

Austrian Journal of Forest Science

Centralblatt

für das gesamte
Forstwesen

Geleitet von
P. Mayer und H. Hasenauer
Gegründet 1875



140. Jahrgang ♦ Heft 1 ♦ 2023
Seite 1–76

 AV-Medien
Der Lebensverlag.

Ziel: Das Centralblatt für das gesamte Forstwesen veröffentlicht wissenschaftliche Arbeiten aus den Bereichen Wald- und Holzwissenschaften, Umwelt und Naturschutz, sowie der Waldökosystemforschung. Die Zeitschrift versteht sich als Bindeglied von Wissenschaftlern, Forstleuten und politischen Entscheidungsträgern. Daher sind wir auch gerne bereit, Überblicksbeiträge sowie Ergebnisse von Fallbeispielen sowie Sonderausgaben zu bestimmten aktuellen Themen zu veröffentlichen. Englische Beiträge sind grundsätzlich erwünscht. Jeder Beitrag geht durch ein internationales übliches Begutachtungsverfahren.

Aims and scope: The Austrian Journal of Forest Science publishes scientific papers related to forest and wood science, environmental science, natural protections as well as forest ecosystem research. An important scope of the journal is to bridge the gap between scientists, forest managers and policy decision makers. We are also interested in discussion papers, results of specific field studies and the publishing of special issues dealing with specific subjects. We are pleased to accept papers in both German and English. Every published article is peer-reviewed.

Herausgeber:

DI Dr. Peter Mayer
Bundesforschungs- und
Ausbildungszentrum für Wald, Na-
turgefahren und Landschaft (BFW)
Seckendorff-Gudent-Weg 8
A-1131 Wien

Editor-in-Chief:

Univ.-Prof. Dr. Hubert
Hasenauer
Institut für Waldbau
Universität für Bodenkultur
Peter-Jordan-Straße 82
A-1190 Wien

Managing Editor:

DI Dr. Mathias Neumann
Institut für Waldbau
Universität für Bodenkultur
Peter-Jordan-Straße 82
A-1190 Wien

Gründungsherausgeber: Rudolf Micklitz, 1875

Wissenschaftlicher Beirat:

Hrovje Marjanovic
Miglena Zhiyanski
Silvio Schüler

Croatian Forestry Research Institute, Jastrebarsko, Croatia
Forest Research Institute, Bulgarian Academy of Science, Sofia, Bulgaria
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und
Landschaft (BFW), Vienna, Austria

Michał Zasada
Georg Kindermann:
Martin Braun
Barbara Fussli

Warsaw University of Life Sciences (SGGW), Warsaw, Poland
International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria
Universität für Bodenkultur Wien (BOKU), Wien, Austria
Bayerisches Amt für forstliche Saat- und Pflanzenzucht, Teisendorf, Germany

Internet: <http://www.boku.ac.at/cbl>

Gedruckt mit der Förderung des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Kultur in Wien.

Austrian Journal of Forest Science

Centralblatt für das gesamte Forstwesen

ORGAN DES DEPARTMENTS FÜR WALD- UND BODENWISSENSCHAFTEN DER UNIVERSITÄT FÜR
BODENKULTUR UND DES BUNDESAMT UND FORSCHUNGSZENTRUM FÜR WALD

Begründet 1875

140. JAHRGANG HEFT 1

Januar bis März 2023

Seite 1–76

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Verfassers und des Verlages gestattet.

INHALT DIESES HEFTES

- Slobodan Milanović, Dragutin T. Mihailović, Milena Lakićević, Vladimir Đurđević, Slavica Malinović-Milićević, Sladjan D. Milanović, Zoran Trailović:** Impact of UV radiation and temperature on the spongy moth and the brown-tail moth in Serbia; *Auswirkungen von UV-Strahlung und Temperatur auf den Schwammspinner und den Goldafter in Serbien* 1
- Hengchao Zou, Huayong Zhang, Tousheng Huang, Yonglan Tian:** Differences in tree interactions between dominant species in pure and mixed forests in northern Hebei, China; *Unterschiede in den Interaktionen zwischen den dominanten Baumarten in Rein- und Mischwäldern im nördlichen Hebei, China* 21
- Christoph End, Shinji Yamamoto, Yukio Teraoka, Sebastian Hein:** Die Anfänge des forstwissenschaftlichen Austausches zwischen Japan und Österreich – Wegmarken und Vermittlerfiguren; *The beginnings of sharing forestry knowledge between Japan and Austria – milestones and key persons* 53

ÖSTERREICHISCHER AGRARVERLAG WIEN

Erscheinungsweise: jährlich 4 Hefte,
Jahresbezugspreise inkl. Postgebühr und 10% Mehrwertsteuer im Inland € 259,10, Einzelheft
€ 64,80; im Ausland € 264,20 (exkl. 10% Ust.). Das Abonnement gilt für ein weiteres Jahr als erneuert, falls
nicht 8 Wochen vor Ende des Bezugszeitraumes eine schriftliche Kündigung beim Verlag eintrifft. Alle Rechte
vorbehalten! Nachdruck und fotomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des
Verlages; veröffentlichte Texte und Bilder gehen in das Eigentum des Verlages über, es kann daraus kein wie immer
gearteter Anspruch, ausgenommen allfälliger Honorare, abgeleitet werden! Printed in Austria. Die Herausgabe
dieser Zeitschrift erfolgt mit Förderung durch das Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung.

Die Offenlegung gemäß §25 Mediengesetz ist unter www.agrarverlag.at/offenlegung ständig abrufbar.

Medieninhaber und Herausgeber:
Österreichischer Agrarverlag, Druck- und Verlagsges.m.b.H. Nfg. KG, Sturzgasse 1a, 1140 Wien.
DVR-Nr. 0024449, HRB-Nr.: FN 150499 y; UID-Nr.: ATU 41409203, ARA: 9890.
Abonnement-Verwaltung: Sturzgasse 1a, 1140 Wien,
Tel. +43 (0) 1/981 77-0, Fax +43 (0)1/981 77-130.
Internet: <http://www.forestscience.at>. Layout: Markus Reithofer.

140. Jahrgang (2023), Heft 1, S. 1–20

**Austrian Journal of
Forest Science**

Centralblatt
für das gesamte
Forstwesen

Impact of UV radiation and temperature on the spongy moth and the brown-tail moth in Serbia

Auswirkungen von UV-Strahlung und Temperatur auf den Schwammspinner und den Goldafter in Serbien

Slobodan Milanović^{1,2*}, Dragutin T. Mihailović³, Milena Lakićević⁴, Vladimir Đurđević⁵, Slavica Malinović-Milićević⁶, Sladjan D. Milanović⁷, Zoran Trailović⁸

Keywords: regional climate change effects, *Lymantria dispar*, *Euproctis chrysorrhoea*, Temperature, UV radiation

Schlüsselbegriffe: regionale Effekte des Klimawandels, *Lymantria dispar*, *Euproctis chrysorrhoea*, Temperatur, UV-Strahlung

Abstract

The impact of climate change on insect pests is an emerging topic in forestry and forest science. This study investigates the relationships between two broadleaved forest pests – spongy moth (*Lymantria dispar* L.) and brown-tail moth (*Euproctis chrysorrhoea* L.) – and oaks (*Quercus* sp.) as their hosts. Oak forests cover almost one-third of the total forest area of Serbia and are ecologically very valuable, but at the same time vulnerable, as being affected in adverse ways by several primary pests and pa-

¹ Department of Forestry, University of Belgrade, Faculty of Forestry, Kneza Višeslava 1, 11030 Belgrade, Serbia

² Department of Forest Protection and Wildlife Management, Mendel University in Brno, Zemedelska 3, 61300 Brno, Czech Republic

³ Faculty of Sciences, Department of Physics, University of Novi Sad, Dositeja Obradovića Sq. 3, Novi Sad, Serbia

⁴ Department of Fruit Science, Viticulture, Horticulture and Landscape Architecture, University of Novi Sad, Faculty of Agriculture, Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, Serbia

⁵ Institute of Meteorology, University of Belgrade, Faculty of Physics, Dobračina 16, 11000 Belgrade, Serbia

⁶ Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA, Đure Jakšića 9, 11000 Belgrade, Serbia

⁷ Department for Biomechanics, biomedical engineering and physics of complex systems, Institute for Medical Research, University of Belgrade, Dr Subotića 4, 11129 Belgrade, Serbia

⁸ Institute of Silviculture, Department of Forest and Soil Sciences, University of Natural and Life Sciences, Gregor Mendel-Straße 33, Vienna 1180, Austria

*Corresponding author: Slobodan Milanović, slobodan.milanovic@sfb.bg.ac.rs

thogens. Since 1862, Serbia experienced several extremely large outbreaks of spongy moth with more than a hundred thousand hectares completely defoliated each time, while brown-tail moth occurred periodically with a much lower spatial extent. The aim of this research was to investigate the effect of UV radiation (UVR) and air temperature on spongy moth and brown-tail moth in Serbian forests. We used simulations of the coupled regional climate model EBU-POM (Eta Belgrade University-Princeton Ocean Model) for the A1B scenario for the period 2001-2030 as main input and different statistical methods to explore relationships between observations of pest spread and climate change impacts. Our results suggest

- (i) increasing the areas affected by spongy moth due to its sensitivity on UVR in May, and
- (ii) altitudinal spreading of brown-tail moth population up to 800 – 1000 m.

This research indicates that *in situ* forest observations in Serbia are not only affected by climate change, but also by the combined effect of climate on forest pests. For further research, we recommend exploring other forest stressors or dieback phenomena in European forests by applying the same or similar regional climate model dataset.

Zusammenfassung

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Schadinsekten sind ein aktuelles Thema für die Forstwirtschaft und Forstwissenschaften. In diesem Beitrag wird die Beziehung zwischen zwei Laubholzschädlingen – dem Schwammspinner (*Lymantria dispar* L.) und dem Goldafter (*Euproctis chrysorrhoea* L.) – und den Eichen (*Quercus* sp.) als Wirtspflanzen untersucht. Eichenwälder bedecken fast ein Drittel der gesamten Waldfläche Serbiens und sind ökologisch sehr wertvoll, aber gleichzeitig auch anfällig, da sie stark von mehreren Primärschädlingen und Krankheitserregern betroffen sind. Seit 1862 kam es in Serbien zu mehreren extrem großen Ausbrüchen durch den Schwammspinner, bei denen jedes Mal mehr als hunderttausend Hektar Wald vollständig kahlgefräßen wurden, während der Goldafter periodisch aber in viel geringerem Ausmaß auftritt. Ziel dieser Studie war es, die Auswirkungen von UV-Strahlung (UVR) und Lufttemperatur auf Schwammspinner und Goldafter in serbischen Wäldern zu untersuchen. Wir haben Simulationen des gekoppelten regionalen Klimamodells EBU-POM (Eta Belgrade University-Princeton Ocean Model) für das A1B-Szenario für den Zeitraum 2001–2030 und verschiedene statistische Methoden verwendet, um die Beziehung zwischen Beobachtungen der Ausbreitung von Schadinsekten und dem Ausmaß der Auswirkungen des Klimawandels zu untersuchen. Unsere Ergebnisse zeigen

- (i) Vergrößerung der vom Schwammspinner befallenen Flächen aufgrund seiner Empfindlichkeit gegenüber UV-Strahlung im Mai und
- (ii) eine Höhenausbreitung der Goldafterpopulation bis zu 800–1000 m Seehöhe.

Wir konnten zeigen, dass vor Ort erhobene Waldmessungen in Serbien nicht nur stark vom Klimawandel, sondern auch durch Schadinsekten beeinflusst werden. Für zukünftige Forschungen empfehlen wir, weitere Stressfaktoren und andere Absterbephänomene in europäischen Wäldern mittels desselben oder ähnlicher Klimamodelldatensätze zu untersuchen.

