von Modellen sind mechanistische oder prozess-orientierte Simulationsmodelle mit denen auch unter Einsatz limitierter Daten (z. B. bei laufender Ausbreitung/Invasion oder neuen Umweltbedingungen) eine Prognose möglich ist (KEARNEY & PORTER, 2009). Bei diesem Modellansatz werden die physikalisch-chemischen Prozesse der Organismen nachgestellt, was besonders robuste Ergebnisse liefert, da diese Daten unab-

hängig von den Vorkommens-Daten ermittelt werden (KEARNEY & PORTER, 2009). Die Limitierung bei der Verfügbarkeit von artspezifischen Parametern ist bei neuen Schadorganismen dadurch bedingt, dass die Arten hier bisher noch nicht vorkommen und wenig bis keine Erfahrungswerte über die Entwicklung der Art im hiesigen Ökosystem vorliegen. Alternativ können verfügbare Informationen aus anderen Regionen der Erde Anwendung finden, müssen jedoch kritisch betrachtet werden, da viele Faktoren, wie beispielsweise die Verbreitung von natürlichen Gegenspielern der SO oder Anbaupraktiken im Herkunftsland anders sein können. Mit Modellen lassen sich unterschiedliche Szenarien unter Berücksichtigung verschiedener klimatischer, politischer und soziökonomischer Grundbedingungen vorhersagen und analysieren. Dabei ist vor allem die einfache Änderung und Anpassung einzelner Parameter sowie die schnelle Betrachtung großer, zukünftiger Zeiträume von Vorteil. Natürlich birgt ein solcher Modellansatz auch einige Restriktionen, beziehungsweise Eigenheiten, die man bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigen muss. So kann es beispielsweise vorkommen, dass nicht berücksichtigte Effekte oder unbekannte Störgrößen einen Einfluss auf die Verteilung der SO haben und das berechnete Ergebnis dadurch unter- oder überschätzt wird. Zudem kann die Heterogenität der Landschaft in den unterschiedlichen räumlichen Skalen einen nicht berücksichtigten Effekt auf die Verteilung der SO haben.

Im Rahmen des Projektes „ProGRAMM“ (*Proaktive Pflanzengesundheitliche Risikoanalyse durch Modellierung und Monitoring*) entsteht ein prozessorientiertes, zeit-

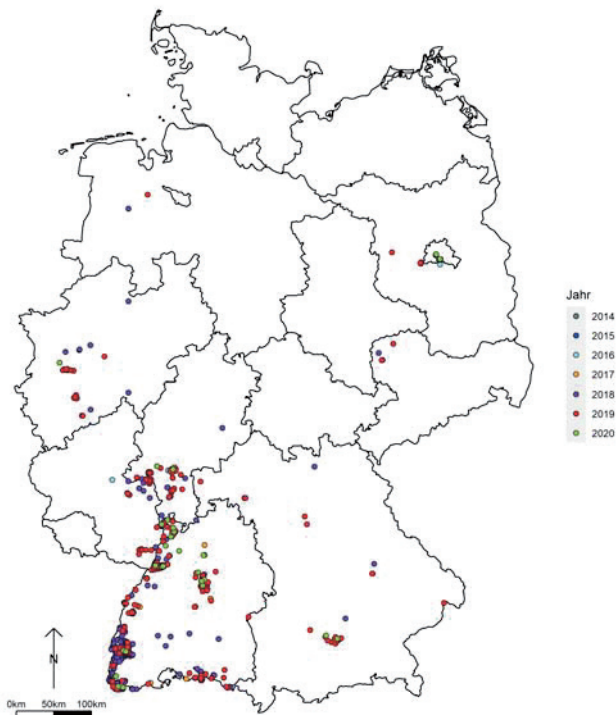


Abb. 2. Ausbreitungsentwicklung von *Halyomorpha halys* in Deutschland in den Jahren 2014 bis 2020. Datengrundlage für die Karte sind Monitorings vom LTZ und JKI sowie vom LTZ gesammelte Daten aus verschiedenen Quellen, wie z. B. den Pflanzenschutzdiensten der Länder, Bürgermeldungen (Citizen Science) (iNaturalist, <https://www.inaturalist.org/>) und Tim Hays (<https://www.halyomorphahalys.com/>), nähere Informationen und aktuelle Monitoringergebnisse auch unter <https://ltz.landwirtschaft-bw.de/pb/Lde/Startseite/Arbeitsfelder/ProgRAMM>.

