

Lorenz Kottmann¹, Hannes Hegewald², Til Feike³,
Heike Lehnert⁴, Jens Keilwagen⁴, Dieter von Hörsten²,
Jörg Michael Greef¹, Jens Karl Wegener²

Standraumoptimierung im Getreideanbau durch Gleichstandsaat

Optimized seed patterns
in cereals

Zusammenfassung

Ein optimiertes Aussaatmuster mit gleichmäßigen Abständen zwischen den Pflanzen erhöht den nutzbaren Standraum je Einzelpflanze und reduziert intraspezifische Konkurrenzeffekte. Neben höheren und stabileren Erträgen sind auch Vorteile hinsichtlich Ressourcennutzungseffizienz, Stresstoleranz und Unkrautunterdrückungsvermögen zu erwarten. Aktuell wird Getreide vorwiegend in Drillsaat ausgebracht, was nicht dem pflanzenbaulichen Optimum entspricht, jedoch eine hohe Flächenleistung ermöglicht. Alternativ ist für die Getreideaussaat reihenabhängige Einzelkornsätechnik verfügbar, welche bereits deutliche Vorteile hinsichtlich eines gleichmäßigeren Saatbilds zeigt. Den gleichmäßigsten Standraum je Einzelpflanze erreicht man mit einer Gleichstandsaat im Dreieckverband, welche bei Getreide technisch noch nicht realisierbar ist. Um die erwarteten Vorteile der Gleichstandsaat bei Getreide zu überprüfen, werden am Julius Kühn-Institut Versuche zur Gleichstandsaat bei Winterweizen durchgeführt, um Fragestellungen hinsichtlich Ertrag, Ressourcennutzungseffizienz, Stresstoleranz etc. zu beantworten. Parallel dazu sind die Anpassung einer Einzelkornsämaschine sowie die Ent-

wicklung eines mobilen autonomen Systems geplant, die eine Aussaat im Dreieckverband ermöglichen.

Stichwörter: Standraumoptimierung, Gleichstandsaat, Dreieckverband, Einzelkornablage, Getreide, Ressourceneffizienz, Stresstoleranz, Unkrautunterdrückung

Abstract

An optimized seed pattern with even distances increases the utilizable space of individual plants and reduces intraspecific competition. In addition to higher and more stable yields, benefits in terms of resource use efficiency, stress tolerance and weed suppression are expected. Currently, cereals are mainly sown in rows, which does not correspond to the crops' optimum, but allows a fast sowing. Alternatively, precision seeding is available for cereals, which already allows a more uniform seed pattern.

The most even spacing per single plant can be achieved with a uniform seed pattern in a triangular lattice, which is technically not yet feasible in cereals. In order to test the expected benefits of a uniform seed pattern in cere-

Institut

Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig¹

Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Braunschweig²

Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow³

Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für die Sicherheit biotechnologischer Verfahren bei Pflanzen, Quedlinburg⁴

Kontaktanschrift

Dr. Lorenz Kottmann, Julius Kühn-Institut (JKI), Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Bundesallee 58, 38116 Braunschweig, E-Mail: lorenz.kottmann@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

8. März 2019

als, field trials are conducted at the JKI with winter wheat to answer questions regarding yield, resource use efficiency and stress tolerance. At the same time, the adaptation of a precision seeding and the development of an autonomous sowing system are planned in order to enable a uniform seed pattern.

Key words: optimized seed pattern, uniform seed pattern, precision seeding, cereals, resource use efficiency, stress tolerance, weed suppression