1 Introduction

Forest ecosystems are threatened by many factors with both, biotic and abiotic origins (Machado Nunes Romeiro *et al.* 2022). Oak forests are ecologically very valuable, but also very vulnerable covering almost one-third of the total forested area of Serbia (Banković *et al.* 2009). They are affected vastly by several primary pests such as spongy moths (*Lymantria dispar* L.) and brown-tail moths (*Euproctis chrysorrhoea* L.) (Fig. 1). Knowledge about the factors that are driving spongy moth outbreaks is very valuable for both, current and future pest management, especially due to of expected climate changes, which may alter the interaction between oaks as hosts and their pests. The impact of climate change on insect pests is an emerging topic in forestry science (Pureswaran *et al.* 2018, Jactel *et al.* 2019). Climate change is referred to as “the biggest global health threat of the 21st century” (Costello *et al.* 2009). We expand that statement by adding the term “plant health”. This term was used in Döring *et al.* (2012), where the authors highlighted that health risk sources are clearly defined, while others, usually occurring indirectly and in interaction with factors affected by climate change, are not so well-defined.

The analysis outputs from several general circulation models suggest that the countries in Southeastern Europe, including Serbia, are facing significant impacts of climate change, affecting all aspects of human life. Several studies describe climate change issues for Serbia or its regions through dynamic and statistical downscaling and examination of the effect of climate change on crop yield, viticulture, climate indices, and partly forests (Mihailović *et al.* 2015). However, none of the studies was devoted to the issue of the impact of climate change, such as air temperature and UV radiation (UVR), on forest pest insects causing widespread damage to both ecology and human health in Serbia. Climate change is altering various components of the Earth's climate system affecting both, the amount of ozone in the stratosphere, and UV radiation exposure. Changes in UV levels can be a direct consequence of changes in ozone, or they may be indirectly affected by changes in other factors such as clouds, UV-absorbing tropospheric gases, aerosols, or surface reflectance (Bais *et al.* 2015, McKenzie *et al.* 2011).



Figure 1: Images (a) spongy moth larvae; (b) brown-tail moth larvae; (c) complete defoliation of Hungarian oak forest caused by spongy moth in Negotin county during outbreak in 2013; (d) Sessile oak dieback after two subsequent defoliation by brown-tail moth in the western part of Serbia.

Abbildung 1: Bilder von (a) Schwammspinnerlarven; (b) Goldafterlarven; (c) vollständiger Kahlfraß des ungarischen Eichenwaldes durch den Schwammspinner im Bezirk Negotin während des Ausbruchs im Jahr 2013; (d) Absterbeerscheinungen der Traubeneiche nach zwei aufeinanderfolgenden Kahlfraßereignissen durch den Goldafter im Westen Serbiens.

Tree defoliators, such as are spongy moth (*Lymantria dispar* L.), as the most harmful forest pests in the northern hemisphere (Montgomery & Wallner 1988), and the brown-tail moth (*Euproctis chrysorrhoea* L.), have a huge economic impact on forest ecosystems. According to Janković (1954), the spongy moth can be found in all parts

of Serbia, even up to 1600 m.a.s.l., but only below 1000 m it is considered to be a significant pest. From 1862 to 1995, Serbia experienced 16 spongy moth outbreaks (Marović *et al.* 1998), and another three up to 2014 (Mihajlović *et al.* 1998, Mihajlović 2008, Milanović 2014a). Some of them had disastrous consequence such as outbreak culmination in 1957 when spongy moths attacked 50% of all forests in Serbia (Milević 1959), while outbreaks in 1997 and between 2004 and 2008 were less severe, with about 25% of all Serbian forests being attacked (Mihajlović *et al.* 1998, Mihajlović 2008). The last outbreak began in 2011 and it was lasting until 2014. The spongy moth completely defoliated 66,000 ha of oak and beech forests in Serbia in 2013, while 65,000 ha suffered from severe defoliation during the outbreak in the same year (Milanović *et al.* 2014b). Frequent outbreaks of spongy moths, with two or more subsequent defoliation, results in a delayed fruting (Gottschalk 1990), great loss of radial growth in current and later years (Muzika & Liebhold 1999, 2001, Naidoo & Lechowicz 2001, Fajvan *et al.* 2008), and ending with a forest decline in the following years (Davidson *et al.* 1999). These pests may also threaten human as well as animal health during outbreaks (Kikuchi *et al.* 2012) due to the strong allergenic impact of toxins released from broken caterpillars' setae. On one hand, climate changes affect forest pests either in a straight line or through the changes of host plants or natural enemies (Anttila *et al.* 2010), which is usually seen through the impact of temperature, precipitation, and UVR. On the other hand, spongy moth may affect ecosystem processes directly or indirectly (Gandhi & Herms 2010) through the chain reactions (Kenis *et al.* 2009), and the quality and amount of water available downstream (Lovett *et al.* 2002, Kretchun *et al.* 2014). Forests respond to elevated UV radiation indirectly with an increased level of leaf phenolics and flavonoids (Sullivan 2005). These plant secondary metabolites that enhance UV protection effectiveness may also alter leaf development, water relations, and plant-herbivore interactions (Rousseaux *et al.* 1998, 2004).

For the assessment of the climate change impact on two oak defoliators in Serbia for the period 2001-2030, we used the outputs of the EBU-POM regional climate model with the A1B scenario over the period 2001-2030 and the reference climate simulations for the period 1961-1990. We put the focus on the following points:

- (i) effect of UVR on spongy moth population dynamic in the most affected part of Serbia using the projected values of the monthly UVR doses and
- (ii) movement of altitude of brown-tail moth outbreaks in dependence on a vertical shift of Köppen climate zones in Serbia.

2 Materials and methods

2.1 Study area and climate

The study area is Serbia, located between latitudes 41° and 47° N and longitudes 18° and 23° E. It covers a total of 88,361 km² (Figs. 2a and 2b). A map of the distribution of forest covers in Serbia used in this study is given in Fig. 2c while studying areas for

forest insects are depicted in Fig. 2d. According to the Köppen classification, the climate zones in Serbia include *Cfwax*", *Cfwbx*", *Dfwbx*" and *ET*". Additional information about climate details for Serbia is available in Mihailović *et al.* (2015).

2.2 Models and formula used

2.2.1 The global and regional climate models

Dynamical downscaling of the results of the global climate model ECHAM5 coupled with the Max Planck Institute Ocean Model was used to obtain time series of essential climate variables over Serbia for the period 1951-2100. For the downscaling, coupled regional climate model EBU-POM was employed. The atmospheric part of this model is the Eta/NCEP model (EBU-Eta Belgrade University) and the ocean part is the Princeton Ocean Model (POM). The atmospheric part of the model covered most of the European continent, while the ocean part was defined over the Mediterranean Sea. The coupling frequency between the two components was six minutes. The horizontal resolutions of the atmospheric and ocean model were 25 km and 20 km, respectively. The number of vertical levels in the atmospheric model was 32 and in the ocean model 21. Coupling was performed following the request of energy and mass conservation on the interface between air and water, without any flux correction add-ons. From the atmospheric model, radiation, turbulent, and mass fluxes were used as a forcing input for the ocean model, and on the other hand, sea surface temperature from the ocean model was used as a bottom boundary condition for the atmospheric model (Đurđević & Rajković 2012). Over the open seas outside the Mediterranean basin, the bottom boundary condition was defined using the results of the global climate model.

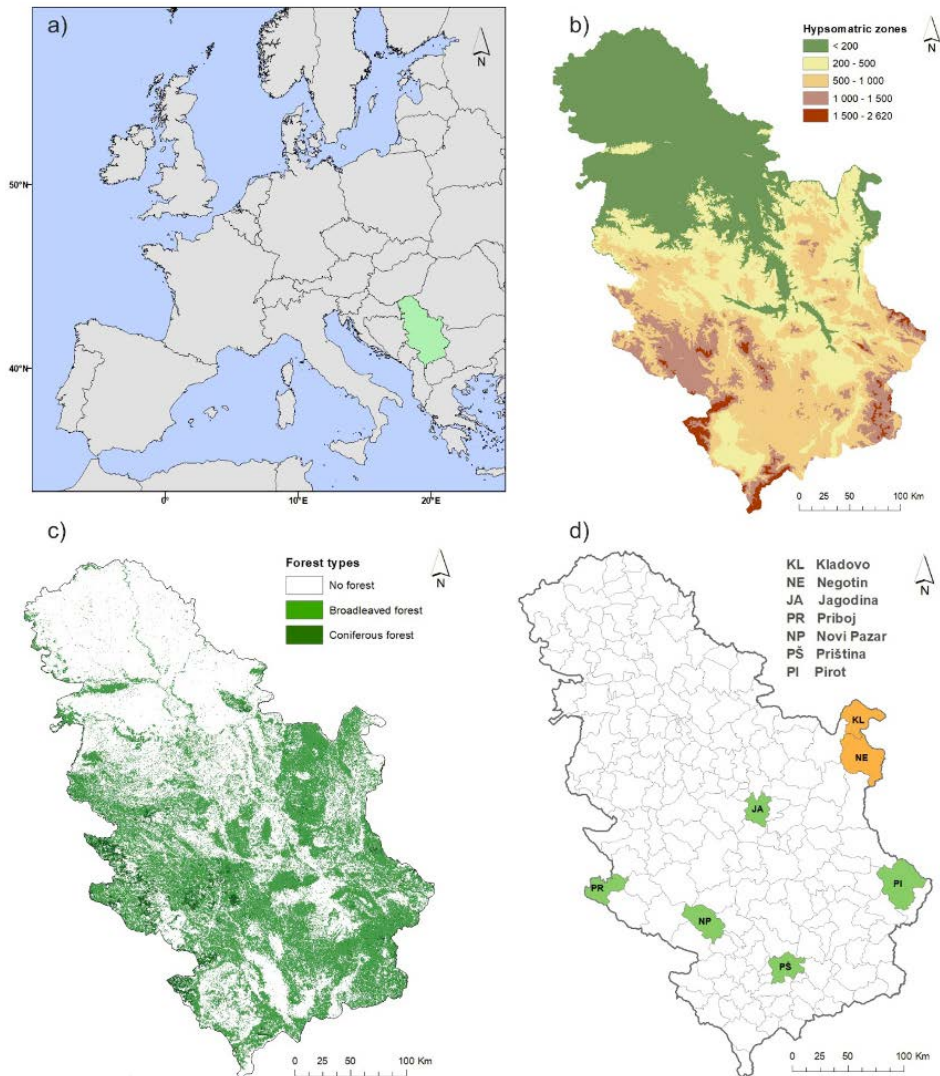


Figure 2: (a) Location of Serbia in Europe; (b) elevation zones; (c) forest cover; (d) NUTS 4 (Nomenclature of Territorial Units for Statistics) units included in study (brown-tail moth [green]; spongy moth [brown]).

Abbildung 2: (a) Lage Serbiens in Europa; (b) Höhenzonen; (c) Waldbedeckung; (d) NUTS 4 (Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik) Einheiten, die in die Studie einbezogen wurden (Goldafter [grün]; Schwammspinner [braun]).

2.2.2 Empirical formulae

For calculating the daily doses of UVR radiation, *i.e.* UVR_d , for study area sites we have used the empirical formula derived by Malinović-Milićević *et al.* (2013), *i.e.*

$$UVR_d = 0.002507 \times G_d - 5.985, \quad (1)$$

where G_d is the daily sum of the global solar radiation (kJ/m^2) depending on altitude.

