

Christine Dieckhoff, Olaf Zimmermann, Helmut Rauleder, Björn Lutsch, Gabriele Zgraja, Sibylle Rumsey

## Zur Verbreitung und Etablierung von *Trissolcus japonicus* (Ashmead) (Hymenoptera: Scelionidae) in Deutschland

On the distribution and establishment of *Trissolcus japonicus* (Ashmead) (Hymenoptera: Scelionidae) in Germany

### Affiliation

Landwirtschaftliches Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg, Karlsruhe.

### Kontaktanschrift

Dr. Christine Dieckhoff, Landwirtschaftliches Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg, Neßlerstr. 25, 76227 Karlsruhe, E-Mail: christine.dieckhoff@ltz.bwl.de

## Zusammenfassung

Die invasive Marmorierte Baumwanze, *Halyomorpha halys*, verursacht weltweit wirtschaftliche Schäden in Obst- und Gemüsekulturen. Darüber hinaus ist sie ein Lästling, der gerne in großer Anzahl in menschlichen Behausungen überwintert. In den Ursprungsgebieten Ostasiens wird diese Schadwanze durch natürliche Gegenspieler reguliert. Die Schlupfwespe *Trissolcus japonicus* ist durch sehr hohe Parasitierungsraten der Eigelege ein dominanter Antagonist von *H. halys*. Adventive Populationen von *T. japonicus* wurden bereits in Nordamerika und mehreren Ländern Europas nachgewiesen, wo sie sich im Ausbreitungsgebiet von *H. halys* erfolgreich etabliert haben. In dieser Studie werden die Ergebnisse eines Monitorings von *H. halys*-Eigelegen zur Ausbreitung und Etablierung der Schlupfwespe dargestellt. In Deutschland erfolgte der Erstfund von *T. japonicus* im Jahr 2020 an drei Standorten in Baden-Württemberg. Seither haben sich weitere Fundorte innerhalb Baden-Württembergs sowie in Hessen, Rheinland-Pfalz, Bayern und Nordrhein-Westfalen ergeben. *T. japonicus* kann nachweislich erfolgreich unter den klimatischen Bedingungen in Baden-Württemberg überwintern, sich fortpflanzen und innerhalb des Verbreitungsgebietes von *H. halys* ausbreiten. Der aktuelle Status von *T. japonicus* wird dargestellt.

## Stichwörter

***Trissolcus japonicus*, *Halyomorpha halys*, Marmorierte Baumwanze, Biologischer Pflanzenschutz, Nützling, Parasitoid**

## Abstract

The invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*, is an economically important pest of fruit and vegetable crops. It is also a nuisance pest overwintering in large numbers in man-made structures. In its native range, natural biological control plays a key role in regulating this pest. The egg parasitoid *Trissolcus japonicus* is a dominant natural enemy showing high parasitism rates on *H. halys* eggs. Adventive populations of *T. japonicus* have been reported from North America and several European countries with successful establishment within the new distribution areas of *H. halys*. The object of this study was to monitor *H. halys* egg masses to assess the distribution and establishment of *T. japonicus*. In Germany, *T. japonicus* was first reported in 2020 at three sites in Baden-Wuerttemberg. Since then, additional locations have been confirmed in Hesse, Rhineland-Palatinate, Bavaria, and North Rhine-Westphalia. Thus, *T. japonicus* has been able to successfully overwinter, reproduce, and spread within *H. halys*' distribution range in Baden-Wuerttemberg. Here, the current status of presence and establishment of *T. japonicus* in Germany is reported.

Die Marmorierte Baumwanze, *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae), ist eine weltweit invasive Wanzenart, die innerhalb des letzten Jahrzehnts erhebliche wirtschaftliche Schäden in den von ihr neu besiedelten Gebieten verursacht hat. Diese Baumwanze hat ein sehr breites Wirtsspektrum mit weit über 120 Arten in zahlreichen Familien, wobei unter anderem Obstkulturen stark betroffen sind (Lee et al., 2013). Allein in Europa umfasst die Liste der Wirtspflanzen Arten in 32 Familien (Leskey et al., 2022). An der Ostküste der USA entstand im Obstanbau vor allem bei Apfel und Pfirsich, ca. eine Dekade nach Einschleppung von *H. halys*, ein Schaden in Höhe von über 37 Mio. US-Dollar (Leskey et al., 2012). In der Provinz Modena, einem der größten Pfirsichanbauggebiete Italiens, wurden 2016, nur vier Jahre nach dem Erstfund von *H. halys*, einer konservativen Schätzung nach Schäden in Höhe von über 3 Mio. Euro gemeldet (Maistrello et al., 2017).

## Keywords

***Trissolcus japonicus*, *Halyomorpha halys*, brown marmorated stink bug, biological control, natural enemy, parasitoid**

## Einleitung

Die Marmorierte Baumwanze, *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae), ist eine weltweit invasive Wanzenart, die innerhalb des letzten Jahrzehnts erhebliche wirtschaftliche Schäden in den von ihr neu besiedelten Gebieten verursacht hat. Diese Baumwanze hat ein sehr breites Wirtsspektrum mit weit über 120 Arten in zahlreichen Familien, wobei unter anderem Obstkulturen stark betroffen sind (Lee et al., 2013). Allein in Europa umfasst die Liste der Wirtspflanzen Arten in 32 Familien (Leskey et al., 2022). An der Ostküste der USA entstand im Obstanbau vor allem bei Apfel und Pfirsich, ca. eine Dekade nach Einschleppung von *H. halys*, ein Schaden in Höhe von über 37 Mio. US-Dollar (Leskey et al., 2012). In der Provinz Modena, einem der größten Pfirsichanbauggebiete Italiens, wurden 2016, nur vier Jahre nach dem Erstfund von *H. halys*, einer konservativen Schätzung nach Schäden in Höhe von über 3 Mio. Euro gemeldet (Maistrello et al., 2017).



(c) Die Autoren/Die Autorinnen 2024

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>).

Zur Veröffentlichung eingereicht/angenommen: 5. Oktober 2023/17. Januar 2024

Nördlich der Alpen bildet die Baumwanze in der Regel eine Generation pro Jahr aus. Bei günstiger warmer Witterung im Jahresverlauf sind jedoch auch zwei Generationen pro Jahr möglich, wie dies bereits südlich der Alpen zu beobachten ist (Haye et al., 2014; Costi et al., 2017). Dieser hochmobile invasive Schädling hat das Potential, sich weiter innerhalb Europas und weltweit auszubreiten und dort geeignete Habitats zu finden, auch begünstigt durch den Klimawandel (Kriticos et al., 2017). Eine voranschreitende Ausbreitung von *H. halys* gen Norden wird in Deutschland seit mehreren Jahren beobachtet (Hess et al., 2022).