Einleitung

Die Aussaat beeinflusst maßgeblich die Pflanzenentwicklung und damit das Wachstum und den Ertrag von Kulturpflanzen. Die Vorteile eines gleichmäßigen Einzelpflanzenstandraumes sind bereits früh beschrieben worden (HEEGE, 1967). In theoretischen Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass ein optimiertes Aussaatmuster mit gleichmäßigen Abständen zwischen den Pflanzen den Einzelpflanzenstandraum erhöht und so eine effizientere Nutzung der vorhandenen Ressourcen ermöglicht (FISCHER und MILES, 1973; PANT, 1979). In einigen Arbeiten während der 1980er Jahre wurde der Einfluss des Standraumes bzw. Saatverbandes auf die Entwicklung von Getreide untersucht (SOETONO und DONALD, 1980; SOETONO und PUCKRIDGE, 1982; AULD et al., 1983; KEMP et al., 1983; MEDD et al., 1985). KEMP et al. (1983) beschrieben beispielsweise, dass der Einzelpflanzenenertrag von Weizen umso größer ist, je später intraspezifische Konkurrenzeffekte im Vegetationsverlauf auftreten. Zudem hoben sie die Vorteile eines quadratischen Verbandes gegenüber eines rechteckigen Verbandes hervor. Neben der Erfassung von Ertragseffekten lag ein weiterer Schwerpunkt dieser Untersuchungen in der Verbesserung der Konkurrenzkraft der Kulturpflanze gegenüber Unkräutern. In den Folgejahren wurde der Einfluss der räumlichen Verteilung von Kulturpflanzen auf die Unkrautunterdrückung jedoch nicht weiterverfolgt. Dies kann der schwierigen technischen Umsetzbarkeit, wie auch der Verfügbarkeit wirksamer Herbizide, geschuldet gewesen sein.

Aktuell wird Getreide vorwiegend mittels Drillsaat in Reihen ausgesät. Dies entspricht nicht dem pflanzenbaulichen Optimum, ist jedoch aufgrund der hohen Flächenleistung anbautechnisch und wirtschaftlich bisher alternativlos. Bei der Drillsaat erfolgt die Saatgutablage innerhalb der Drillreihe relativ zufällig, was in einer geringen Ablagegenauigkeit resultiert. Die Körner liegen dadurch häufig zu eng beisammen oder zu weit auseinander, wodurch die optimale Nutzung vorhandener Ressourcen erschwert wird. Für die Getreideaussaat ist neben der Drillsaat auch Einzelkornablagetechnik verfügbar, bei der die Körner zumindest innerhalb einer Reihe relativ gleichmäßig verteilt werden. Bei dieser Technik nimmt die Ablagegenauigkeit jedoch mit zunehmender Fahrtgeschwindigkeit ab, wodurch die Vorteile der Einzelkornablage bei praxisüblichen Aussaatgeschwindigkeiten wieder geringer werden (OHE et al., 2016).

Vor dem Hintergrund negativer Umweltwirkungen der Herbizide sowie der zunehmenden Resistenzentwicklung einiger Unkräuter, wurden seit Beginn der 2000er Jahre wieder vermehrt Untersuchungen zur räumlichen Verteilung von Getreide durchgeführt (WEINER et al., 2001; OLSEN et al., 2005; KRISTENSEN et al., 2006; OLSEN und WEINER, 2007; KRISTENSEN et al., 2008; WEINER et al., 2010; OLSEN et al., 2012). Versuche mit reihenabhängiger Einzelkornsaat bei Getreide zeigten gegenüber der Drillsaat höhere Erträge bei gleichem Ressourceneinsatz, welche allein durch die bessere Saatgutverteilung bedingt waren (OHE et al., 2016). KRISTENSEN et al. (2006) konnten zudem zeigen, dass die Erträge von Weizen umso höher ausfallen, je gleichmäßiger die Pflanzen verteilt sind. Die Einzelkornablage zeigt neben höheren Erträgen auch noch weitere positive Effekte gegenüber der Drillsaat: OLSEN und WEINER (2007) stellten in Sommerweizen bei einem gleichmäßigeren Aussaatmuster einen höheren und gleichmäßigeren Blattflächenindex, sowie eine reduzierte Eigenbeschattung im Vergleich zur Drillsaat fest, was zu einer gesteigerten Lichtabsorption der Weizenbestände führte. Durch gleichmäßigere und schnellere Bodenbedeckung erfolgte bei Einzelkornsaat zudem eine stärkere Unkrautunterdrückung als in der Drillsaat (OLSEN et al., 2005; KRISTENSEN et al., 2008; OLSEN et al., 2012). In allen hier genannten Arbeiten wurde mit (angepassten) Einzelkornsämaschinen gearbeitet. Diese zeigten im Vergleich zur Drillsaat eine deutlich bessere Ablagegenauigkeit, jedoch bei Weitem keine optimale Saatgutverteilung. Dadurch konnte bei den vorliegenden Arbeiten kein gleichmäßiger Standraum je Einzelpflanze realisiert werden.