2.3.2 Forest pest insects

Observed records on spongy moth and brown-tail moth that include data on the annually infested areas were collected for the period 1991-2020 in the central part of Serbia. A combined transect and method of temporary sample plots (Vasić 1981) were applied to detect the presence of spongy moth egg masses and brown-tail moth larval nests in the forest during autumn each year. In brief, all forest compartment were cheked during the Autumn each year, by the staff of the Forest State Enterprise "Srbijšume", when all trees and spongy moth egg masses were counted on the transect line. Based on the collected data about the checked trees and found spongy moth egg masses, from the field observation, and the number of trees per area unit, obtained from the forest managements plans, population density for spongy moth were determined and expressed as the number of egg masses per hectar. Population density of spongy moth was classified as outbreking if the more than 10 egg masses per hectare were recorded in specific forest compartment. To increase the accuracy of the population density assesmenent, at least four temporary sample plots 10 by 10 meteres in size, were established in each compartment where an increase in population density was recorded. For the brown-tail moth, due to high mortality of the overwintering larvae, there is no reliable threshold for the damage assesmnent or expected population density. Therefore, additional visual assessment of possible forest defoliation was done during the next spring for both species. All collected data were supervised and processed by the experts in forest protection from the Institute of forestry in Belgrade, from the central part of Serbia, authorized by the Forest Directorate (Ministry of Agriculture, Forestry and Watermanagement). Since 2013, all annual reports related to forest protection are publicly available on the Institute of forestry website (<https://www.forest.org.rs>).

Based on the available data, maps of spongy moth distribution in Serbia during the last three outbreaks were constructed. After these maps were overlapped with each other and polygons representing each outbreak intersected, the areas (polygons) with a different frequency of spongy moth occurrence during these three outbreaks were formed (Figure 3a).

2.4 Statistics

The calculations were performed for the entire time interval 1961-1990 using data taken from daily meteorological reports of the Republic Hydrometeorological Service of Serbia. To establish a vertical shift of the brown-tail moth population in outbreaks and its dependence on the mean annual temperature, regression analysis was applied. Linear regression analysis was established to statistically analyze the impact of UVR on the areas annually affected by a spongy moth (SMAA) with different time-lag periods. To test the effect of the SMAA during the previous years autocorrelation (ACF) and partial autocorrelation (PCF) analysis was applied for the summed data for the Negotin and Kladovo counties in OriginPro software ver. 2023 (OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA).

3 Results

3.2 Forest insects

Over the period 1991-2020, there were three spongy moth outbreaks in Serbia with devastating proportions. We have observed that eastern Serbia was most affected by spongy moth, especially the area of Negotin and Kladovo counties (Fig. 2d) where spongy moth occurs during each outbreak (Fig. 3a). We considered the time-lag effect response of spongy moth culmination to the UVR stronger influence, during April, May, and June, when larval feeding is most intensive.

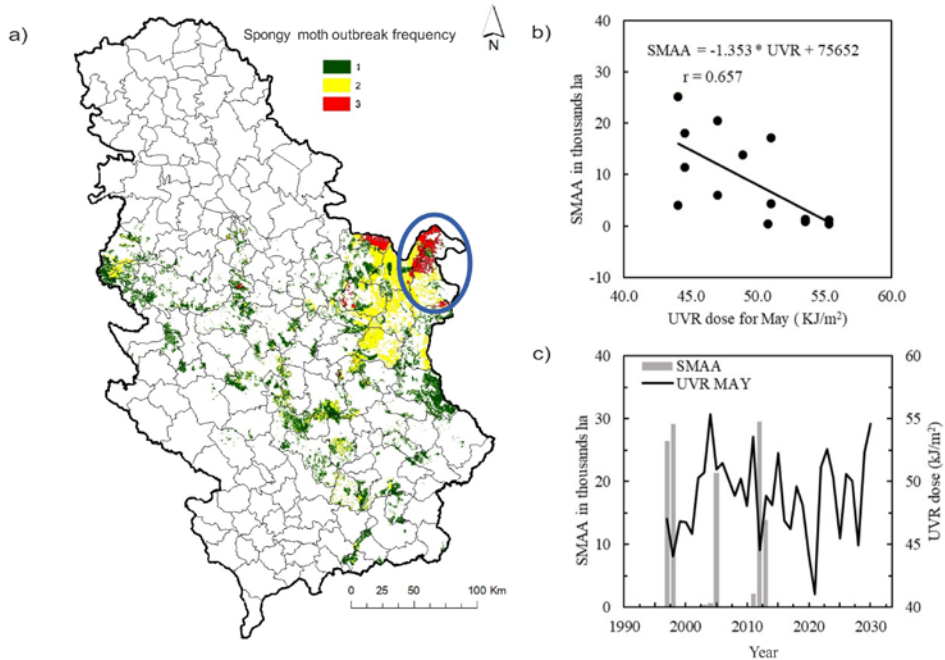


Figure 3: (a) Spatial distribution of the three spongy moth outbreaks during the period 1995–2014. The blue ellipse indicates the location of Negotin county and Kladovo county (Fig. 2d), (b) annual areas affected by SMAA versus the sum of the UVR doses for May shifted for six years and (c) temporal distribution of annual areas affected by a spongy moth (SMAA) in thousands of hectares, and the UVR doses in May.

Abbildung 3: (a) Räumliche Verteilung der drei Ausbrüche des Schwammspinners im Zeitraum 1995–2014. Die blaue Ellipse zeigt die Lage der Bezirke Negotin und Kladovo (Abb. 2d), (b) jährliche vom SMAA betroffene Flächen versus der Summe der um sechs Jahre verschobenen UVR-Dosis für Mai und (c) Zeitreihe der jährlichen von dem Schwammspinner (SMAA) betroffenen Flächen in Tausend Hektar und die UVR-Dosis im Mai.

We have calculated daily UVR doses under Eq. (1) using global radiation outputs from the EBU-POM model for the period April–September. These calculations were performed for selected Negotin county in Serbia. The relative change of the UVR doses in Serbia has increased with a tendency to be three times higher in the northern and northeastern (where the NE and KL sites are located) regions (1.2%) than in the central part of the country (0.4%). The EBU-POM model shows a significant increase of 14% in the number of days with maximum temperature over 30 °C (hot days), compared to the reference period 1961–1990, as well as a decrease of 17% in the number of days with a maximum temperature higher than 25 °C (warm days). This results in prolonged exposure of forest area to the UVR.

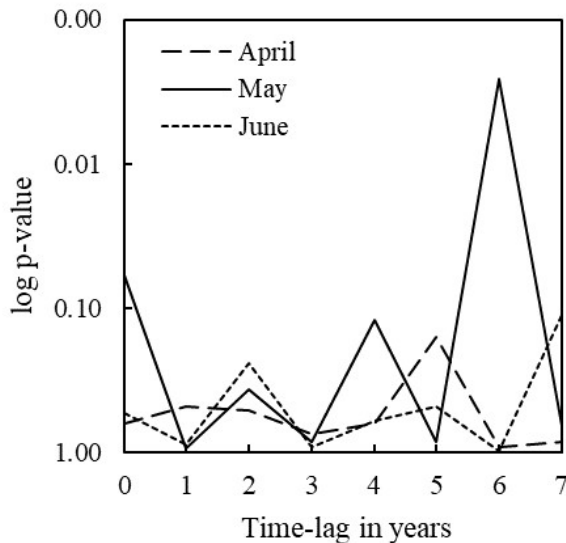


Figure 4: Significance of the relationship between spongy moth outbreak areas at culmination and UVR doses in April, May, and July and with different time-lag.

Abbildung 4: Signifikanz der Beziehung zwischen Ausbruchgröße vom Schwammspinner und UVR-Dosis im April, Mai und Juli mit unterschiedlicher zeitlicher Verzögerung.

To establish the effect of monthly UVR doses (obtained from the EBU-POM model) on SMAA we considered their dependence on the time scale for different time lags in April, May, and June. This was done by changing the time lag for one year, stepping backward, and starting from the outbreak year. For each time lag regression analysis was applied (SMAA against monthly UVR doses). It is found that only UVR doses in May have a significant effect on SMAA ($p < 0.01$) during outbreak culmination with a time lag of six years (Fig. 4). This strong relationship is visualized in Fig. 3b where the coefficient of correlation ($r = 0.657$, $p < 0.05$) points that out. Fig. 3c shows the temporal distribution of SMAA and the UVR doses in May shifted for six years. Looking at this figure we can see that significant variation of SMAA during spongy moth outbreaks could be addressed to the monthly UVR doses in May. Additional analysis reveal that at the 0.05 level the autocorrelation function is not significantly different from zero ($\chi^2 = 10.40$, $p = 0.238$), which imply that SMAA was not driven by the affected area during the previous years. Lack of significance in ACF and PCF for different time lags is depicted in the Fig. 5.

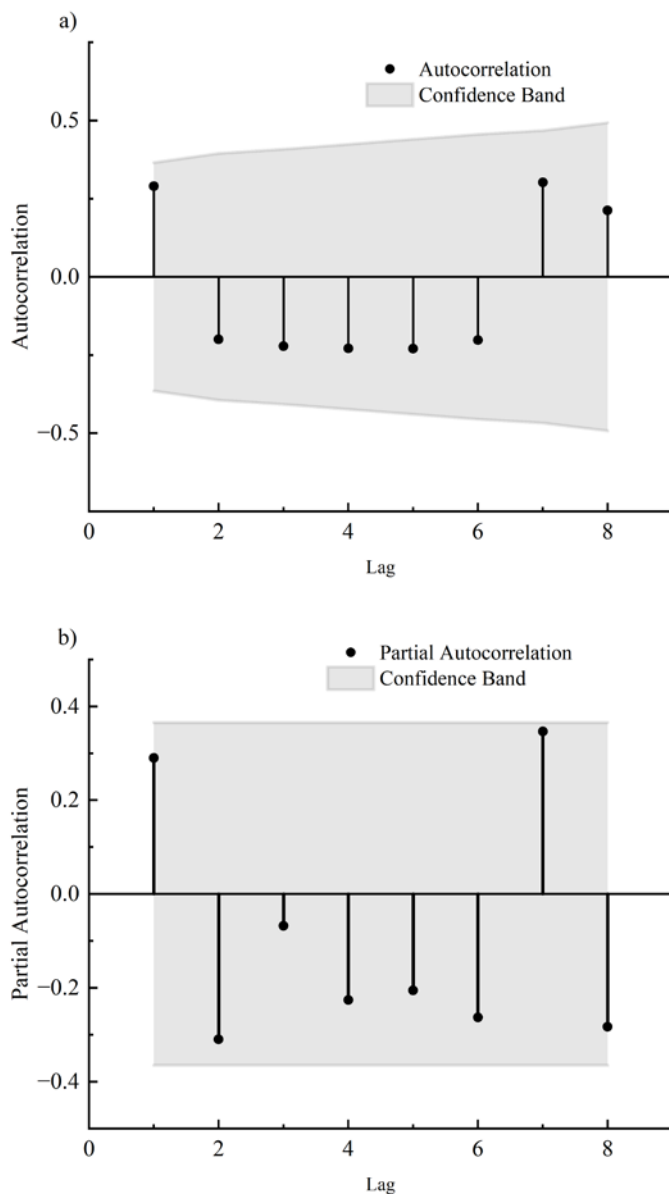


Figure 5: Time-series statistics for yearly affected area by spongy moth from Negotin and Kladovo counties (1991–2020) shown in Fig. 3c. (a) Autocorrelation function, (b) Partial autocorrelation function.

Abbildung 5: Zeitreihenstatistiken für das jährlich von Schwammspinner betroffene Gebiet aus den Bezirken Negotin und Kladovo (1991–2020), dargestellt in Abb. 3c. (a) Autokorrelationsfunktion, (b) partielle Autokorrelationsfunktion.