*Halyomorpha halys* wird in ihren Ursprungsgebieten in Ostasien (China, Südkorea, Japan) durch dort ansässige Nützlinge, vor allem Eiparasitoide der Gattungen *Trissolcus*, *Telenomus* (Hymenoptera: Scelionidae), *Anastatus* (Hymenoptera: Eupelmidae) und *Ooencyrtus* (Hymenoptera: Encyrtidae), auf natürliche Weise reguliert (Lee et al., 2013). Wie oft der Fall bei invasiven Arten, finden sich in den neu besiedelten Gebieten kaum effektive Gegenspieler von *H. halys*. Obwohl dort heimische Arten dieser Schlupfwespengattungen vorkommen, sind sie in der Regel aufgrund fehlender Ko-Evolution nicht an den neuen Wirt angepasst und üben nachweislich keinen langfristig stabilen Druck auf die Schadpopulationen aus (Rice et al., 2014; Haye et al., 2015; Abram et al., 2017; Dieckhoff et al., 2017; Leskey & Nielsen, 2018; Moraglio et al., 2020). Für manche Arten, wie z. B. *Trissolcus cultratus* (Mayr), stellen Eigelege der Marmorierten Baumwanze im Falle einer Parasitierung eine ökologische Sackgasse dar (Abram et al., 2014; Konopka et al., 2019). Diese Schlupfwespen finden und parasitieren Eigelege von *H. halys*, sind aber nur bedingt in der Lage, die Immunabwehr der Wanze zu überwinden und sich erfolgreich in den Eiern zu entwickeln (Konopka et al., 2017). Es wurden Versuche durchgeführt mit der in Europa heimischen, weit verbreiteten Art *Anastatus bifasciatus*, die nachweislich *H. halys* erfolgreich parasitieren kann (Stahl et al., 2019a). Ziel der Untersuchungen war es diesen Eiparasitoiden im Rahmen einer Bekämpfungsstrategie mit periodischen inokulativen Freisetzungen aus Massenzuchten gegen *H. halys* einzusetzen. Es zeigte sich allerdings lediglich ein schwacher Einfluss, da die durchschnittliche Parasitierungsrate nur sechs Prozent betrug. Sie ist damit nicht hoch genug, um eine langfristig stabile Populationskontrolle der Marmorierten Baumwanze zu erzielen (Stahl et al., 2019a; Moraglio et al., 2020). Weiterhin ist *A. bifasciatus* ein polyphager Eiparasitoid mit mehreren Wirtsarten in den Ordnungen Hemiptera und Lepidoptera (Stahl et al., 2018), wodurch bei wiederholten Freisetzungen unerwünschte Nebeneffekte auf Nicht-Zielarten nicht ausgeschlossen werden können.

In den Ursprungsgebieten von *H. halys* sind die Arten *T. japonicus* in China und *T. mitsukurii* (Ashmead) (Hymenoptera: Scelionidae) in Japan die dominanten Eiparasitoide der Marmorierten Baumwanze, mit Parasitierungsraten von bis zu 80 % (Arakawa et al., 2004; Yang et al., 2009; Zhang et al., 2017). *Trissolcus japonicus* ist eine 1,15–1,85 mm große Schlupfwespe, welche mehrere Generationen pro Jahr ausbilden kann und als adultes Tier in geschützten Bereichen, wie z. B. unter Baumrinde, überwintert (Yang et al., 2009; Talamas et al., 2017; Lowenstein et al., 2019). Vor dem Hintergrund möglicher Freisetzungen im Sinne biologischer Pflanzenschutzstrategien

in den von *H. halys* neu besiedelten Gebieten und anhaltenden Diskussionen um mögliche negative Effekte auf Nicht-Zielarten, wurden zahlreiche Laborstudien zum Wirtsspektrum von *T. japonicus* durchgeführt (Charles et al., 2019; Haye et al., 2020; Sabbatini-Peverieri et al., 2021). Sie haben gezeigt, dass *T. japonicus* ein enges Wirtsspektrum (oligophage Art) innerhalb der Pentatomoidea hat, mit einer nachgewiesenen deutlichen Präferenz für Eigelege der Marmorierten Baumwanze (Botch & Delfosse, 2018; Haye et al., 2020; 2023).

*Trissolcus japonicus* wurde in den vergangenen Jahren in die von *H. halys* neu besiedelten Gebiete in Nordamerika und Europa mitverschleppt. Sogenannte adventive Populationen wurden mittlerweile 2014 in den USA (Talamas et al., 2015) und 2018 in Kanada (Abram et al., 2019; Garipey & Talamas, 2019) sowie 2017 in der Schweiz (Stahl et al., 2019b), 2018 in Italien (Sabbatini-Peverieri et al., 2018) und 2020 in Deutschland (Dieckhoff et al., 2021) nachgewiesen. Ein Monitoring zum Vorkommen von *T. japonicus* in Nord-Italien und der Schweiz, welches vor den dort behördlich bewilligten Freisetzungen durchgeführt wurde, konnte zeigen, dass sich *T. japonicus* innerhalb von vier Jahren nach den Erstfunden in weite Teile der von *H. halys* besiedelten Gebiete ausgebreitet hatte (Zapponi et al., 2021). CLIMEX-Modelle haben die klimatische Eignung weiter Teile Europas für *T. japonicus* bestätigt, welche sich mit denen von *H. halys* decken (Avila & Charles, 2018; Stoeckli et al., 2020; Yonow et al., 2021). Es ist daher von einer weiter voranschreitenden Ausbreitung von *T. japonicus* in die von *H. halys* bereits neu besiedelten Gebiete auszugehen.

Das Ziel der vorliegenden Studie war ein Monitoring zum aktuellen Stand des Vorkommens und der Ausbreitung von *T. japonicus* in Deutschland mit Schwerpunkt Baden-Württemberg.

## Material und Methoden

Die beschriebenen Fundnachweise stammen aus Erhebungen in den Jahren 2016 bis 2023, wobei das erste schädliche Auftreten von *H. halys* in Deutschland durch zwei Projektarbeiten zwischen 2016 und 2018 miterfasst wurde (Projekt „InvaProtect“ gefördert im Programm INTERREG V Oberrhein, 2016–2018; Projekt „Erfassung der Biodiversität von Schädlingen u. a. der Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*), Nützlingen und Bestäubern an Strauchbeeren unter besonderer Berücksichtigung des Ökolandbaus“ gefördert durch MLR Baden-Württemberg, 2016–2018). Die Erhebungen in den Jahren 2016–2018 bestanden aus der Suche nach Eigelegen von Pentatomidae (*Halyomorpha halys*, *Dolycoris baccarum*, *Coreus marginatus*) in Obstkulturen und deren Saumstrukturen und zusätzliche Saugproben in diesen Strukturen mit einem ‚Vortis‘ Suction Sampler (Burkard Manufacturing Co. Limited, Hertfordshire, UK). Im BMEL-geförderten Projekt ProgRAMM (2019–2022) wurden gezielt Obst- und Gemüsekulturen, naturnahe Saumstrukturen sowie urbane Ziergehölze auf Eigelege von Pentatomidae untersucht und ebenfalls Saugproben genommen. Diese Beprobungen im Rahmen der Projektvorhaben fanden an wechselnden Standorten in Baden-Württemberg zweimal pro Woche statt. Aufgrund laufender Beobachtungen (Hess et al., 2022) wurden Trompetenbaum (*Catalpa* sp.) und Blauglockenbaum (*Paulownia tomentosa*) als besonders attraktive Wirte

für *H. halys* identifiziert und somit ein gezieltes Monitoring auf Eigelege und deren Parasitierung an diesen Gehölzen durchgeführt und Dritten empfohlen. In die Untersuchung flossen Daten von Erhebungen des LTZ Augustenberg und Pflanzenschutzämter benachbarter Bundesländer, des CABI Europe Switzerland sowie von Citizen Scientists in iNaturalist (iNaturalist, 2023) eingegebene und von den Autoren (O.Z., L.B.) als korrekt verifizierte Fundorte ein.