Gleichstandsaat

Der gleichmäßigste Standraum je Einzelpflanze wird mit der Gleichstandsaat im Dreieckverband erreicht (GRIEPENTROG, 1999). Dabei werden die Körner reihenunabhängig abgelegt, sodass ein gleichmäßiges Aussaatmuster entsteht. In Kulturen mit geringeren Bestandesdichten und weiteren Abständen zwischen den Einzelpflanzen, wie Mais und Zuckerrübe, ist eine Gleichstandsaat mit entsprechender Einzelkornablagetechnik bereits möglich (DEMMELE et al., 2000; GÖTZ und BERNHARDT, 2010). Bei Getreide mit relativ hoher Bestandesdichte und geringen Abständen zwischen den Einzelpflanzen ist die technische Umsetzung jedoch deutlich anspruchsvoller und aktuell noch nicht realisierbar.

Vor dem Hintergrund der Überlegungen zu einer nachhaltigeren und ressourceneffizienteren Landwirtschaft kann die Gleichstandsaat jedoch ein wichtiger Baustein sein. Der Wunsch der Gesellschaft, negative Umweltwirkungen des Pflanzenschutzmitteleinsatzes zu reduzieren, erfordert neue anbausystematische Herangehensweisen. Die Gleichstandsaat bietet hierbei sowohl Potentiale hinsichtlich der Unkrautunterdrückung, als auch hinsichtlich einer positiven Beeinflussung des Mikroklimas und damit der Bestandesgesundheit. Durch eine gleich-

mäßigere Wurzelverteilung im Bestand und eine verringerte intraspezifische Konkurrenz besteht zudem großes Potential die Nährstoffnutzungseffizienz zu erhöhen, was im Hinblick auf die novellierte Düngeverordnung von besonderer Aktualität ist. Nicht zuletzt erfordern die für Westeuropa seit den 1990er Jahren festgestellten Ertragsplateaus im Getreideanbau (BRISSEON et al., 2010; LAIDIG et al., 2014) neue Wege zur Sicherstellung einer fortwährenden Produktivitätssteigerung. Hierbei bieten sich auch aus genetischer und züchterischer Sicht neue Potentiale die genetischen Ressourcen in einem optimierten Anbausystem mit Gleichstandsaat zu selektieren und zu verbessern.

Durch eine Gleichstandsaat sind im Vergleich zur Drillsaat und auch zur reihenabhängigen Einzelkornablage zahlreiche Vorteile zu erwarten. Hierfür wurden folgende Hypothesen aufgestellt, welche im Rahmen von Feldversuchen überprüft werden:

- Der gleichmäßigere Standraum je Einzelpflanze führt bei gleichem Ressourceneinsatz zu höheren Erträgen.
- Die verringerte intraspezifische Konkurrenz führt zu einer Erhöhung der Ressourcennutzungseffizienz (v.a. Licht, Wasser, Nährstoffe) und damit auch zu einer erhöhten Trockenstresstoleranz.
- Die gleichmäßigere (Blattflächen-) Entwicklung der Einzelpflanzen führt durch frühere und gleichmäßigere Bodenbeschattung und -bedeckung zu einem verbesserten Unkrautunterdrückungsvermögen, sowie zur Verringerung des Erosionsrisikos.
- Die gleichmäßige Standraumverteilung führt zu einer besseren Durchlüftung und zu einem homogeneren Bestandesklima, wodurch positive Effekte hinsichtlich Pflanzengesundheit auftreten.
- Es ist möglich, einen Ideotypen zu beschreiben, der optimal an den Anbau in Gleichstandsaat angepasst ist.

Aktuelle Versuche zur Gleichstandsaat am JKI

Vor diesem Hintergrund werden aktuell Versuche zur Gleichstandsaat bei Getreide am JKI durchgeführt bzw. sind in Planung. Hierbei stehen vorwiegend die Fragen im Vordergrund, welche positiven Effekte hinsichtlich Ertrag, Ressourcennutzungseffizienz, Unkrautunterdrückung, Mikroklima und Stresstoleranz auftreten; welche physiologischen und morphologischen Anpassungseffekte hierfür ursächlich sind und welche Sortentypen sich besonders für den Anbau in Gleichstandsaat eignen.