Before 1990 brown-tail moth outbreaks in Serbia were usually recorded at altitudes up to 600 m). However, in the last three decades (1991-2020), this pest has been found in counties at altitudes higher than 600 m, *i.e.* up to 1,000 m (Fig. 2d). This coincides with the fact that in the first third of the 21st century (period 2001-2030) the Köppen climate zones of Serbia will move in height. For instance, *Cfbvk* type from 600-800 m to 1,000 m and higher, compared to the simulations of EBU-POM model (A1B scenario) for the period 1961-1990. The mountain climate (*Dfbvk*) will move by about 100 m and an increase in the mean annual temperature. Fig. 6 shows that the spreading of the brown-tail moth population with altitude (h) can be attributed to the increase in the mean annual temperature in those regions of Serbia since h and air temperature are positively correlated ($r = 0.671$; $p < 0.05$).

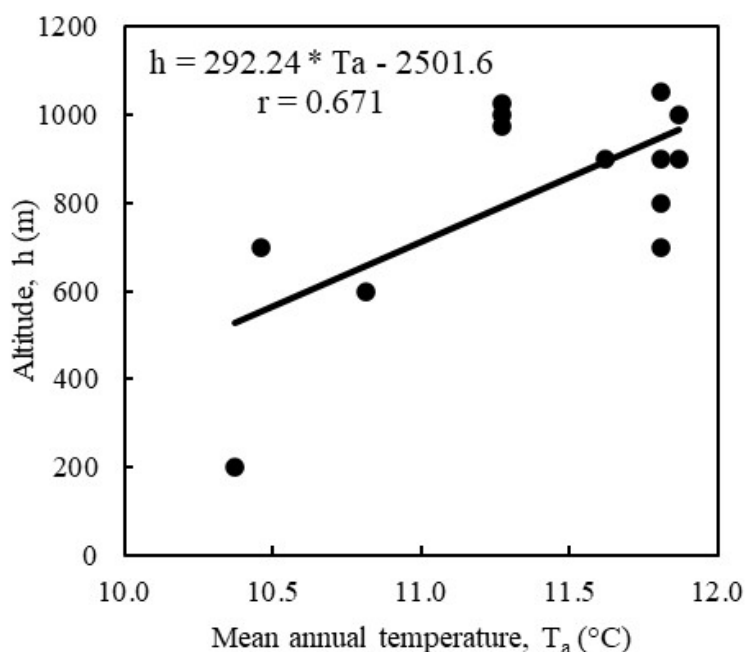


Figure 6: Effect of the shift in altitude of the Köppen climate zones of Serbia on the vertical spread of brown-tail moth population outbreaks observed for five sites in Serbia (the shifts in altitude were derived from the EBU-POM model simulations under the A1B scenario for the period 2001-2030).

Abbildung 6: Auswirkung der Höhenverschiebung der Köppen-Klimazonen Serbiens auf die vertikale Ausbreitung von Ausbrüchen der Goldafterpopulation, die für fünf Standorte in Serbien beobachtet wurden (die Höhenverschiebungen wurden aus den EBU-POM-Modellsimulationen unter dem A1B-Szenario für den Zeitraum 2001–2030 abgeleitet).

4 Discussion

It is expected that much more damage to Serbian forests would come from spongy moth and brown-tail moth, which are pests typical for deciduous forests that mostly cover the territory of Serbia (Fig. 2c). Their importance overcome even Europe and Asia since both species were introduced in North America during the 19th century (Liebhold *et al.* 1992, Schaeffer, 1974). According to Davidson *et al.* (1999) after 2-3 years of spongy moth consecutive heavy defoliation, oak tree mortality rate on dry sites can reach 80% in America, while in Europe mortality rate is estimated up to 30% (McManus & Csoka 2007). There are few papers dealing with the quantification of the relationship between forest insects and climate change and long-term impacts in forests damage. Klapwijk *et al.* (2013) considered five forest pests including the brown-till moth exhibiting outbreak dynamics in Hungary. They performed analysis using general linear models and generalized least squares regression related to mean monthly temperature and precipitation in conditions when temperature increased considerably, especially over the last 25 years (1.6 °C) while the amount of precipitation exhibited no trend over this period. Additionally, an increase of the defoliated forest by brown-tail moth in Main (USA) was favoured by the higher temperature during August and September in the previous year (Boyd *et al.* 2021). Thus, defoliated area in the same study increased from 1,000 hectares in 1995 to 50,000 hectares in 2018. We established a relationship between shifts in altitude of the Köppen climate zones of Serbia projected by the regional climate model and observed changes in altitudinal distribution of brown-tail moth, threatening larger areas of deciduous forests in Serbia (Fig. 6).

Spongy moth affects a large area of Serbian forests with very frequent outbreaks (Milanović *et al.* 2014b) with a high probability to be continued in the future due to climate change impact (Hlásny & Turčáni 2008). Thus, the climate warming scenarios predict shift of the spongy moth distribution northern boundary by 500–700 km, while the southern edge will retract northwards by 100-900 km (Vanhanen *et al.* 2007). More recent study of Fält-Nardmann *et al.* (2018) limited the shift of the spongy moth northern boundary to 200-300 kilometers mainly due to extremely low temperatures during winter. Population size, and consequently area affected by forest pests, is regulated by endogenous and exogenous factors (Royama 1992). Endogenous factors, such as natural enemies, are density dependent while exogenous factors, such as weather condition, act independently of population density (Williams & Liebhold 1995a). However, delayed effect of both regulators on the population size can be detected by autocorrelation and partial correlation functions (Williams & Liebhold 1995b, Liebhold *et al.* 2000). Lack of significance in ACF and PCF for different time lags can be explained by the suppression measures against spongy moth which probably interrupt the natural processes. Therefore, we focused on the exogenous factors to explain temporal variation of SMAA in the eastern part of Serbia. Phytophagous insects respond to solar UVR directly by avoiding exposure and indirectly by plant-mediated changes in host tissue (Mazza *et al.* 1998). Exposure to UVR increases the content of

plant secondary metabolites, including phenolic compounds in leaves (Gourlay *et al.* 2022), that may affect insect herbivores (Izaguirre *et al.* 2007) by binding proteins in the insect's midgut (Schultz 1989). Analyzing results obtained by several authors (Anttila *et al.* 2010, Buck & Callaghan 1999, Ballaré *et al.* 1996, Netherer & Schopf 2010, Rajput *et al.* 2022) and our results, we assumed that spongy moth population density was affected indirectly by UVR through its effect on leaf quality. As it is reported by many authors, an increase in leaf secondary metabolites and a decrease in nutrients lead to reduced food consumption and growth of the spongy moth (Barbehenn *et al.* 2013, Milanović *et al.* 2016, Solla *et al.* 2016). To our knowledge, there are no papers dealing with the intensity of the influence of UVR on spongy moth outbreaks.

In the years with decreased UVR doses in May, when most intensive feeding of the spongy moth larvae occurs, leaves have a reduced level of secondary metabolites that allow spongy moth larvae to grow better and produce females with increased fertility compared to the years with increased UVR. It could be reasonable to hypothesize that the reduced amount of UVR doses in May will steadily increase SMAA which was confirmed for the three outbreaks in Negotin and Kladovo counties during the period 1991-2020. Presumably, the reduced amount of UVR could be a trigger for the outbreak to come after a certain period of years depending on ecological conditions. In our study, the period was six years as it is shown in Fig. 4.

A lot of hypotheses that explain the population dynamics of forest pests (see Myers 1993) have in common mechanisms that delay the recovery of the population following a decline of insect outbreaks. For example, the nutrient stress hypothesis (Tuomi 1984) that explains delays of 3-4 years in leaf quality recovery after insect defoliation can be used to explain the missing culmination of the spongy moth outbreak in 2016.

5 Conclusion

In this paper, we analyzed the climate change impact (A1B scenario for the period 2001-2030) on two forest pests in Serbia affecting its environment. This impact is estimated based on in situ observations of forest insects and their alternations for the time period 1991-2020. We have drawn the following conclusions:

- (i) the effect of increasing the UV radiation on the spongy moth population dynamic, in the most affected part of Serbia, shows a decrease in its population, and
- (ii) there exists an altitudinal spreading of brown-tail moth population because, according to Köppen classification, the *Dfwbx*" zone (mountain climate) retreats giving space to warmer *Cfwbx*" zone (moderate continental).

List of abbreviations

Cfwax ... continental climate

Cfwbx ... moderate continental

Dfwbx ... mountain climate

ET ... Polar climate group; Tundra precipitation type

ECHAM5 ... The fifth-generation atmospheric general circulation model ECHAM5 developed at the Max-Planck Institute for Meteorology

Eta/NCEP ... National Center for Environmental Prediction

EBU-POM ... Eta Belgrade University- Princeton Ocean Model

POM ... Princeton Ocean Model

SMAA ... Areas Annually Affected by Spongy Moth.

RP01-30 ... Reference Period for the 2001-2030 in climate simulations

SRES-A1B ... Special Report on Emissions Scenarios for A1B

UVR ... UV Radiation

Acknowledgments

SDM and DTM conceived the study and helped to draft the manuscript. SDM and ZT carried out the field data collection, VDJ, SMM, and ML generated data from the models about the UVR and Temperature for the research area. SM, SDM and DTM performed the statistical analysis, ZT visualize the results and performed. All authors contributed equally to the writing of the final manuscript version. This research was funded by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia, grant numbers 451-03-47/2023-01/200169, 451-03-68/2022-14/200172, 451-03-68/2022-14/200117, and 451-03-47/2023-01/200015.

References

- Anttila U., Julkunen-Tiitto R., Rousi M., Yang S., Rantala J.M., Ruuhola T. 2010. Effects of elevated ultraviolet-B radiation on a plant-herbivore interaction. *Oecologia*, 164, 163-175. doi.org/10.1007/s00442-010-1658-5
- Bais A.F., McKenzie R.L., Bernhard G., Aucamp P.J., Ilyas M., Madronich S., Tourpali K. 2015. Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation, Photochemical & Photobiological Sciences, 14, 19-52. https://doi.org/10.1039/c4pp90032d
- Ballaré, C.L., Scopel, A.L., Stapleton, A.E., Yanovsky, M.J. 1996. Solar Ultraviolet-B Radiation Affects Seedling Emergence, DNA Integrity, Plant Morphology, Growth Rate, and Attractiveness to Herbivore Insects in *Datura ferox*. *Plant Physiology*, 112(1), 161-170. https://doi.org/10.1104/PP.112.1.161
- Banković S., Medarević M., Pantić D., Petrović N., Šljukić B., Obradović S. 2009. The growing stock of the Republic of Serbia – State and problems. *Bulletin Faculty of Forestry*, 100, 7-29, (In Serbian with English summary) doi.org/10.2298/GSF0900007B
- Barbehenn R.V., Niewiadomski J., Pecci C., Salminen J.P. 2013. Physiological benefits of feeding in the spring by *Lymantria dispar* caterpillars on red oak and sugar maple leaves: nutrition versus oxidative stress. *Chemoecology*, 23, 59-70, doi.org/10.1007/s00049-012-0119-5
- Boyd K. S., Drummond F., Donahue C., Groden E. 2021. Factors Influencing the Population Fluctuations of *Euproctis chrysorrhoea* (Lepidoptera: Erebiidae) in Maine, *Environmental Entomology*, 50, 5, 1203–1216, https://doi.org/10.1093/ee/nvab060
- Buck N., Callaghan T. V. 1999. The direct and indirect effects of enhanced UV-B on the moth caterpillar *Epirrita autumnata*. *Ecological Bulletins*, 47, 68-76.
- Costello A., Abbas M., Allen A., Ball S., Bell S., Bellamy R., Friel S., Groce N., Johnson A., Kett M., Lee M., Levy C., Maslin M., McCoy D., McGuire B., Montgomery H., Napier D., Pagel C., Patel J., de Oliveira J.A.P., Redclift N., Rees H., Rogger D., Scott J., Stephenson J., Twigg J., Wolff J., Patterson C. 2009. Managing the health effects of climate change. *The Lancet* 373(9676): 1693-1733. doi.org/10.1016/S0140-6736(09)60935-1
- Davidson C.B., Gottschalk K.W., Johnson J.E. 1999. Tree mortality following defoliation by the European gypsy moth (*Lymantria dispar* L.) in the United States: a review. *Forest Sci.* 45: 74-84
- Döring T.F., Pautasso M., Finckh M.R., Wolfe M.S. 2012. Concepts of plant health – reviewing and challenging the foundations of plant protection. *Plant Pathology*, 61, 1-15. doi.org/10.1111/j.1365-3059.2011.02501.x
- Đurđević V., Rajković B. 2012. Development of the EBU-POM coupled regional climate model and results from climate change experiments in: Mihailović D.T., Lalić B. (Eds.) *Advances in environmental modeling and measurements*. Nova Science Publishers Inc, New York, pp 23-32.
- Fajvan, M.A., Rentch, J., Gottschalk, K. 2008. The effects of thinning and gypsy moth defoliation on wood volume growth in oaks. *Trees* 22, 257–268. https://doi.org/10.1007/s00468-007-0183-6
- Fält-Nardmann J.J.J., Ruohomäki K., Tikkanen O.-P. Neuvonen S. 2018, Cold hardiness of *Lymantria monacha* and *L. dispar* (Lepidoptera: Erebiidae) eggs to extreme winter temperatures: implications for predicting climate change impacts. *Ecological Ent-*