Die Eigelege wurden in Sammelröhrchen aus Glas mit PE Schnappverschluss (45 × 22 mm bzw. 80 × 30 mm) überführt und in Brutschränken bei 23 °C, 16 Stunden Licht/8 Stunden Dunkelheit und 50–70 % rF bis zum Schlupf der Nymphen bzw. Parasitoiden gelagert. Die Schlupfwespen wurden am LTZ sowohl morphologisch als auch molekularbiologisch untersucht. Als Bestimmungsschlüssel wurden Talamas et al. (2017) sowie Tortorici et al. (2019) verwendet. Die molekularbiologische Analyse der rDNA-Regionen ITS1 und ITS2

des Probenmaterials erfolgte entsprechend den Angaben in Dieckhoff et al. (2021). Belegexemplare wurden beim LTZ Augustenberg sowie beim Staatlichen Naturkundemuseum in Karlsruhe und Sequenzen der molekularbiologischen Analysen auf NCBI hinterlegt (Dieckhoff et al., 2021).

Die Karten zur aktuellen Verbreitung von *H. halys* und *T. japonicus* in Deutschland wurden mit ArcGIS Desktop (Version 10.8.1, 2020) erstellt.

## Ergebnisse

### Fundnachweise – Verbreitung

Der Erstdnachweis von *T. japonicus* in Deutschland erfolgte im August 2020 in Heidelberg, Baden-Württemberg (Dieckhoff et al., 2021) (Tab. 1). Es handelt sich dabei um

Tab. 1: Funde von *Trissolcus japonicus* aus Eigelegen von *Halyomorpha halys* und aus Saugproben in Saumstrukturen in Deutschland, gelistet nach Bundesland und Habitat, in dem die Funde erfolgten, in den Jahren 2020–2022. Standorte mit Wiederfinden hervorgehoben.

Bundesland	Jahr	Ort	Habitat	Wirtspflanze	Breitengrad	Längengrad	Anzahl parasitierter Eigelege	Quelle des Probenmaterials		
Baden-Württemberg	2020	Heidelberg	Gemüsebau	<i>Phaseolus vulgaris</i>	49,42981	8,66652	50	1, 2		
			Saumstreifen	unbekannt	49,42981	8,66652	1	1		
		Karlsruhe	Saumstreifen	<i>Cornus</i> sp.	49,00428	8,48963	1	1		
				<i>Helianthus annuus</i>	49,00428	8,48963	1	1		
				<i>Hydrangea quercifolia</i>	49,00428	8,48963	1	1		
				unbekannt	49,00428	8,48963	1	1		
		Stuttgart	Gemüsebau	<i>Cucumis sativus</i>	48,74071	9,32017	1	1		
			2021	Karlsruhe	Urban	<i>Catalpa</i> sp.	49,00389	8,47226	1	1
				<b>Heidelberg</b>	Gemüsebau	<i>Phaseolus vulgaris</i>	49,42981	8,66652	2	1
<b>Karlsruhe</b>	Obstbau			<i>Hydrangea quercifolia</i>	49,00428	8,48963	1	1		
				<i>Ribes rubrum</i>	49,00428	8,48963	3	1		
				<i>Rubus sectio rubus</i>	49,00428	8,48963	2	1		
				<i>Vitis vinifera</i>	49,00428	8,48963	1	1		
Konstanz	Urban			<i>Catalpa</i> sp.	47,67483	9,17436	2	3		
Kressbronn	Urban			<i>Catalpa</i> sp.	47,59507	9,56851	1	3		
					47,59751	9,60239	4	3		
Malsch	Obstbau			<i>Prunus domestica</i> ssp. <i>domestica</i>	48,88177	8,33472	1	1		
				Saumstreifen	unbekannt	48,88677	8,303867	2	1	
Möggingen	Urban			<i>Catalpa</i> sp.	47,76543	9,00386	1	3		
Rheinstetten-Forchheim	Obstbau			<i>Juglans regia</i>	48,967482	8,337274	1	1		
Steißlingen	Urban			<i>Catalpa</i> sp.	47,79815	8,92637	3	3		

Tab. 1: Fortsetzung.

Bundesland	Jahr	Ort	Habitat	Wirtspflanze	Breitengrad	Längengrad	Anzahl parasitierter Eigelege	Quelle des Probenmaterials
	2022	<b>Karlsruhe</b>	Urban	<i>Catalpa</i> sp.	49,0032	8,47092	1	1
					49,00389	8,47226	3	1
		Friedrichshafen	Obstbau	<i>Catalpa</i> sp.	47,66326	9,48237	1	3
		Geisenheim	Gehölz	<i>Paulownia tomentosa</i>	49,98527	7,96484	1	2
		Karlsruhe	Urban	<i>Catalpa</i> sp.	49,004212	8,49813	1	1
		<b>Heidelberg</b>	Gemüsebau	<i>Phaseolus vulgaris</i>	49,42981	8,66652	11	1
		<b>Karlsruhe</b>	Saumstreifen	<i>Cornus</i> sp.	49,00428	8,48963	2	1
		Konstanz	Obstbau	<i>Catalpa</i> sp.	47,685	9,1596	3	3
		Kressbronn	Obstbau	<i>Catalpa</i> sp.	47,59676	9,6003	8	3
		Möggingen	Obstbau	<i>Catalpa</i> sp.	47,76543	9,00386	4	3
				unbekannt	47,76543	9,00386	2	3
		Radolfzell	Obstbau	unbekannt	47,7463	8,9641	5	3
		Ravensburg	Obstbau	unbekannt	47,78604	9,6136	3	3
		<b>Rheinstetten-Forchheim</b>	Ackerbau	<i>Glycine max</i>	48,967482	8,337274	4	1
		<b>Steißlingen</b>	Obstbau	<i>Catalpa</i> sp.	47,79854	8,92784	3	3
				unbekannt	47,79815	8,92637	2	3
		Unbekannt	Gehölz	<i>Cercis</i> sp.			1	4
Bayern	2022	Freising-Weihenstephan	Urban	<i>Catalpa</i> sp.	48,39646	11,724	1	5
		Lindau	Obstbau	<i>Catalpa</i> sp.	47,55629	9,69128	1	3
		München	Urban	<i>Catalpa</i> sp.	48,13485	11,69407	1	1
Hessen	2020	Wiesbaden	Gemüsebau	<i>Phaseolus vulgaris</i>	50,06535	8,2353	1	6
	2021	<b>Wiesbaden</b>	Gemüsebau	<i>Phaseolus vulgaris</i>	50,06535	8,2353	5	6
Rheinland-Pfalz	2021	Bad Kreuznach	Urban	<i>Catalpa</i> sp.	49,8422	7,87481	2	1
		Neustadt	Urban	<i>Catalpa</i> sp.	49,34568	8,14833	1	7
		Oppenheim	Urban	<i>Catalpa</i> sp.	49,8527	8,36277	3	7
	2022	Landau	Urban	<i>Catalpa</i> sp.	49,20225	8,11584	2	7
		Schifferstadt	Urban	<i>Catalpa</i> sp.	49,37948	8,39139	2	7
					49,37144	8,38207	1	7
Nordrhein-Westfalen	2023	Bonn	Urban	<i>Catalpa</i> sp.	50,726044	7,092514	1	8