Tastversuch Braunschweig 2017/2018

In der Saison 2017/2018 wurde ein erster Tastversuch zur Gleichstandsaat mit Winterweizen am JKI Standort Braunschweig angelegt. Die Gleichstandsaauparzellen wurden von Hand mithilfe von Saatschablonen in Kleinpzellen (zwei Quadratmeter) ausgesät. Hierbei wurde ein Dreieckverband mit einer Kantenlänge von neun Zen-

timetern gewählt, was einer Aussaatdichte von ca. 150 Körnern m^{-2} entspricht. Als Referenz wurden Parzellen in praxisüblicher Drillsaat mit Aussaatdichten von 150 und 350 Körnern m^{-2} angelegt. In allen Aussaatvarianten wurden die Winterweizensorten 'Faustus' und 'Kopernikus' genutzt.

Die Bestände in Gleichstandsaat entwickelten sich generell homogener als die gedrillten Bestände. Im Vergleich zur Drillsaat erfolgte die vollständige Bodenbedeckung in der Gleichstandsaat früher. Der Blattflächenindex der Gleichstandsaauparzellen war höher als in der Drillsaat mit 150 Körnern m^{-2} , jedoch nicht so hoch wie der Blattflächenindex der Drillsaat mit 350 Körnern m^{-2} . Der Kornertrag war in Gleichstandsaat etwas höher als in beiden Drillsaatvarianten, die Unterschiede waren jedoch nicht signifikant (Abb. 1). Auffallend waren jedoch die Unterschiede in den Ertragskomponenten der beiden Genotypen. Sowohl 'Faustus' als auch 'Kopernikus' sind Korndichtetypen und zeigten in beiden Drillvarianten keine Unterschiede in den Ertragskomponenten. In Gleichstandsaat zeichnete sich 'Faustus' jedoch durch eine signifikant höhere Anzahl von Ähren m^{-2} aus. 'Kopernikus' kompensierte seine geringere Ährenzahl durch eine höhere Kornzahl je Ähre. Hierbei zeigten sich somit unterschiedliche Reaktionsmuster der Genotypen in Gleichstandsaat. Zu beachten ist hierbei, dass alle aktuell zugelassenen Sorten in Drillsaat selektiert wurden und die Potentiale eines gleichmäßigen Aussaatmusters daher vermutlich nicht voll ausgeschöpft werden können.

Aktuelle Feldversuche

In der Saison 2018/2019 erfolgte eine Ausweitung des Tastversuches an den drei JKI-Standorten Berlin, Braunschweig und Quedlinburg. Die Aussaatvarianten wurden beibehalten (Gleichstandsaat: 150 Körner m^{-2} , Drillsaat: 150 und 350 Körner m^{-2}). An Winterweizensorten wurden 'Memory', 'Eternity' und 'Bernstein' gewählt, welche sich unter anderem hinsichtlich ihres Bestockungsverhaltens unterscheiden, in ihrer phänologischen Entwicklungs-

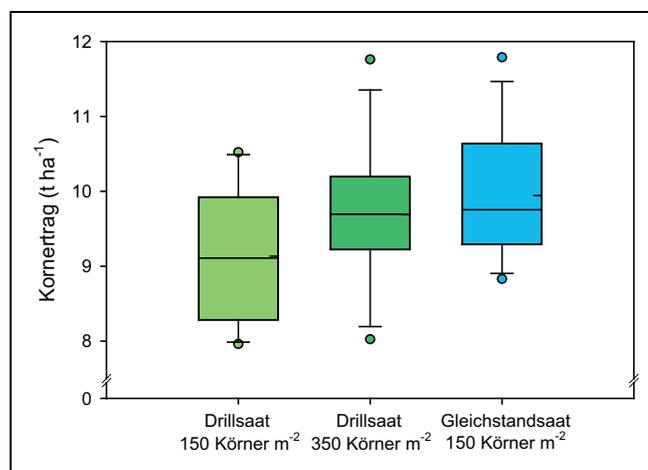


Abb. 1. Kornerträge in den unterschiedlichen Aussaatvarianten (nicht signifikant für $p < 0,05$).