lich-räumliches Modell zur Simulation des Etablierungspotenzials und der Ausbreitung klimasensitiver Schadorganismen. Mit diesem Modell sollen Vorhersagen und Szenario-Analysen ermöglicht, und langfristig ein Standard-Verfahren zur Unterstützung von pflanzengesundheitlichen Risikoanalysen klimasensitiver Schadorganismen etabliert werden. Das zunächst für Insekten entwickelte übertragbare, generalisierte Open-Source-Modell wird leicht erweiterbar sein und zusätzlich mit neuen Wirtspflanzenvorkommen, aktuellen Klimadatensätzen sowie neuen Monitoringdaten der Schadorganismen gekoppelt werden können. Als erste Anwendung des Modells wird zur Validierung die dynamische Ausbreitung von sechs invasiven Pflanzenschadorganismen, die schon jetzt vom Klimawandel und internationalem Handel profitieren, simuliert und mit im Freiland erhobenen Monitoringdaten verglichen. So ist es möglich, das Modell auf Basis dieser Beobachtungen kontinuierlich zu prüfen und anzupassen. Das Modell prognostiziert die Überle-

bens- und Etablierungswahrscheinlichkeit sowie die mögliche Ausbreitung der Schadorganismen auf Grundlage artspezifischer physiologischer Parameter und Verbreitungseigenschaften.

Das dynamische Modell besteht aus drei verschiedenen Komponenten (siehe Abb. 3): Das **Wirtspflanzen-Submodell** bildet die derzeitige Verteilung möglicher Wirtspflanzen ab und prognostiziert Wirtspflanzenszenarien mit zukünftigen Anbauverhältnissen und Landnutzungsänderungen unter der Berücksichtigung veränderter klimatischer (e.g. mehr Trockenstress) und politischer (e.g. Eiweißpflanzenstrategie) Bedingungen. Das **Habitat-Submodell** berechnet die momentane und zukünftige klimatische Eignung der verschiedenen Gebiete. Dabei werden artspezifisch die Habitat-Eignung und der Einfluss von (Boden-) Feuchtigkeit, Temperatur und Tagesslänge unter Berücksichtigung von Diapausen sowie Hitze-, Kälte-, Feuchte- und Trockenstressereignissen auf das Wachstum und Überleben bestimmt. Das **Ausbreitungs-Submodell** berechnet die wahrscheinliche Ausbreitung des jeweiligen Schadorganismus unter Berücksichtigung verschiedener Ausbreitungsinfrastrukturen, einschließlich anthropogen geschaffener Verbreitungsmöglichkeiten. Zur Anpassung der Ausbreitungsparameter und zur Bestimmung realistischer Startpunkte für die Ausbreitung können Monitoringdaten genutzt werden.

Ausblick und Fazit

Die Ergebnisse des Modells werden grafisch in Form von Verbreitungs- und Risikokarten dargestellt. Diese können zur Unterstützung und Präzisierung von Risikoanalysen