- omology, 43, 422-430. <https://doi.org/10.1111/een.12515>
- Gandhi K.J.K., Herms D.A. 2010. Direct and indirect effects of alien insect herbivores on ecological processes and interactions in forests of eastern North America. *Biological Invasions*, 12, 389-405. doi.org/10.1007/s10530-009-9627-9
- Gottschalk K.W. 1990. Gypsy moth effects on mast production. In McGee C.E. (ed.): *Proceedings of the Workshop: Southern Appalachian Mast Management*. University of Tennessee, Knoxville, pp. 42-50
- Gourlay G., Hawkins B.J., Albert A., Schnitzler J.P., Constabel P.C. 2022. Condensed tannins as antioxidants that protect poplar against oxidative stress from drought and UV-B. *Plant, Cell and Environment*, 45, 362-377, doi.org/10.1111/pce.14242
- Hlásny T., Turčáni M. 2008. Insect pests as climate change driven disturbances in forest ecosystems in: Strelcova K., Matyas C., Kleidon A., Lapin M., Matejka F., Blazenec M., Škvarenina J., Holec J. (Eds.) *Bioclimatology and Natural Hazards*. Springer, Berlin, pp 165-178. doi.org/10.1007/978-1-4020-8876-6_15
- Izaguirre M.M., Mazza C.A., Svatos A., Baldwin I.T., Ballaré C.L. 2007. Solar ultraviolet-B radiation and insect herbivory trigger partially overlapping phenolic responses in *Nicotiana attenuata* and *Nicotiana longiflora*. *Annals of Botany*, 99, 1, 103-109, doi.org/10.1093/aob/mcl226
- Jactel H., Koricheva J., Castagneyrol B. 2019. Responses of forest insect pests to climate change: not so simple, *Current Opinion in Insect Science* 35: 103-108, doi.org/10.1016/j.cois.2019.07.010
- Janković, L.J. (1954). Some observations on the height distribution of gypsy moth. *Plant Protection*. 23, 103-104.
- Kenis M., Auger-Rozenberg M.A., Roques A., Timms L., Péré C., Cock M.J.W., Settele J., Augustin S., Lopez-Vaamonde C. 2009. Ecological effects of invasive alien insects. *Biological Invasions* 11,1, 21-45. doi.org/10.1007/s10530-008-9318-y
- Kikuchi T., Kobayashi K., Sakata K., Akasaka T. 2012. Gypsy moth-induced dermatitis: a hospital review and community survey. *European Journal of Dermatology*, 22, 384-390.
- Klapwijk M.J., Csóka G., Hirka A., Björkman C. 2013. Forest insects and climate change: long-term trends in herbivore damage. *Ecology and Evolution*, 3, 4183-4196. doi.org/10.1002/ece3.717
- Kretchun A.M., Scheller R.M., Lucash M.S., Clark K.L, Hom J., Van Tuyl S. 2014. Predicted Effects of Gypsy Moth Defoliation and Climate Change on Forest Carbon Dynamics in the New Jersey Pine Barrens. *Plos One* 9 e102531, 1-11. doi.org/10.1371/journal.pone.0102531
- Liebhold A.M., Halverson J. A., Elmes G.A. 1992. Gypsy Moth Invasion in North America: A Quantitative Analysis. *Journal of Biogeography*, 19, 5, 513-520. <https://doi.org/10.2307/2845770>
- Liebhold A., Elkinton J., Williams D., Muzika R.M. 2000. What causes outbreaks of the gypsy moth in North America? *Population Ecology*. 42, 257-266.
- Lovett G.M., Christenson L.M., Groffman P.M., Jones C.G., Hart J.E., Mitchell M.J. 2002. Insect Defoliation and Nitrogen Cycling in Forests: Laboratory plot and watershed studies indicate that most of the nitrogen released from forest foliage as a result of defoliation by insects is redistributed within the ecosystem whereas only a small fraction of nitrogen is lost by leaching. *BioScience*, 52, 335-341. doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0335:IDANCI]2.0.CO;2

- Machado Nunes Romeiro J., Eid T., Antón-Fernández C., Kangas A., Trømborg E. 2022. Natural disturbances risks in European Boreal and Temperate forests and their links to climate change – A review of modelling approaches. *Forest Ecology and Management*, 509, 120071. doi.org/10.1016/J.FORECO.2022.120071
- Malinović-Milicević S., Mihailović D.T., Lalić B., Drešković N. 2013. Thermal environment and UV-B radiation indices in the Vojvodina region Serbia. *Climate Research* 57, 111-121. doi.org/10.3354/cr01163
- Marović, R., Maravić, M., Jančić, G., Lazarev V. 1998. Gypsy moth outbreaks in Serbia, In: *Gypsy Moth Outbreaks in Serbia*. (Ed. Ž. Adamović), 1-12. The Entomological Society of Serbia, Belgrade.
- Mazza C.A., Zavala J., Scopel A.L., Ballaré C.L. (1999). Perception of solar UVB radiation by phytophagous insects: behavioral responses and ecosystem implications. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. 96, 3, 980-5. doi: 10.1073/pnas.96.3.980.
- McKenzie R.L., Aucamp P.J., Bais A.F., Björn L.O., Ilyas M., Madronich S. (2011) Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation, Photochemical & Photo-biological Sciences, 10, 182-198. https://doi.org/10.1039/c0pp90034f
- McManus M., Csoka G. 2007. History and impact of gypsy moth in North America and comparison of recent outbreaks in Europe. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*, 3, 47-64.
- Mihailović D.T., Lalić B., Drešković N., Mimić G., Đurđević V., Jančić M. 2015. Climate change effects on crop yields in Serbia and related shifts of Köppen climate zones under the SRES-A1B and SRES-A2. *International Journal of Climatology*, 35, 3320-3334. doi.org/10.1002/joc.4209
- Mihajlović, L.J. 2008. The gypsy moth (*Lymantria dispar* L.) (Lepidoptera: Lymantriidae) in Serbia. *Forestry* 1-2, 1-29.
- Mihajlović, L.J., Grbić, P., Vandić D. 1998. The latest outbreaks of gypsy moth, *Lymantria dispar* L., in the region of Serbia in the period 1995-1998, In: *Gypsy Moth Outbreaks in Serbia*. (Eds. Ž. Adamović), 81-88. The Entomological Society of Serbia, Belgrade.
- Milanović S., Janković-Tomanić M., Kostić I., Kostić M., Morina F., Živanović B., Lazarević J. 2016. Behavioural and physiological plasticity of gypsy moth larvae to host plant switching. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 158: 152-162. doi.org/10.1111/eea.12388
- Milanović S., Mihajlović L., Marković N. 2014b. Gypsy moth in Serbia: status and prospects *Entomology* (2014b)., Grand Challenges Beyond Our Horizons, 15-19 November, Portland, USA, https://esa.confex.com/esa/2014/webprogram/Paper85668.html
- Milanović S., Mihajlović L., Karadžić D., Jankovsky L., Aleksic P., Janković-Tomanić M., Lazarević J. 2014a. Effects of pedunculate oak tree vitality on gypsy moth preference and performance. *Archives of Biological Sciences*, 66, 1659-1672. doi.org/10.2298/ABS1404659M
- Milević K. 1959. A review of the suppression of gypsy moth in P.R Serbia in the gradation from 1952 to 1957, *Plant Protection* 52-53, 121-144
- Montgomery M.E., Wallner W. 1988. The gypsy moth a westward migrant in: Berryman A.A. (Ed.) *Dynamics of forest insect populations patterns causes implications*. Plenum Press, New York, 354-378. doi.org/10.1007/978-1-4899-0789-9_18
- Muzika R.M., Liebhold A.M. 1999. Changes in radial increment of host and nonhost tree species with gypsy moth defoliation. *Canadian Journal of Forest Research*. 29, 9, 1365-1373. https://doi.org/10.1139/x99-098

- Myers J. 1998. Synchrony in Outbreaks of Forest Lepidoptera: A Possible Example of the Moran Effect. *Ecology*, 79, 3, 1111-1117. doi.org/10.2307/176606
- Naidoo R., Lechowicz M.J. 2001: The effects of gypsy moth on the radial growth of deciduous trees. *Forest Science*. 47, 338-348.
- Netherer, S., Schopf, A. (2010). Potential effects of climate change on insect herbivores in European forests – General aspects and the pine processionary moth as specific example. *Forest Ecology and Management*, 259(4), 831-838. https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2009.07.034
- Pureswaran D.S., Roques A., Battisti A. 2018. Forest Insects and Climate Change, *Current Forestry Reports*, 4, 35-50, doi.org/10.1007/s40725-018-0075-6
- Rajput, S., Puranik, N., Verma, S.K. (2022). Interaction of UV-B with Terrestrial Ecosystem. 341–352. https://doi.org/10.1007/978-981-19-3620-3_16
- Rousseaux M.C., Julkunen-Tiitto R., Searles P.S. *et al.* (2004.) Solar UV-B radiation affects leaf quality and insect herbivory in the southern beech tree *Nothofagus antarctica*, *Oecologia*, 138, 505–512. doi.org/10.1007/s00442-003-1471-5
- Rousseaux, M., Ballaré, C., Scopel, A. *et al.* 1998. Solar ultraviolet-B radiation affects plant-insect interactions in a natural ecosystem of Tierra del Fuego (southern Argentina). *Oecologia* 116, 528-535. doi.org/10.1007/s004420050618
- Royama T. 1992. Analytical population dynamics. Chapman & Hall, London.
- Schaefer P.W. 1974. The population ecology of the browntail moth (*Euproctis chrysorrhoea*) (Lepidoptera: Lymantriidae) in North America. Dissertation University of Maine, Orono, ME.
- Schultz J.C. 1989. Tannin-Insect Interactions. In: Hemingway, R.W., Karchesy, J.J., Branham, S.J. (eds) *Chemistry and Significance of Condensed Tannins*. Springer, Boston, MA. doi.org/10.1007/978-1-4684-7511-1_26
- Solla A., Milanović S., Gallardo A., Bueno A., Corcobado T., Cáceres Y., Morcuende D., Quesada A., Moreno G., Pulido F. 2016. Genetic determination of tannins and herbivore resistance in *Quercus ilex*. *Tree Genetics and Genomes* 12(117). doi.org/10.1007/s11295-016-1069-9
- Sullivan J.H. 2005. Possible impacts of changes in UV-B radiation on North American trees and forests, *Environmental Pollution*, 137, 3, 380-389, doi.org/10.1016/j.envpol.2005.01.029
- Tuomi J., Niemelä P., Haukioja E., Sirén S., Neuvonen S. 1984. Nutrient stress: an explanation for plant anti-herbivore responses to defoliation. *Oecologia*, 61, 208-210.
- Vanhanen H., Veteli T.O., Paivinen S., Kellomaki S., Niemela P. 2007. Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth and nun moth-a model study. *Silva Fennica*, 41(4), 621.
- Vasić K. (ed.) 1981. Manual for diagnostical prognosis service of forest protection. Association of engineers and technicians of forestry and wood technology of Yugoslavia Belgrade.
- Williams D.W., Liebhold A.M. 1995a. Influence of weather on the synchrony of gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae) outbreaks in New England. *Environmental Entomology*, 24, 987–995.
- Williams D.W., Liebhold A.M. 1995b Detection of delayed density dependence: effects of autocorrelation in an exogenous factor. *Ecology*, 76, 1005-1008.