geschwindigkeit jedoch sehr ähnlich sind. Die Gleichstandsatzparzellen (5 m²) wurden mittels Saatschablonen angelegt, wodurch eine optimale Saatschablone erreicht wurde (Abb. 2). Ergänzend zu dem mehrortigen Versuch werden an einzelnen Standorten Versuche mit Fragestellungen zu Krankheitsanfälligkeit und Unkrautunterdrückungsvermögen in Abhängigkeit der Aussaatvarianten bearbeitet. Zudem werden ausgewählte genetische Ressourcen des Weizens hinsichtlich ihrer Anbaueignung in Gleichstandsatz untersucht.

Geplante Maschinenanpassung

Parallel zu den Feldversuchen ist die Anpassung bzw. Weiterentwicklung einer Einzelkornsämaschine geplant, um die Aussaat in optimaler Gleichstandsatz zu erreichen. Dazu soll eine mechanisch arbeitende Einzelkornsämaschine so angepasst werden, dass eine Aussaat im Dreieckverband ermöglicht wird. Parallel dazu ist geplant, für die Anlage der Feldversuche ein mobiles autonomes Portalsystem zu entwickeln, durch das die Aussaat der Parzellen weitestgehend automatisiert erfolgen kann.

Fazit/Ausblick

Die Aussaat in Gleichstandsatz lässt viele pflanzenbauliche Vorteile erwarten und bietet dadurch weiteres Optimierungspotential im Getreideanbau. Die praktische Umsetzung mittels Einzelkornablage ist jedoch aktuell noch nicht möglich. Die aktuellen Entwicklungen in den Bereichen Technik, Robotik und Digitalisierung bieten

jedoch neue Möglichkeiten, um die Gleichstandsatz zukünftig in der Praxis zu etablieren. Denkbar ist dabei die exakte Saatschablone mittels autonomer Maschinen, welche einen wichtigen Beitrag zu „Neuen Pflanzenbausystemen“ (WEGENER et al., 2017) leisten könnten.