Quelle des Probenmaterials: 1 LTZ Augustenberg, 2 Hochschule Geisenheim University, 3 Kompetenzzentrum Obstbau-Bodensee, 4 Gartenberatung, 5 Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, 6 Landesbetrieb Landwirtschaft (LLH) Hessen, 7 Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) Rheinpfalz, 8 CABI Europe-Schweiz

ein Anbaugesamt, das von Gemüse- und Obstbaubetrieben sowie Haus- und Kleingärten geprägt ist. Fast zeitgleich im Jahr 2020 wurde *T. japonicus* auch in einer Obstanlage des LTZ in Karlsruhe-Durlach nachgewiesen. Die Entfernung zwischen den beiden Fundorten beträgt ca. 49 km. In den darauffolgenden Jahren von 2021 bis 2023 wurde *T. japonicus* in denselben Gebieten mehrfach wiedergefunden. Die

Nachweise erfolgten auch in urbanen Gebieten an Wirtspflanzen wie z. B. *Catalpa* sp. (Trompetenbaum), der eine gute Zeigerpflanze für das Vorkommen von *H. halys* ist. Im August 2021 wurde *T. japonicus* erstmals auch in der Bodenseeregion in Baden-Württemberg nachgewiesen. Die Marmorierete Baumwanze, *H. halys*, ist an allen Fundorten weit verbreitet. Eine erfolgreiche Parasitierung dort natür-

lich abgelegter Eigelege durch *T. japonicus* konnte in jedem Fundjahr bestätigt werden.

Das Ausbreitungsgebiet innerhalb Baden-Württembergs erstreckt sich nachweislich mittlerweile von der Bodenseeregion im Süden bis nach Heidelberg im Norden des Bundeslandes (Abb.).

Weiterhin wurde das Vorkommen von *T. japonicus* seit dem Erstfund in Baden-Württemberg mittlerweile in vier weiteren Bundesländern durch den Fund von parasitierten Eigelegen und erwachsenen Individuen bestätigt: Hessen (2020, HE), Rheinland-Pfalz (2021, RP), Bayern (2022, BY) und Nordrhein-Westfalen (2023, NRW).

## Diskussion

Die Ergebnisse des vorliegenden Monitorings zeigen die aktuelle Ausbreitung und den Stand der Etablierung von *Trissolcus japonicus* in Baden-Württemberg sowie vier weiteren Bundesländern. *Trissolcus japonicus* wurde seit dem Erstfund im Jahr 2020 an mehreren Standorten im Bundesgebiet nachgewiesen. Bereits im ersten Jahr des Nachweises in Baden-Württemberg wurde an drei Standorten (Heidelberg, Stuttgart, Karlsruhe) eine erfolgreiche Parasitierung von Eigelegen von *H. halys* durch *T. japonicus* dokumentiert. Wiederfunde an diesen und weiteren Standorten in den darauffolgenden Jahren belegen, dass *T. japonicus* in Deutschland erfolgreich überwintern kann. Es ist daher von einer Etablierung von *T. japonicus* an diesen Standorten und einer zukünftigen Arealerweiterung in Deutschland auszugehen.

In Baden-Württemberg wurde *T. japonicus* mittlerweile an den Orten der Erstfunde im Jahr 2020 in drei aufeinanderfolgenden Jahren wiedergefunden. Zusätzlich konnte in jedem Jahr eine erfolgreiche Parasitierung der *H. halys* Populationen an den Standorten bestätigt werden. Wiederfunde mit erneuter erfolgreicher Parasitierung wurden ebenfalls an den Fundorten in der Bodenseeregion bestätigt (Bauer Pilla et al., 2023). Ab einem Schwellentemperaturwert von mind. 12,2 °C und einer Thermalkonstanten von 132 Grad-Tagen, ist *T. japonicus* in der Lage einen erfolgreichen Entwicklungszyklus abzuschließen (Qiu et al., 2007). Der Entwicklungszyklus der Schlupfwespe (Zeitpunkt der Parasitierung bis zum Schlupf des voll entwickelten Individuums) ist temperaturabhängig und dauert ca. zehn Tage bei durchschnittlichen 25 °C (Qiu et al., 2007; Yang et al., 2009). Damit ist *T. japonicus* in der Lage mehr Generationen/Jahr auszubilden im Vergleich zu den 1–2 Generationen/Jahr von *H. halys*. Die klimatischen Bedingungen ermöglichen im Ursprungsgebiet Beijing, China, bis zu zehn Generationen/Jahr und in Neuseeland vier bis sieben Generationen/Jahr (Avila & Charles, 2018). Klimatisch ist Baden-Württemberg dem Ursprungsgebiet in China sehr ähnlich, so dass hier theoretisch bis zu zehn Generationen/Jahr für *T. japonicus* auf seinem Wirt *H. halys* möglich wären (<https://www.laenderdaten.info/klimavergleich.php?r1=cn-nordchina-huabei&r2=de-baden-wuerttemberg>).

Die nachgewiesene erfolgreiche Überwinterung an den Fundorten belegt, dass sich *T. japonicus* erfolgreich an die regionalen Temperaturen und Witterungsverhältnisse in Baden-Württemberg anpassen und langfristig erfolgreiche

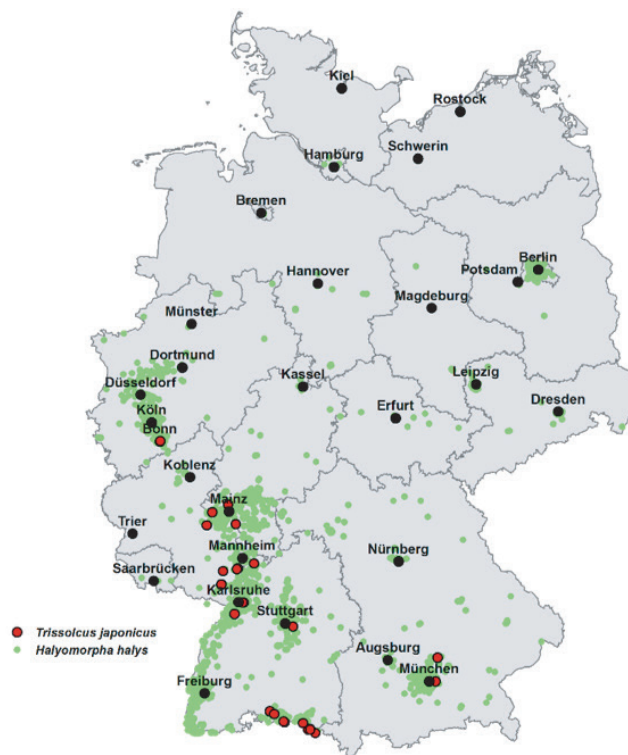


Abb.: Verbreitung von *Halyomorpha halys* (grüne Punkte) und *Trissolcus japonicus* (rote Punkte) in Deutschland (Stand: 01/2023, Autor: Björn Lutsch/LTZ).