140. Jahrgang (2023), Heft 1, S. 21–52

**Austrian Journal of
Forest Science**

Centralblatt
für das gesamte
Forstwesen

Differences in tree interactions between dominant species in pure and mixed forests in northern Hebei, China

Unterschiede in den Interaktionen zwischen den dominanten Baumarten in Rein- und Mischwäldern im nördlichen Hebei, China

Hengchao Zou¹, Huayong Zhang^{1*}, Tousheng Huang¹, Yonglan Tian¹

Keywords: species coexistence, tree interactions, life stages, forest ecosystems

Schlüsselbegriffe: Koexistenz von Arten, Interaktionen zwischen Bäumen, Lebensstadien, Waldökosysteme

Abstract

Tree interactions have long been recognised as key biotic interactions in forest ecosystems and their spatial patterns can improve our understanding of forest structure and dynamics. In this study, we explored the intraspecific and interspecific interactions of *Betula platyphylla* Suk. (birch) and *Larix principis-rupprechtii* Mayr. (larch) in mountainous forests of northern Hebei, China. The mark correlation function based on tree height was employed in this analysis. Our results showed that the intraspecific interactions in pure birch and larch stands were mainly competition, while in the mixed birch–larch stand, they were mainly facilitation. The intraspecific interaction between saplings and adults changed from competition in the pure birch stand to facilitation in the mixed stand ($4.5 < r < 6$ m) and an opposite variation was observed for the interaction between birch juveniles and adults ($2 < r < 3.5$ m). The interspecific interaction between birch and larch mainly appeared as competition, while facilitation between birch saplings/adults and larch juveniles was significant. In contrast to

¹ Research Center for Engineering Ecology and Nonlinear Science, North China Electric Power University, Beijing, China

*Corresponding author: Huayong Zhang, rceens@ncepu.edu.cn

previous studies, our results revealed that the coexistence of birch and larch in mixed forests significantly regulated tree interactions, including competition and facilitation. The findings of this study will help understand the dynamics of similar forest ecosystems and may provide new perspectives for forest management.

Zusammenfassung

Die Interaktionen zwischen Bäumen sind seit langem als wichtige biotische Interaktionen in Waldökosystemen bekannt und ihre räumlichen Muster können unser Verständnis der Waldstruktur und Walddynamik verbessern. In dieser Studie untersuchten wir die intraspezifischen und interspezifischen Interaktionen von *Betula platyphylla* Suk. (Birke) und *Larix principis-rupprechtii* Mayr. (Lärche) in Bergwäldern im Norden von Hebei, China. Es wurde die auf Baumhöhe basierende Markkorrelationsfunktion verwendet. Unsere Ergebnisse zeigten, dass die intraspezifischen Interaktionen in reinen Birken- und Lärchen-Beständen hauptsächlich auf Konkurrenz basieren, während in gemischten Birken-Lärchen-Beständen hauptsächlich eine Förderung beobachtet wurde. Darüber hinaus veränderte sich die intraspezifische Interaktion zwischen Jungpflanzen und ausgewachsenen Bäumen von Konkurrenz im reinen Birkenbestand zur Förderung im gemischten Bestand ($4,5 < r < 6$ m) und eine entgegengesetzte Variation wurde für die Interaktion zwischen jungen und ausgewachsenen Birken beobachtet ($2 < r < 3,5$ m). Die interspezifische Interaktion zwischen Birke und Lärche trat hauptsächlich als Konkurrenz auf, während die Förderung zwischen jungen/erwachsenen Birken und jungen Lärchen signifikant war. Im Vergleich zu früheren Studien haben unsere Ergebnisse gezeigt, dass die Koexistenz von Birke und Lärche in Mischwäldern durch die Interaktionen zwischen den Bäumen, wie Konkurrenz und Förderung, reguliert wird. Die Ergebnisse dieser Studie können zu einem besseren Verständnis der Entwicklung von Waldökosystemen und deren Dynamik beitragen und neue Perspektiven für die Waldbewirtschaftung eröffnen.

1 Introduction

Plant interactions are key drivers of forest structure and function. Trees are core components of forests, since they link belowground and aboveground communities and regulate stand structures (Jakobsson *et al.* 2019). Tree interactions are essential ecological forces that shape forest dynamics in time and space, and govern growth, mortality and regeneration processes in plant communities (Seifan & Seifan 2015; Pommerening & Sánchez Meador 2018). The combined effects of tree interactions and environmental conditions determine the spatial distributions of species in forests (Zhang *et al.* 2010; Sigdel *et al.* 2020), and also provide insight into the mechanisms of plant coexistence (Zillio & He 2010; Ehlers *et al.* 2016). Therefore, a clear understand-

ding of species coexistence and tree interactions has both theoretical and practical implications for forest management (Qi *et al.* 2016). However, it is still a challenge to recognize the relationship between plant species coexistence patterns and complex tree interactions, such as competition and facilitation (Zhou *et al.* 2019).

In plant communities, previous studies about plant interaction mostly focused on competition (Michalet & Pugnaire 2016). In fact, competition and facilitation operate simultaneously, and thereby affect the outcome of tree interactions (Choler *et al.* 2001; Bonanomi *et al.* 2016). Complex combinations of them often occur between plant species and even among the same individuals (Callaway & Walker 1997). Moreover, both competition among reciprocal species and facilitation among competitors could stabilize plant communities (Losapio *et al.* 2021). One species or individual may benefit others even when they compete for the same limiting resources with it (Wang & Wu 2017). If the balance between benefits and costs is positive, a facilitative interaction is possible to appear and lead to the coexistence of both species (Valiente-Banuet & Verdú 2008; Soliveres *et al.* 2015). Meanwhile, large numbers of competing species can coexist in ecosystems because of resource limitation and spatial heterogeneity (Harpole & Tilman 2007; Douda *et al.* 2021).

Plant interactions are usually measured by performance indicators of single plants or plant communities, without consideration for neighbour plants (Pommerening & Sánchez Meador 2018), and these indicators are hard to measure in forests. Increasing methods have been applied to study tree interactions among individuals based on the distance and size of neighbor trees, such as Hegyi's competition index (Hegyi 1974), mingling index (Gadow & Földner 1993), uniform angle index (Hui *et al.* 1998), and dominance index (Gadow *et al.* 2012). Moreover, by indicating the positions of trees, many distribution patterns have been explored and used to analyse tree interactions (Stoyan & Penttinen 2000; Koukoulas & Blackburn 2005; Carrer *et al.* 2018; Bianchi *et al.* 2021). The development of spatial point pattern analysis has largely promoted studies on the spatial distribution in natural forests (Ghalandarayeshi *et al.* 2017; He *et al.* 2018) and plantations (Zhang *et al.* 2019). In the spatial point pattern analysis, the mark correlation function $k_{mm}(r)$ was an effective tool and capable of identifying interactive effects in forests (Yilmaz *et al.* 2019; Yuan *et al.* 2020). The function was frequently used to analyze spatial interactions of a mark (Illian *et al.* 2008), which could be a tree size such as diameter or height (Ledo *et al.* 2011; Erfanifard & Stereńczak 2017). In such analysis, the employment of mark correlation function, which considered the species of trees and their sizes simultaneously, can reveal the specific performance in tree interactions (Wiegand & Moloney 2004). In addition, studying tree interactions by these nonclassical methods can improve the understanding of stand spatial structure and provide more information to guide forest management (Yilmaz *et al.* 2019).

Mixed-species forests and plantations sometimes have more forest productivity than pure stands, depending on the influences of different plant interactions (Forrester

2014). In mixed stands, plant competition and facilitation are essential to the performance of stands, and can generate greater effects than pure stands (del Río *et al.* 2014b). Some studies have found that interspecific interactions can improve tree growth in mixed stands under conditions of reduced competition or existing facilitation (Aussenac *et al.* 2019), and the effects of neighbourhood may vary with growth conditions, species composition and structure (del Río & Sterba 2009; del Río *et al.* 2014a). For instance, an experiment in the multispecies forest showed that variations in the competition intensity among trees along soil fertility depend on the context and species (Coates *et al.* 2013). In addition, the intensity and direction of plant interactions are regulated by life stages (Keammerer & Hacker 2013; Ledo 2015), and competition may intensify from early to late life stages (Schiffers & Tielborger 2006). Despite over a long period of research, however, the differences in tree interactions between mixed and pure stands, and the roles of life stages in this process, are still obscure.

In this study, we hypothesize that tree interactions among life stages will show different patterns when two species coexist in a mixed forest. The mark correlation function was applied to reveal the specific performance in tree interactions by considering the species of trees and their sizes simultaneously (Wiegand & Moloney 2004; Pommerening & Särkkä 2013; Ballani *et al.* 2019). Tree height was selected as a mark, since it is obviously related to the ability of trees to compete for above-canopy light (Noyer *et al.* 2019). Using as a case study the tree interactions and coexistence patterns of *Betula platyphylla* Suk (birch) and *Larix principis-rupprechtii* Mayr. (larch) in mountainous forests of northern Hebei, China, we aim to

- (1) explore the intra- and interspecific interactions among life stages, and
- (2) reveal the differences in tree interactions of birch and larch between pure and mixed stands.

2 Material and methods

2.1 Study area

The research was conducted in the mountainous forests of northern Hebei, China. Due to harsh climate conditions and high soil erosion potential in this region, the ecosystem functioning of mountainous forests became threatened (Wang 2001). Human disturbance, such as deforestation, has caused further extensive forest degradation (Liu *et al.* 2018).

The study area is located in the southeastern Chongli District (40°47'N – 41°17'N, 114°17'E – 115°34'E), the northwest of Hebei province, China (Figure 1). A long snow-fall period is prevalent lasting about 150 days. The annual average temperature is 3.7 °C, and the mean annual precipitation is 483.3 mm (Zhang *et al.* 2021). Mountai-

nous regions with elevation ranging between 1700 m to 2100 m account for 80% of the Chongli District with a forest cover of 71.53% in 2022 (Beijing Daily, <http://www.bjd.com.cn>). The forest ecosystems are dominated by deciduous broad-leaved and coniferous species, with *Betula platyphylla* Suk (birch) and *Larix principis-rupprechtii* Mayr. (larch) being the main tree species (Song *et al.* 2018). These two tree species are also widespread in northern China and are considered to provide timber with high quality (Guo *et al.* 2017; Sun *et al.* 2017).