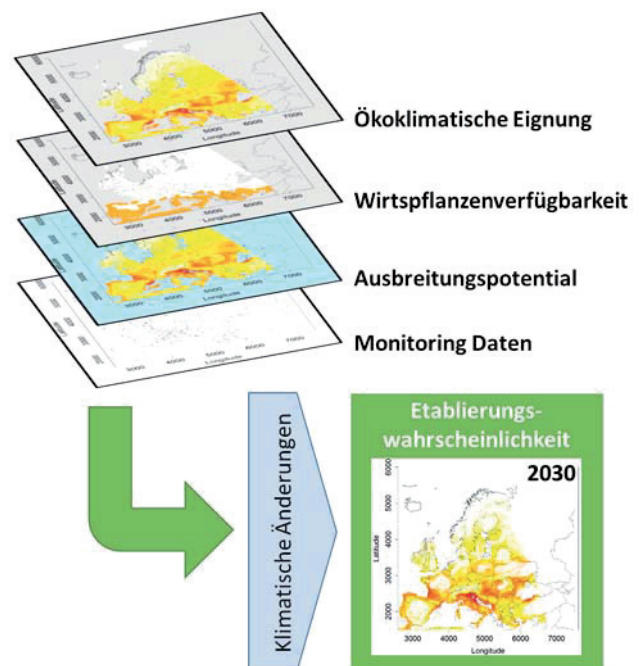


Abb. 3. Layer-Darstellung des Modellkonzepts.

verwendet werden, um die wirtschaftlichen und ökologischen Risiken der Schadorganismen besser vorhersagen zu können. Zusätzlich können Informationen über identifizierte Hochrisikogebiete die Planung von Monitoring-Aktivitäten unterstützen. Darüber hinaus kann der Modell-Output ein Entscheidungshilfemittel z. B. für Pflanzzüchter und -produzenten sein. Das Modell wird open-source verfügbar sein und ist so durch neue Teilmodelle sowie artspezifische Funktionen und Parametrisierungen erweiterbar. Somit ist eine Weiterführung und Übertragbarkeit auf andere Schadorganismengruppen (Pilze, Milben, Nematoden, Bakterien, etc.) möglich. Des Weiteren wird eine frei zugängliche Geo-Datenbank zum Vorkommen der verschiedenen Wirtspflanzen auf dem DWD-Raster mit einer Auflösung von 1×1 km berechnet (DWD, 2019). Die Modellergebnisse, wie Verbreitungs- und Risikokarten oder das Vorkommen der Wirtspflanzen werden per Webservices bereitgestellt und sind somit einfach in andere Web-Tools integrierbar.

Erklärung zu Interessenkonflikten

Die Autoren erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.


Finanzierung

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages; Projektträger ist die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung; ProGRAMM: 313-06.01-28-1-B2.045-16


Literatur

- CLAEREBOUT, S., T. HAYE, E. OLAFSSON, E. PANNIER, J. BULTOT, 2018: Premières occurrences de *Halyomorpha halys* (Stål, 1855) pour la Belgique et actualisation de sa répartition en Europe (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae). *Bulletin de la Société royale belge d'Entomologie* **154**, 205-227.
- DWD, 2019: CDC-OpenData-Server, Access: 12.05.2020, URL: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/Liesmich_intro_CDC-FTP.pdf.
- ELITH, J., J.R. LEATHWICK, 2009: Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* **40**, 677-697, DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159.
- GARIEPY, T.D., A. BRUIN, T. HAYE, P. MILONAS, G. VÉTEK, 2015: Occurrence and genetic diversity of new populations of *Halyomorpha halys* in Europe. *Journal of Pest Science* **88**, 451-460, DOI: 10.1007/s10340-015-0672-0.
- HAYE, T., O. ZIMMERMANN, 2017: Etablierung der Marmorierten Baumwanze, *Halyomorpha halys* (STÅL, 1855), in Deutschland. *HETEROPTERON* **48**, 34-37.
- KEARNEY, M., W. PORTER, 2009: Mechanistic niche modelling: Combining physiological and spatial data to predict species' ranges. *Ecology Letters* **12**, 334-350, DOI: 10.1111/j.1461-0248.2008.01277.x.
- WERMELINGER, B., D. WYNIGER, B. FORSTER, 2008: First records of an invasive bug in Europe: *Halyomorpha halys* Stål (Heteroptera: Pentatomidae), a new pest on woody ornamentals and fruit trees? *Mitteilung der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft* **81**, 1-8.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).