Brutpopulationen etablieren kann. Das gemäßigte Klima in Baden-Württemberg entspricht den Klimaansprüchen von *T. japonicus*, wie sie aus den Ursprungsgebieten in Ostasien bekannt sind. Mehrere Klimamodelle haben gezeigt, dass weite Teile Deutschlands, unter anderem die jetzigen Fundregionen, für *T. japonicus* und seinen Wirt *H. halys* klimatisch geeignet sind (Qiu et al., 2007; Avila & Charles, 2018; Yonow et al., 2021; Tortorici et al., 2023). Die Kältetoleranzgrenze von *T. japonicus* liegt unterhalb der in Baden-Württemberg durchschnittlichen Tiefsttemperaturen und stellt somit grundsätzlich keinen begrenzenden Entwicklungsfaktor dar (Tab. 2) (Santacruz et al., 2017). Diese Toleranz wurde bereits im Winter 2020/2021 unter Beweis gestellt, als die Temperatur an mindestens einem der Standorte auf -13 °C abfiel und *T. japonicus* trotzdem im folgenden Jahr mit einer Brutpopulation wiedergefunden wurde.

Bei den in Deutschland gefundenen Tieren handelt es sich um adventive Individuen, da Freisetzungen dieses Nützlings gegen die Marmorierete Baumwanze in Deutschland bislang nicht erfolgt sind. Ob es sich bei diesen Funden um das Resultat einer natürlichen Ausbreitung aus den Nachbarländern Italien und Schweiz handelt oder sie das Ergebnis separater Verschleppung auf ähnlichen Wegen wie bei *H. halys* darstellen, ist unklar. Es lässt sich rückschließend keine Aussage über die ursprüngliche Anzahl der Individuen von *T. japonicus* treffen, die mittlerweile zahlreiche Brutpopulationen gegründet haben. Der erste Nachweis von *T. japonicus* im August 2020 bei Heidelberg erfolgte noch vor möglichen Ausbreitungen von Individuen aus den gezielten Freisetzungen in Südtirol, so

Tab. 2: Wetterdaten der Fundjahre 2020 bis 2022 für den Standort Karlsruhe, BW.

Jahr	Temperatur- minimum (°C) <sup>a</sup>	Temperatur- maximum (°C) <sup>a</sup>	Temperatur – Mittel (°C)	Niederschlag – Summe (mm)	Rel. Luftfeuchte (Mittel)	Frosttage <sup>b</sup>	Eistage <sup>b</sup>	Heiße Tage <sup>b</sup>
2020	-5,66	36,7	12,17	729,1	75,77	43	3	19
2021	-13,86	34,34	10,64	851,4	81,83	55	7	10
2022	-9,44	38,79	12,93	758,9	74,74	53	6	44

<sup>a</sup> gemessen auf 2 m Höhe, Std.-Mittel<sup>b</sup> Anzahl Tage pro Jahr

Quelle: www.wetter-bw.de (letzter Zugriff am 22.08.2023)

dass zumindest dieser unmittelbare Zusammenhang ausgeschlossen werden kann. Am wahrscheinlichsten ist aus Sicht der Autoren, dass sich die ursprünglichen Gründerindividuen an den jeweiligen Standorten in Deutschland sukzessive in die Fläche ausgebreitet haben und weiter ausbreiten werden, wie dies bereits aus anderen Ländern mit adventiven *T. japonicus*-Populationen berichtet wurde (Lowenstein et al., 2019; Falagiarda et al., 2023). Überlappungen dieser Ausbreitungsgebiete führen dann über kurz oder lang auch zu einem aus biologischer Sicht benötigten genetischen Austausch bei *T. japonicus*. Studien haben gezeigt, dass auch kleine Insekten auf der Suche nach geeigneten Wirten beachtlich weite Strecken zurücklegen können. So haben DeBach & Argyriou (1967) gezeigt, dass die 1 mm große Erzwespe *Aphytis melinus* (Hymenoptera: Aphelinidae) im Durchschnitt ca. 100 km pro Jahr in teilweise rauem Terrain zurücklegen kann. Lowenstein et al. (2019) konnten nachweisen, dass sich *T. japonicus* innerhalb von 72 h über eine Entfernung von mind. 50 m ausbreiten kann. Ein sehr gutes Ausbreitungsvermögen wurde auch bei anderen Scelioniden bestätigt (Farrow, 1981; Orr, 1988; Canto-Silva et al., 2006; Wright & Diez, 2011; Zapponi et al., 2021). Darüber hinaus ist *T. japonicus* eine potentiell langlebige Art. Untersuchungen im Labor sowie im Freiland haben gezeigt, dass *Trissolcus* spp. bei ausreichender Verfügbarkeit einer Kohlenhydratquelle (z. B. Honig im Labor oder Nektar im Freiland) bis zu 100 Tage und mehr überleben können (James, 1988; Lowenstein et al., 2019; Sabbatini-Peverieri et al., 2020). Auch niedrige Temperaturen über einen längeren Zeitraum haben keinen negativen Einfluss auf die Langlebigkeit von *T. japonicus*. Freiland-Individuen, die eine Diapause bei kühlen bis kalten Temperaturen (d. h. Durchschnittstemperaturen bis -3 °C) durchlaufen hatten, lebten noch mind. 30 Tage nach dem Ende der Überwinterungsphase (Lowenstein et al., 2019) und somit lange genug, um die erste Eiablage der überwinterten Generation von *H. halys* parasitieren zu können. Diese günstigen Eigenschaften (Kältetoleranz, gute Mobilität, Langlebigkeit) sind bei Schlupfwespen eine nötige Voraussetzung, um geeignete Wirte zu finden und auf deren Bewegungen in Raum und Zeit adäquat reagieren zu können (Orr, 1988). Bei einem hochmobilen Wirtstier wie *H. halys* ist dies eine notwendige Voraussetzung für *T. japonicus*, um eine langfristig stabile Populationskontrolle des Schädling zu erzielen zu können, wie dies aus den Ursprungsgebieten berichtet wird (Qiu et al., 2007; Yang et al., 2009). Zum anderen garantiert ein hohes Ausbreitungsvermögen den nötigen genetischen Austausch zwischen einzelnen Populationen derselben Art über eine große Fläche, um diese langfristig stabil

zu halten. Dies garantiert, dass auch bei eventuellen lokalen Aussterbeereignissen (z. B. aufgrund lokaler Wetterereignisse) der Fortbestand der Art gewährleistet ist.

*Trissolcus japonicus* kommt zu diesem Zeitpunkt (Stand: August 2023) im Gebiet Baden-Württemberg seit mindestens drei Generationen freilebend vor. Weitere Untersuchungen werden zeigen, wie viele Generationen pro Jahr in Deutschland entwickelt werden, da bei parasitoiden Hymenopterenarten wie *T. japonicus* eine sehr kurze Generationenfolge innerhalb eines Jahres üblich ist. *T. japonicus* hat sich damit in diesem Untersuchungsgebiet erfolgreich etabliert und ohne menschlichen Einfluss ausgebreitet (Gebhardt et al., 1996; Geiter et al., 2002).