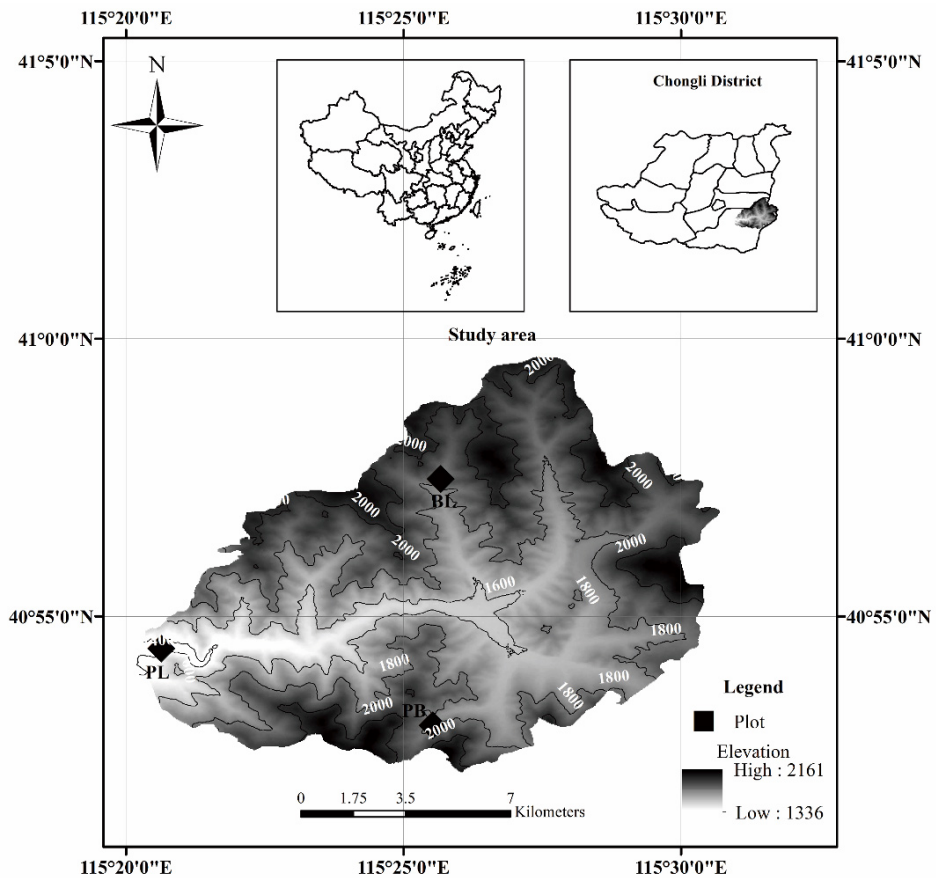


Figure 1: Study area and plot locations. PB: pure birch stand, PL: pure larch stand, BL: mixed birch-larch stand.

Abbildung 1: Untersuchungsgebiet und Standorte der Parzellen. PB: Birkenreinbestand, PL: Lärchenreinbestand, BL: Birken-Lärchen-Mischbestand.

2.2 Field measurements and data processing

Three 1 hectare (100 m × 100 m) sample plots were established in the study area (Figure 1): PB (pure birch stand) is a secondary forest, PL (pure larch stand) is a plantation and BL (mixed birch–larch stand) is a mixed forest from early planting of larch trees in birch secondary forests. These selected forests are far away from the influence of human activities and have a healthy appearance with little or no dead trees present (Figure A1). We have fenced the perimeter of the sample plots to prevent the damage by humans and/or large animals. The three plots had in general similar ecological conditions, such as aspect, slope, and soil type, to exclude the interference of environmental factors (Table 1). According to the Chinese forest inventory data (National Forestry and Grassland Science Data Center), all three plots were middle-aged forests, with the pure birch stand being somewhat older (Table 1). During the summer of 2020, DBH (diameter at breast height) was measured by a Vernier caliper (precision: 0.01 cm), tree height (H) was measured by an altimeter (precision: 0.1 m), and position was measured by a GPS locator (CHCNAV i70, precision: 1 cm). All trees in three plots with DBH ≥ 1 cm were tagged. Based on the DBH classes, trees were divided into three life stages: (a) saplings, 1 cm $\leq$ DBH < 5 cm; (b) juveniles, 5 cm $\leq$ DBH < 15 cm; and (c) adults, DBH ≥ 15 cm (Liu *et al.* 2020). Life stages less than 50 individuals were excluded (Zhou *et al.* 2019). Seedlings represent individuals with DBH < 1 cm or tree height < 1.3 m, which were not put into our analyses.

Table 1: Stand properties of the three plots. NW is the northwest.

Tabelle 1: Bestandseigenschaften der drei Probeflächen. NW ist der Nordwesten.

Plot	Elevation (m)	Aspect	Slope (°)	Soil	Stand age (years)	Species	Stand density (trees ha ⁻¹)	Basal area (m ² ha ⁻¹)
PB	1779	NW	14	brown	38	birch	1666	22.74
PL	1372	NW	13	brown	35	larch	898	16.44
BL	1804	NW	17	brown	30	birch + larch	822 + 647	7.65 + 15.02

All data were used in ArcGIS 10.2 (Environmental Systems Research Institute, Redlands, State of California, USA), planar coordinates were obtained by a projection transformation tool, and then the latitude and longitude were translated to coordinates x and y within the range of 0–100 m. Then, the distribution of tree positions and heatmaps according to tree height were created using Origin 2021 software (OriginLab, Northampton, Massachusetts, USA). Skewness and kurtosis were calculated in SPSS 24 (International Business Machines Corporation, Armonk, New York, USA) to

describe the asymmetry and peak of size (DBH and tree height) distribution, and the normality test was applied by a z-test as shown in Equation (1) (Kim 2013).

$$Z_s = \frac{S}{SE_s}, Z_k = \frac{K}{SE_k}, \quad (1)$$

where Z_s and Z_k are z scores for skewness and kurtosis, S and K are values of skewness and kurtosis, SE_s and SE_k are standard errors of skewness and kurtosis.

For sample size $n \leq 50$, if $|Z_s|$ or $|Z_k| > 1.96$, the distribution is nonnormal ($\alpha = 0.05$); for $50 < n \leq 300$, if $|Z_s|$ or $|Z_k| > 3.29$, the distribution is nonnormal ($\alpha = 0.05$); for $n > 300$, if $|S| > 2$ or $|K| > 7$, the distribution is nonnormal.

2.3 Spatial point pattern analysis

In our study, tree height was applied as a mark in the mark correlation function $k_{mm}(r)$, which was seldom used because of its difficulty in measurement. This research used univariate mark correlation functions to analyze intraspecific interactions and bivariate mark correlation functions to analyze both intra- and interspecific interactions between life stages. All functions were computed in Programita software (Weigand & Moloney 2014). The null model of our study was random labeling, and the moving window of the radius in the software was set to 30 m (Wiegand & Moloney 2004). To test the significance level of statistical analysis, 99% confidence envelopes were obtained based on the fifth highest and lowest of 999 Monte Carlo simulations, using a GoF (goodness-of-fit) test with $\alpha = 0.01$ (Ghalandarayeshi *et al.* 2017). After exporting the data, line graphs were plotted in Origin 2021. If the observed $k_{mm}(r)$ was above the envelope, the tree heights of two trees were positively correlated; if the observed $k_{mm}(r)$ was inside the envelope, the tree heights were independent; otherwise, the tree heights were negatively correlated. A positive correlation indicated that two trees were facilitative, while a negative correlation indicated that two trees were competitive (Weigand & Moloney 2014).

2.4 Interaction intensity index

In plant communities, the strength of interaction was usually measured as the ratio of some performance variables, and the interaction index should be relative (Armas *et al.* 2004). The deviation of the $k_{mm}(r)$ curve from the envelope frequently indicated competition or facilitation (Weigand & Moloney 2014). To show the strength of competition and facilitation, the ratio of the area of the $k_{mm}(r)$ curve deviating from the confidence envelope line to the area of the confidence envelope was used to

represent the interaction intensity (I). If $I > 0$, the interaction was mainly facilitative; if $I = 0$, the interaction was mainly independent; and if $I < 0$, the interaction was mainly competitive. In total, three scenarios were presented as follows:

(1) Scenario I: The $k_{mm}(r)$ curve is above the envelope.

$$I = \frac{\sum_{i < j}^R \int_{r_i}^{r_j} [k_{mm}(r) - U(r)] dr}{\int_0^R [U(r) - L(r)] dr}, \quad (2)$$

where r_i and r_j denote horizontal coordinates of intersections between the $k_{mm}(r)$ curve and the upper envelope line, $U(r)$ denotes the upper envelope line, and R denotes the moving window of radius.

(2) Scenario II: The $k_{mm}(r)$ curve is completely inside the envelope. $I = 0$, and the interaction is independent.

(3) Scenario III: The $k_{mm}(r)$ curve is below the envelope.

$$I = \frac{\sum_{i < j}^R \int_{r_i}^{r_j} [k_{mm}(r) - L(r)] dr}{\int_0^R [U(r) - L(r)] dr}, \quad (3)$$

where r_i and r_j denote horizontal coordinates of intersections between the $k_{mm}(r)$ curve and the upper envelope line, $L(r)$ denotes the lower envelope line, and R denotes the moving window of radius.

3 Results

3.1 Stand structure

In three 1-ha plots, a total of 4033 trees were measured, and more birch trees were observed than larch. Birch had a higher basal area than larch in pure stands, while the opposite result was observed in mixed stands (Table 1). Across three plots, we observed more juveniles, then adults, and a few saplings (Table 2). Heatmaps showed the spatial distribution of tree height created from field data. In general, tree height was displayed in a patchy distribution across all plots (Figure 2), and values at coordinate x of 0–50 m were significantly higher than at 50–100 m in PB ($F = 37.858$, $p < 0.001$).

The tree height in three plots increased with DBH size class (Figure A2, $p < 0.001$), and larch trees were taller than birch trees in general (Table A1).

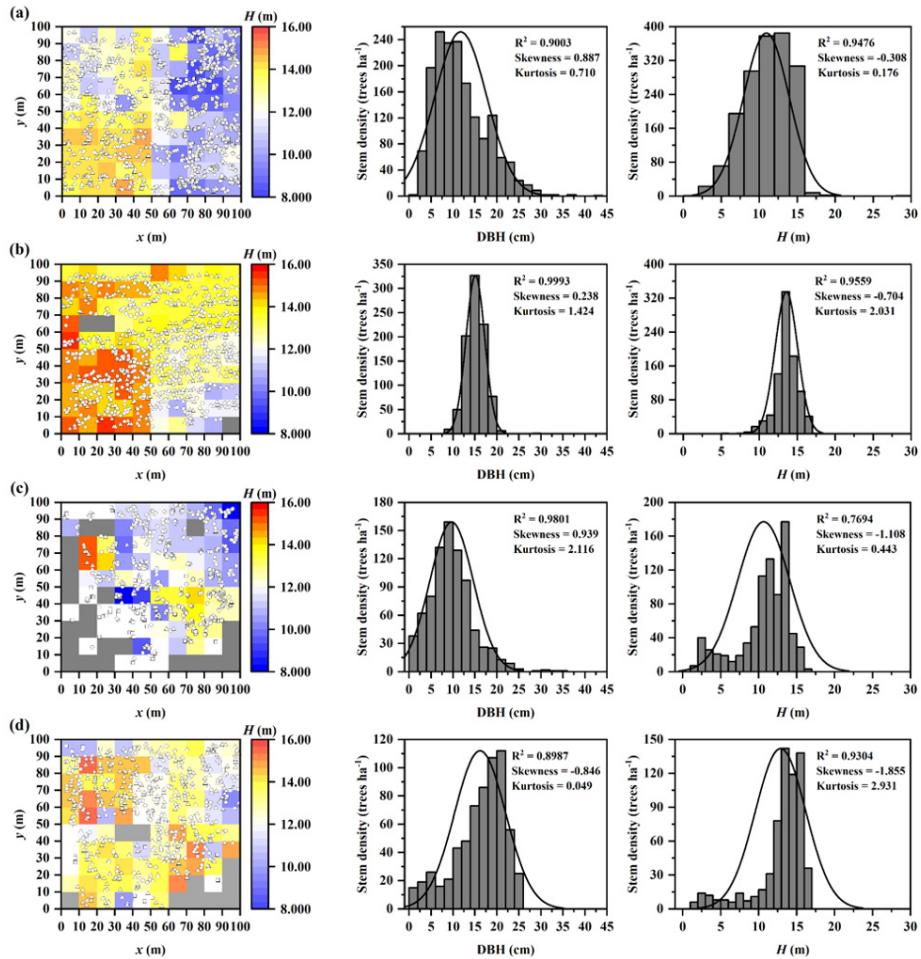


Figure 2: Spatial distribution of species regarding tree height heterogeneity (left), DBH (middle), and tree height (H , right). (a): birch in PB; (b): larch in PL; (c): birch in BL (BL-B); (d): larch in BL (BL-L). Gray color represents null values; $\square$: saplings; $\circ$: juveniles; Δ : adults.