Literatur

- AULD, B.A., KEMP, R.W. MEDD, 1983: The influence of spatial arrangement on grain yield of wheat. *Australian Journal of Agricultural Research* **34** (2), 99, DOI:10.1071/AR9830099.
- BRISSON, N., P. GATE, D. GOUACHE, G. CHARMET, F.-X. OURY, F. HUARD, 2010: Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. *Field Crops Research* **119** (1), 201–212, DOI:10.1016/j.fcr.2010.07.012.
- DEMMELE, M., O. HAHNENKAMM, G. KORMANN, M. PETERREINS, 2000: Gleichstandsatz bei Silomais – Ergebnisse aus zwei Versuchsjahren. *Landtechnik* **55** (3), 210–211, DOI:10.1515/LT.2000.1881.
- FISCHER, R.A., R.E. MILES, 1973: The role of spatial pattern in the competition between crop plants and weeds. a theoretical analysis. *Mathematical Biosciences* **18** (3-4), 335–350, DOI:10.1016/0025-5564(73)90009-6.
- GÖTZ, S., H. BERNHARDT, 2010: Produktionsvergleich von Gleichstandsatz und Normalsatz bei Silomais. 107–110 Seiten/LANDTECHNIK, Bd. 65, Nr. 2 (2010), DOI:10.1515/LT.2010.604.
- GRIEPENTROG, H.-W., 1999: Zur Bewertung der Flächenverteilung von Saatgut. *Landtechnik* **54** (2), 78–79.
- HEEGE, H., 1967: Die Gleichstands-, Drill- und Breitsatz des Getreides unter besonderer Berücksichtigung der flächenmäßigen Kornverteilung. *KTL Berichte über Landtechnik* (112).
- KEMP, D.R., B.A. AULD, R.W. MEDD, 1983: Does optimizing plant arrangements reduce interference or improve the utilization of space? *Agricultural Systems* **12** (1), 31–36, DOI:10.1016/0308-521X(83)90019-7.
- KRISTENSEN, L., J. OLSEN, J. WEINER, 2008: Crop Density, Sowing Pattern, and Nitrogen Fertilization Effects on Weed Suppression and Yield in Spring Wheat. *Weed Science* **56** (1), 97–102, DOI:10.1614/WS-07-065.1.
- KRISTENSEN, L., J. OLSEN, J. WEINER, H.W. GRIEPENTROG, M. NØRREMARK, 2006: Describing the spatial pattern of crop plants with special reference to crop-weed competition studies. *Field Crops Research* **96** (2-3), 207–215, DOI:10.1016/j.fcr.2005.07.004.
- LÄDIG, F., H.-P. PIEPHO, T. DROBEK, U. MEYER, 2014: Genetic and non-genetic long-term trends of 12 different crops in German official variety performance trials and on-farm yield trends. *TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik* **127** (12), 2599–2617, DOI:10.1007/s00122-014-2402-z.
- MEDD, R.W., B.A. AULD, KEMP, R.D. MURISON, 1985: The influence of wheat density and spatial arrangement on annual ryegrass, *Lolium rigidum* Gaudin, competition. *Australian Journal of Agricultural Research* **36** (3), 361, DOI:10.1071/AR9850361.
- OHE, C. von der, M. BAUMECKER, R. HACHMEISTER, J. PETERS, A. POTTHAST, 2016: Einzelkornsatz lohnt bisher nicht. *DLZ Agrarmagazin*, 34–37.
- OLSEN, J., L. KRISTENSEN, J. WEINER, H.W. GRIEPENTROG, 2005: Increased density and spatial uniformity increase weed suppression by spring wheat. *Weed Research* **45** (4), 316–321, DOI:10.1111/j.1365-3180.2005.00456.x.
- OLSEN, J., J. WEINER, 2007: The influence of *Triticum aestivum* density, sowing pattern and nitrogen fertilization on leaf area index and its spatial variation. *Basic and Applied Ecology* **8** (3), 252–257, DOI:10.1016/j.baae.2006.03.013.
- OLSEN, J.M., H.-W. GRIEPENTROG, J. NIELSEN, J. WEINER, 2012: How Important are Crop Spatial Pattern and Density for Weed Suppression by Spring Wheat? *Weed Science* **60** (03), 501–509, DOI:10.1614/WS-D-11-00172.1.
- PANT, M.M., 1979: Dependence of Plant Yield on Density and Planting Pattern. *Annals of Botany* **44** (4), 513–516, DOI:10.1093/oxfordjournals.aob.a085761.
- SOETONO, C.M. DONALD, 1980: Emergence, Growth and Dominance in Drilled and Square-Planted Barley Crops. *Australian Journal of Agricultural Research* **31** (3), 455–470.
- SOETONO, D.W. PUCKRIDGE, 1982: The effect of density and plant arrangement on the performance of individual plants in barley and wheat crops. *Australian Journal of Agricultural Research* **33** (2), 171–177.



Abb. 2. Aussaat in manueller Gleichstandsatz mit Schablone, Sorte Bernstein, 25.10.2019. Foto: Timo Schmidt

- WEGENER, J.K., L.-M. URSO, D. VON HÖRSTEN, T.-F. MINßEN, C.-C. GAUS, 2017: Neue Pflanzenbausysteme entwickeln – welche innovativen Techniken werden benötigt? *Landtechnik* **72** (2), 91–100, DOI:10.1515/lt.2017.3156.
- WEINER, J., S.B. ANDERSEN, W.K.-M. WILLE, H.W. GRIEPENTROG, J.M. OLSEN, 2010: Evolutionary Agroecology: The potential for cooperative, high density, weed-suppressing cereals. *Evolutionary applications* **3** (5-6), 473–479, DOI:10.1111/j.1752-4571.2010.00144.x.
- WEINER, J., H.-W. GRIEPENTROG, L. KRISTENSEN, 2001: Suppression of weeds by spring wheat *Triticum aestivum* increases with crop density and spatial uniformity. *Journal of Applied Ecology* **38** (4), 784–790, DOI:10.1046/j.1365-2664.2001.00634.x.

© Der Autor/ Die Autorin 2019.

 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) 2019.

 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>).