Zusätzliche gezielte Freisetzungen von *T. japonicus* im Rahmen einer biologischen Pflanzenschutzstrategie gegen die Marmorierete Baumwanze in Deutschland böten die Möglichkeit, die Regulierung dieses wirtschaftlich bedeutsamen Schaderregers weiter voranzutreiben und Schäden im Obstanbau zu vermeiden oder zumindest zu minimieren. Freisetzungen dieser Art zum Zwecke der biologischen Schädlingsbekämpfung sind in Deutschland gesetzlich geregelt. Grundlage für das Ausbringen von Pflanzen und Tieren in Deutschland ist das Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG), hier speziell § 40 Abs. 1 Satz 1 und Satz 4 Nr. 2 BNatSchG. Grundsätzlich ist das Ausbringen von Tieren gemäß § 40 Abs. 1 Satz 1 BNatSchG genehmigungspflichtig ([https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg\\_2009/BNatSchG.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/BNatSchG.pdf)). Im § 40 Abs. 1 Satz 4 Nr. 2 Buchst. a BNatSchG heißt es weiter, dass von einer Genehmigungspflicht ein Ausbringen zum „Zweck des biologischen Pflanzenschutzes“ ausgenommen ist, wenn die Art in dem betreffenden Gebiet in freier Natur in den letzten 100 Jahren vorkommt oder vorkam ([https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg\\_2009/BNatSchG.pdf](https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/BNatSchG.pdf)). Dies trifft, wie hier dargelegt, auf *T. japonicus* zu.

## Danksagung

Die Autoren danken Herrn Klaus Schrameyer, Öhringen, für die morphologische Bestimmung von Probenmaterial und den Kolleginnen und Kollegen des LTZ Augustenberg für deren tatkräftigen Einsatz im Zucht- und Versuchswesen. Die Autoren danken für das Monitoring auf Wanzenneigelege mit Nachweisen von *Trissolcus japonicus* neben den technischen Mitarbeitern am LTZ Augustenberg insbesondere Ricardo Bauer Pilla vom Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee (KOB) Bavendorf, Jochen Veser von der Gartenbera-

tung-Veser in Korntal-Münchingen, Christian Fetzer vom Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH), dem Team um Uwe Harzer vom Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum (DLR) in Rheinland-Pfalz und Franziska Rheinhard, Hochschule Weihenstephan Triesdorf in Bayern, Sophie Wenz von der Hochschule Geisenheim University (HGU) in Hessen, sowie Dr. Tim Haye vom CABI Europe Switzerland in der Schweiz.

Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projekträgererschaft erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung. Gefördert auch von der Europäischen Union mit Mitteln aus dem Programm INTERREG V Oberrhein, Projekt „InvaProtect“ (2016–2018).

## Erklärung zu Interessenskonflikten

Die Autoren/die Autorinnen erklären, dass keine Interessenskonflikte vorliegen.

## Literatur

- Abram, P.K., T.D. Garipey, G. Boivin, J. Brodeur, 2014:** An invasive stink bug as an evolutionary trap for an indigenous egg parasitoid. *Biological Invasions* **16** (7), 1387–1395, DOI: 10.1007/s10530-013-0576-y.
- Abram, P.K., E.J. Talamas, S. Acheampong, P.G. Mason, T.D. Garipey, 2019:** First detection of the samurai wasp, *Trissolcus japonicus* (Ashmead) (Hymenoptera, Scelionidae), in Canada. *Journal of Hymenoptera Research* **68**, 29–36, DOI: 10.3897/jhr.68.32203.
- Abram, P. K., K.A. Hoelmer, A. Acebes-Doria, H. Andrews, E.H. Beers, J.C. Bergh, R. Bessin, D. Biddinger, P. Botch, M.L. Buffington, M.L. Cornelius, E. Costi, E.S. Delfosse, C. Dieckhoff, R. Dobson, Z. Donais, M. Grieshop, G. Hamilton, T. Haye, C. Hedstrom et al., 2017:** Indigenous arthropod natural enemies of the invasive brown marmorated stink bug in North America and Europe. *Journal of Pest Science* **90** (4), 1009–1020, DOI: 10.1007/s10340-017-0891-7.
- Arakawa, R., M. Miura, M. Fujita, 2004:** Effects of host species on the body size, fecundity, and longevity of *Trissolcus mitsukurii* (Hymenoptera: Scelionidae), a solitary egg parasitoid of stink bugs. *Applied Entomology and Zoology* **39** (1), 177–181, DOI: 10.1303/aez.2004.177.
- Avila, G.A., J.G. Charles, 2018:** Modelling the potential geographic distribution of *Trissolcus japonicus*: a biological control agent of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*. *BioControl* **63** (4), 505–518, DOI: 10.1007/s10526-018-9866-8.
- Bauer Pilla, R., C. Scheer, O. Zimmermann, 2023:** Parasitierung der Marmorierten Baumwanze (*H. halys* Stål) durch die Samurai-Wespe (*Trissolcus japonicus* Ashmead) und andere Parasitoide im Bodenseegebiet im Zeitraum 2021 bis 2023. In: Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Quedlinburg, Deutschland (Hrsg.). *63. Deutsche Pflanzenschutztagung. Pflanzenschutz morgen – Transformation durch Wissenschaft*, 26.–29. September 2023, Göttingen, Deutschland, Julius-Kühn-Archiv **475**, 338, DOI: 10.5073/20230803-074309-0.
- Botch, P.S., E.S. Delfosse, 2018:** Host-acceptance behavior of *Trissolcus japonicus* (Hymenoptera: Scelionidae) reared on the invasive *Halyomorpha halys* (Heteroptera: Pentatomidae) and nontarget species. *Environmental Entomology* **47** (2), 403–411, DOI: 10.1093/ee/nvy014.
- Canto-Silva, C.R., R. Kolberg, H.P. Romanowski, L.R. Re-daelli, 2006:** Dispersal of the egg parasitoid *Gryon gallardoi* (Brethes) (Hymenoptera: Scelionidae) in tobacco crops. *Brazilian Journal of Biology* **66** (1a), 09–17, DOI: 10.1590/S1519-69842006000100003.
- Charles, J.G., G.A. Avila, K.A. Hoelmer, S. Hunt, R. Gardner-Gee, F. MacDonald, V. Davis, 2019:** Experimental assessment of the biosafety of *Trissolcus japonicus* in New Zealand, prior to the anticipated arrival of the invasive pest *Halyomorpha halys*. *BioControl* **64** (4), 367–379, DOI: 10.1007/s10526-019-09949-x.
- Costi, E., T. Haye, L. Maistrello, 2017:** Biological parameters of the invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*, in southern Europe. *Journal of Pest Science* **90** (4), 1059–1067, DOI: 10.1007/s10340-017-0899-z.
- DeBach, P., L.C. Argyiou, 1967:** The colonization and success in greece of some imported *Aphytis* spp. [Hym. Aphelinidae] parasitic on citrus scale insects [Hom. Diaspididae]. *Entomophaga* **12** (4), 325–342, DOI: 10.1007/BF02376919.
- Dieckhoff, C., K.M. Tatman, K.A. Hoelmer, 2017:** Natural biological control of *Halyomorpha halys* by native egg parasitoids: a multi-year survey in northern Delaware. *Journal of Pest Science* **90** (4), 1143–1158, DOI: 10.1007/s10340-017-0868-6.
- Dieckhoff, C., S. Wenz, M. Renninger, A. Reißig, H. Rauleder, C.P.W. Zebitz, J. Reetz, O. Zimmermann, 2021:** Add Germany to the list—adventive population of *Trissolcus japonicus* (Ashmead) (Hymenoptera: Scelionidae) emerges in Germany. *Insects* **12** (5), 414, DOI: 10.3390/insects12050414.
- Falagiarda, M., V. Carnio, S.G. Chiesa, A. Pignalosa, G. Anfora, G. Angeli, C. Ioriatti, V. Mazzone, S. Schmidt, L. Zapponi, 2023:** Factors influencing short-term parasitoid establishment and efficacy for the biological control of *Halyomorpha halys* with the samurai wasp *Trissolcus japonicus*. *Pest Management Science* **79** (7), 2397–2414, DOI: 10.1002/ps.7423.
- Farrow, R.A., 1981:** Aerial dispersal of *Scelio fulgidus* [Hym.: Scelionidae], parasite of eggs of locusts and grasshoppers [Ort.: Acrididae]. *Entomophaga* **26** (4), 349–355, DOI: 10.1007/BF02374709.
- Garipey, T.D., E.J. Talamas, 2019:** Discovery of *Trissolcus japonicus* (Hymenoptera: Scelionidae) in Ontario, Canada. *The Canadian Entomologist* **151** (6), 824–826, DOI: 10.4039/tce.2019.58.
- Gebhardt, H., R. Kinzelbach, S. Schmidt-Fischer, 1996:** Gebietsfremde Tierarten. Auswirkung auf einheimische Arten, Lebensgemeinschaften und Biotope. Landsberg, ecomed-Storck GmbH, ISBN 978-3609694207.

- Geiter, O., S. Homma, R. Kinzelbach, 2002:** Bestandsaufnahme und Bewertung von Neozoen in Deutschland. Forschungsbericht No. 25. Berlin: Umweltbundesamt.
- Haye, T., S. Abdallah, T. Garipey, D. Wyniger, 2014:** Phenology, life table analysis and temperature requirements of the invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*, in Europe. *Journal of Pest Science* **87** (3), 407–418, DOI: 10.1007/s10340-014-0560-z.
- Haye, T., S. Fischer, J. Zhang, T. Garipey, 2015:** Can native egg parasitoids adopt the invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Heteroptera: Pentatomidae), in Europe? *Journal of Pest Science* **88** (4), 693–705, DOI: 10.1007/s10340-015-0671-1.
- Haye, T., S.T. Moraglio, J. Stahl, S. Visentin, T. Gregorio, L. Tavella, 2020:** Fundamental host range of *Trissolcus japonicus* in Europe. *Journal of Pest Science* **93** (1), 171–182, DOI: 10.1007/s10340-019-01127-3.
- Haye, T., S.T. Moraglio, F. Tortorici, C. Marazzi, T.D. Garipey, L. Tavella, 2023:** Does the fundamental host range of *Trissolcus japonicus* match its realized host range in Europe? *Journal of Pest Science* **97**, 299–321, DOI: 10.1007/s10340-023-01638-0.
- Hess, B., O. Zimmermann, P. Baufeld, A. Reißig, B. Lutsch, G. Schrader, 2022:** Current distribution and spatial spread patterns of *Halyomorpha halys* in Germany. *EPPO Bulletin* **52** (1), 164–174, DOI: 10.1111/epp.12828.
- iNaturalist, 2023:** Available from: <https://www.inaturalist.org>. Zugriff am 21.08.2023.
- James, D.G., 1988:** Fecundity, longevity and overwintering of *Trissolcus biproruli* Girault (Hymenoptera: Scelionidae) a parasitoid of *Biprorulus bibax* Breddin (Hemiptera: Pentatomidae). *Australian Journal of Entomology* **27** (4), 297–301, DOI: 10.1111/j.1440-6055.1988.tb01177.x.
- Konopka, J.K., T. Haye, T. Garipey, P. Mason, D. Gillespie, J.N. McNeil, 2017:** An exotic parasitoid provides an invasion lifeline for native parasitoids. *Ecology and Evolution* **7** (1), 277–284, DOI: 10.1002/ece3.2577.
- Konopka, J.K., T.D. Garipey, T. Haye, J. Zhang, B.D. Rubin, J.N. McNeil, 2019:** Exploitation of pentatomids by native egg parasitoids in the native and introduced ranges of *Halyomorpha halys*: a molecular approach using sentinel egg masses. *Journal of Pest Science* **92** (2), 609–619, DOI: 10.1007/s10340-018-01071-8.
- Kriticos, D.J., J.M. Kean, C.B. Phillips, S.D. Senay, H. Acosta, T. Haye, 2017:** The potential global distribution of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*, a critical threat to plant biosecurity. *Journal of Pest Science* **90** (4), 1033–1043, DOI: 10.1007/s10340-017-0869-5.
- Lee, D.-H., B.D. Short, S.V. Joseph, J.C. Bergh, T.C. Leskey, 2013:** Review of the biology, ecology, and management of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in China, Japan, and the Republic of Korea. *Environmental Entomology* **42** (4), 627–641, DOI: 10.1603/EN13006.
- Leskey, T.C., G.C. Hamilton, D.J. Biddinger, M.L. Buffington, C. Dieckhoff, G.P. Dively, H. Fraser, T. Garipey, C. Hedstrom, D.A. Herbert, K.A. Hoelmer, C.R.R. Hooks, D. Inkley, G. Kracwzyk, T.P. Kuhar, D.-H. Lee, A.L. Nielsen, D.G. Pfeiffer, C. Rodriguez-Saona, P.W. Shearer et al., 2022.** *Halyomorpha halys* (brown marmorated stink bug). CABI PlantwisePlus Knowledge Bank. URL: <https://plantwiseplusknowledgebank.org/doi/full/10.1079/pwkb.species.27377> Letzter Zugriff: 13.12.2023, DOI: 10.1079/pwkb.species.27377 .
- Leskey, T.C., A.L. Nielsen, 2018:** Impact of the nvasive brown marmorated stink bug in North America and Europe: History, biology, ecology, and management. *Annual Review of Entomology* **63** (1), 599–618, DOI: 10.1146/annurev-ento-020117-043226.
- Leskey, T.C., B.D. Short, B.R. Butler, S.E. Wright, 2012:** Impact of the invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Stål), in mid-Atlantic tree fruit orchards in the United States: Case studies of commercial management. *Psyche: A Journal of Entomology* **2012**, 1–14, DOI: 10.1155/2012/535062.
- Lowenstein, D.M., H. Andrews, R.J. Hilton, C. Kaiser, N.G. Wiman, 2019:** Establishment in an introduced range: Dispersal capacity and winter survival of *Trissolcus japonicus*, an adventive egg parasitoid. *Insects* **10** (12), 443, DOI: 10.3390/insects10120443.
- Maistrello, L., G. Vaccari, S. Caruso, E. Costi, S. Bortolini, L. Macavei, G. Foca, A. Ulrici, P.P. Bortolotti, R. Nannini, L. Casoli, M. Fornaciari, G.L. Mazzoli, P. Dioli, 2017:** Monitoring of the invasive *Halyomorpha halys*, a new key pest of fruit orchards in northern Italy. *Journal of Pest Science* **90** (4), 1231–1244, DOI: 10.1007/s10340-017-0896-2.
- Moraglio, S.T., F. Tortorici, M.G. Pansa, G. Castelli, M. Pontini, S. Scovero, S. Visentin, L. Tavella, 2020:** A 3-year survey on parasitism of *Halyomorpha halys* by egg parasitoids in northern Italy. *Journal of Pest Science* **93** (1), 183–194, DOI: 10.1007/s10340-019-01136-2.
- Santacruz, E. N., R. Venette, C. Dieckhoff, K. Hoelmer, R.L. Koch, 2017:** Cold tolerance of *Trissolcus japonicus* and *T. cultratus*, potential biological control agents of *Halyomorpha halys*, the brown marmorated stink bug. *Biological Control* **107**, 11–20, DOI: 10.1016/j.biocontrol.2017.01.004.
- Orr, D.B., 1988:** Scelionid wasps as biological control agents: a review. *Florida Entomologist* **71** (4), 506–529, DOI: 10.2307/3495011.
- Peverieri, G.S., E. Talamas, M.-C. Bon, L. Marianelli, I. Bernardinelli, G. Malossini, L. Benvenuto, P. F. Roversi, K. Hoelmer, 2018:** Two Asian egg parasitoids of *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera, Pentatomidae) emerge in northern Italy: *Trissolcus mitsukurii* (Ashmead) and *Trissolcus japonicus* (Ashmead) (Hymenoptera, Scelionidae). *Journal of Hymenoptera Research* **67**, 37–53, DOI: 10.3897/jhr.67.30883.
- Qiu, L., Z. Yang, W. Tao, 2007:** Biology and population dynamics of *Trissolcus halyomorphae*. *Scientia Silvae Sinica* **43**, 62–65.



- Rice, K.B., C.J. Bergh, E.J. Bergmann, D.J. Biddinger, C. Dieckhoff, G. Dively, H. Fraser, T. Garipey, G. Hamilton, T. Haye, A. Herbert, K. Hoelmer, C.R. Hooks, A. Jones, G. Krawczyk, T. Kuhar, H. Martinson, W. Mitchell, A.L. Nielsen, D.G. Pfeiffer et al., 2014: Biology, ecology, and management of brown marmorated stink bug (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Integrated Pest Management* **5** (3), 1–13, DOI: 10.1603/IPM14002.
- Sabbatini-Peverieri, G., L. Boncompagni, G. Mazza, F. Paoli, L. Dapporto, L. Giovannini, L. Marianelli, K. Hoelmer, P.F. Roversi, 2021: Combining physiological host range, behavior and host characteristics for predictive risk analysis of *Trissolcus japonicus*. *Journal of Pest Science* **94** (3), 1003–1016, DOI: 10.1007/s10340-020-01311-w.
- Sabbatini-Peverieri, G., C. Dieckhoff, L. Giovannini, L. Marianelli, P.F. Roversi, K. Hoelmer, 2020: Rearing *Trissolcus japonicus* and *Trissolcus mitsukurii* for Biological Control of *Halyomorpha halys*. *Insects* **11** (11), 787, DOI: 10.3390/insects11110787.
- Stahl, J.M., D. Babendreier, T. Haye, 2018: Using the egg parasitoid *Anastatus bifasciatus* against the invasive brown marmorated stink bug in Europe: can non-target effects be ruled out? *Journal of Pest Science* **91**, 1005–1017, DOI: 10.1007/s10340-018-0969-x.
- Stahl, J.M., D. Babendreier, C. Marazzi, S. Caruso, E. Costi, L. Maistrello, T. Haye, 2019a: Can *Anastatus bifasciatus* be used for augmentative biological control of the brown marmorated stink bug in fruit orchards? *Insects* **10** (4), 108, DOI: 10.3390/insects10040108.
- Stahl, J., F. Tortorici, M. Pontini, M.-C. Bon, K. Hoelmer, C. Marazzi, L. Tavella, T. Haye, 2019b: First discovery of adventive populations of *Trissolcus japonicus* in Europe. *Journal of Pest Science* **92** (2), 371–379, DOI: 10.1007/s10340-018-1061-2.
- Stoekli, S., R. Felber, T. Haye, 2020: Current distribution and voltinism of the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*, in Switzerland and its response to climate change using a high-resolution CLIMEX model. *International Journal of Biometeorology* **64**, 2019–2032, DOI: 10.1007/s00484-020-01992-z.
- Talamas, E.J., M.L. Buffington, K. Hoelmer, 2017: Revision of Palearctic *Trissolcus* Ashmead (Hymenoptera, Scelionidae). *Journal of Hymenoptera Research* **56**, 79–261, DOI: 10.3897/jhr.56.10158.
- Talamas, E.J., M.V. Herlihy, C. Dieckhoff, K.A. Hoelmer, M. Buffington, M.-C. Bon, D.C. Weber, 2015: *Trissolcus japonicus* (Ashmead) (Hymenoptera, Scelionidae) emerges in North America. *Journal of Hymenoptera Research* **43**, 119–128, DOI: 10.3897/JHR.43.4661.
- Tortorici, F., P. Bombi, L. Loru, A. Mele, S.T. Moraglio, D. Scacini, A. Pozzebon, R.A. Pantaleoni, L. Tavella, 2023: *Halyomorpha halys* and its egg parasitoids *Trissolcus japonicus* and *T. mitsukurii*: the geographic dimension of the interaction. *Neobiota* **85**, 197–221, DOI: 10.3897/neobiota.85.102501.
- Tortorici, F., E.J. Talamas, S.T. Moraglio, M.G. Pansa, M. Asadi-Farfar, L. Tavella, V. Caleca, 2019: A morphological, biological and molecular approach reveals four cryptic species of *Trissolcus* Ashmead (Hymenoptera, Scelionidae), egg parasitoids of Pentatomidae (Hemiptera). *Journal of Hymenoptera Research* **73**, 153–200, DOI: 10.3897/jhr.73.39052.
- Wright, M.G., J.M. Diez, 2011: Egg parasitism by *Trissolcus basalis* (Hymenoptera: Scelionidae) in architecturally varied habitats, and observations on parasitism in macadamia nut orchards and other habitats following augmentative release. *Proceedings of the Hawaiian Entomological Society* **43**, 23–31.
- Yang, Z.-Q., Y.-X. Yao, L.-F. Qiu, Z.-X. Li, 2009: A new species of *Trissolcus* (Hymenoptera: Scelionidae) parasitizing eggs of *Halyomorpha halys* (Heteroptera: Pentatomidae) in China with comments on its biology. *Annals of the Entomological Society of America* **102** (1), 39–47, DOI: 10.1603/008.102.0104.
- Yonow, T., D.J. Kriticos, N. Ota, G.A. Avila, K.A. Hoelmer, H. Chen, V. Caron, 2021: Modelling the potential geographic distribution of two *Trissolcus* species for the brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*. *Insects* **12** (6), 491, DOI: 10.3390/insects12060491.
- Zapponi, L., F. Tortorici, G. Anfora, S. Bardella, M. Bariselli, L. Benvenuto, I. Bernardinelli, A. Butturini, S. Caruso, R. Colla, E. Costi, P. Culatti, E. Di Bella, M. Falagiarda, L. Giovannini, T. Haye, L. Maistrello, G. Malossini, C. Marazzi, L. Marianelli et al., 2021: Assessing the distribution of exotic egg parasitoids of *Halyomorpha halys* in Europe with a large-scale monitoring program. *Insects* **12** (4), 316, DOI: 10.3390/insects12040316.
- Zhang, J., F. Zhang, T. Garipey, P. Mason, D. Gillespie, E. Talamas, T. Haye, 2017: Seasonal parasitism and host specificity of *Trissolcus japonicus* in northern China. *Journal of Pest Science* **90** (4), 1127–1141, DOI: 10.1007/s10340-017-0863-y.