Abbildung 2: Räumliche Verteilung der Arten in Bezug auf die Heterogenität der Baumhöhe (links), die DBH (Mitte) und die Baumhöhe (H , rechts). (a): Birke in PB; (b): Lärche in PL; (c): Birke in BL (BL-B); (d): Lärche in BL (BL-L). Graue Farbe steht für Nullwerte; $\square$: Jungbäume; $\circ$: heranwachsende Bäume; Δ : ausgewachsene Bäume.

Table 2: The number of individuals per hectare for each of the four stages across the three plots.

Tabelle 2: Die Anzahl der Individuen pro Hektar für jedes der vier Entwicklungsstadien in den drei Probeflächen.

Plot	Species	Number of trees			
		Seedlings	Saplings	Juveniles	Adults
PB	birch	0	155	1074	437
PL	larch	1	0	436	462
BL	birch + larch	7 + 10	140 + 47	580 + 171	102 + 429

As shown in Figure 2, the distributions of DBH and tree height were all normal ($|S| < 2$ and $|K| < 7$). In PB, the DBH size structure of birch showed significantly positive skewness ($p < 0.05$), and there were more juveniles than saplings and adults (Figure 2a). The range of DBH size was wide, up to 45 cm, while the tree height structure ($R^2 = 0.9476$, skewness = -0.308, kurtosis = 0.176) tended to be more normally distributed than the DBH ($R^2 = 0.9003$, skewness = 0.887, kurtosis = 0.710). Within the DBH size class, the tree height structure conformed to the total structure, except that the tree height of individuals with DBH at 15-30 cm showed a non-normal distribution (Table A1). In PL, the DBH structure was also well described by normal distribution ($R^2 = 0.9993$), and most larch trees were approximately 15 m tall (Figure 2b). The tree height structure was similar to the DBH structure, while the skewness was negative. Moreover, normal distributions were observed within all DBH classes (Table A1).

For birch trees in BL, the skewness of DBH structure was similar to that in PB, and the distribution was normal (Figure 2c). In contrast, the tree height structure varied in BL, showing a J shape and poor normality ($R^2 = 0.7694$). Within the DBH size class, the tree height distribution of birch saplings was non-normal ($|Z_s| > 3.29$). For larch trees in BL, a non-normal distribution was also observed (Table A1). However, the DBH distribution of larch trees was different from that of birch. The negative skewness of the DBH structure indicated a predominance of large larch trees (Figure 2d).

3.2 Intraspecific competition and facilitation between trees

In all the three plots, both birch and larch trees showed a significant aggregated distribution (Figure A3). For birch trees in PB, a significant spatial correlation ($p < 0.01$) was found among the tree height of individuals at all scales (Figure 3a), which can also be observed between saplings and adults (Figure 3c). Conversely, birch saplings and juveniles showed positive correlations at most scales, so did juveniles and adults at all scales (Figure 3b, c).

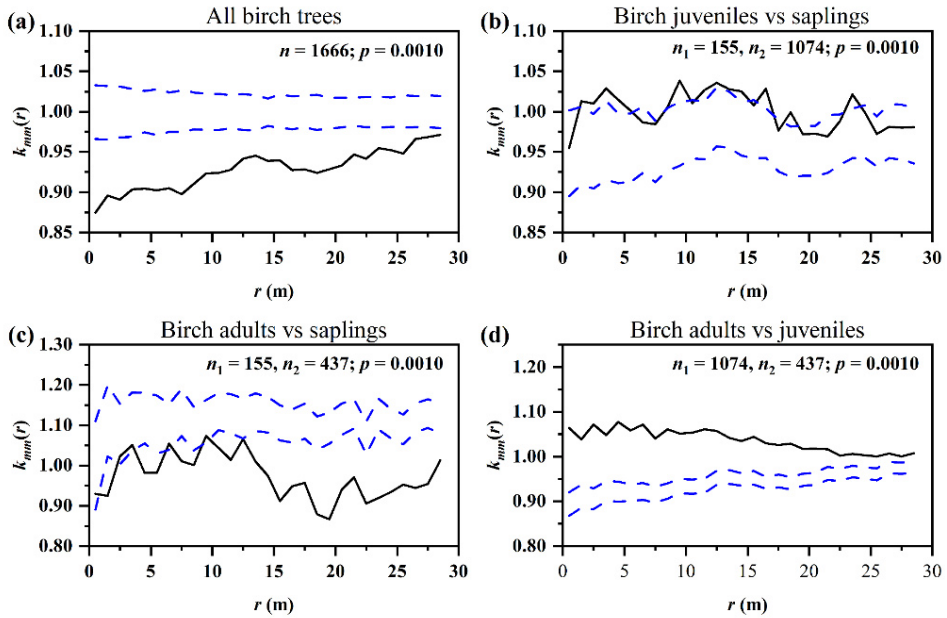


Figure 3: Mark correlation functions $k_{mm}(r)$ for the intraspecific association of tree height between birch trees in PB. Black lines indicate the observed $k_{mm}(r)$, and blue lines indicate the 99% Monte Carlo envelopes.

Abbildung 3: Markkorrelationsfunktionen $k_{mm}(r)$ für die intraspezifische Assoziation der Baumhöhe zwischen Birken in PB. Schwarze Linien zeigen die beobachteten $k_{mm}(r)$ an, blaue Linien die 99 % Monte-Carlo-Hüllkurven.

In PL, no significant interactions ($p > 0.01$) were found for larch trees (Figure 4). The $k_{mm}(r)$ curves were within the simulation envelopes at most scales, indicating that the tree height of two nearby larch trees tends to be independent, although negative interactions appeared at 15–16 m for all trees (Figure 4a). The interaction intensities (I) in the three plots were calculated using the integral area for the three scenarios, and the results indicated that the strongest competitive (all birch trees) and facilitative (juveniles vs adults) effects occurred in PB. However, the weakest competition (all larch trees in PL) and facilitation (larch juveniles in BL) were observed among larch trees.

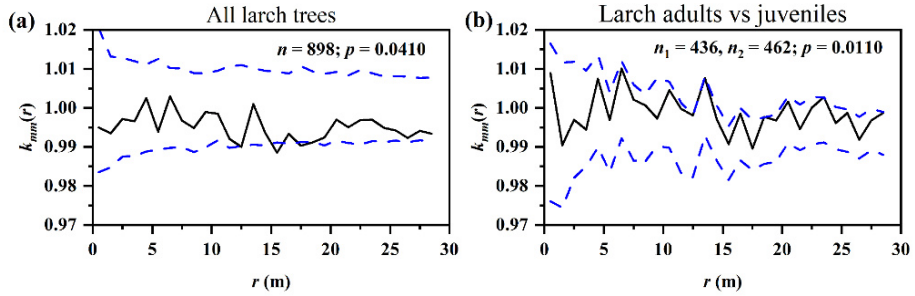


Figure 4: Mark correlation functions $k_{mm}(r)$ for the intraspecific association of tree height between larch trees in PL. Black lines indicate the observed $k_{mm}(r)$, and blue lines indicate the 99% Monte Carlo envelopes.

Abbildung 4: Markierungskorrelationsfunktionen $k_{mm}(r)$ für die intraspezifische Assoziation der Baumhöhe zwischen Lärchenbäumen in PL. Schwarze Linien zeigen die beobachteten $k_{mm}(r)$ an, blaue Linien die 99 % Monte-Carlo-Hüllkurven.

For birch trees in BL, a significant positive correlation was found among the tree height of all trees (Figure 5a). Similarly, saplings were attractive to juveniles at all scales (Figure 5b). However, independent associations were observed at most scales between saplings and adults, as well as juveniles and adults (Figure 5c, d). There was a weak competitive effect among saplings ($I = -0.0044$), while both juveniles and adults have a significant positive spatial correlation with the tree height of saplings (Figure 5b, c). For larch trees in BL, the $k_{mm}(r)$ curves exhibited no significant interactions ($p > 0.01$) among individuals (Figure 6). Conversely, facilitation was found among all trees at 2–5 m, 6–7 m, and 13–16 m (Figure 6a), while juveniles and adults were independent at all scales (Figure 6b). In terms of interactions within the same life stage, strong facilitation was observed among birch juveniles, while weak facilitation was observed for larch juveniles and adults. Moreover, the strength of facilitation among birch trees was stronger than that among larch trees. Generally, the above intraspecific interactions were largely driven by birch juveniles and larch adults (Figure A4).

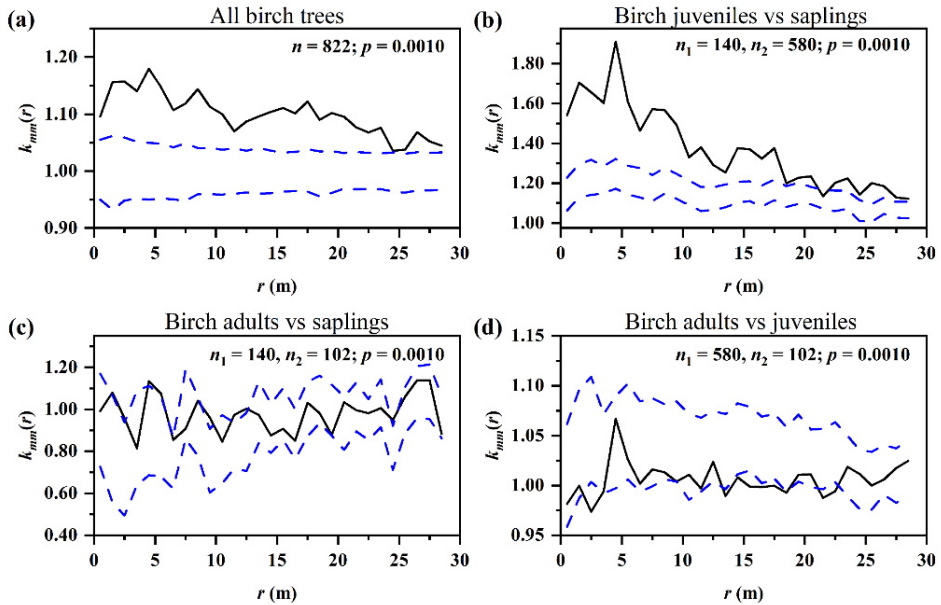


Figure 5: Mark correlation functions $k_{mm}(r)$ for the intraspecific association of tree height between birch trees in BL. Black lines indicate the observed $k_{mm}(r)$, and blue lines indicate the 99% Monte Carlo envelopes.

Abbildung 5: Markkorrelationsfunktionen $k_{mm}(r)$ für die intraspezifische Assoziation der Baumhöhe zwischen Birken in BL. Schwarze Linien zeigen die beobachteten $k_{mm}(r)$, und blaue Linien zeigen die 99 % Monte-Carlo-Hüllkurven.

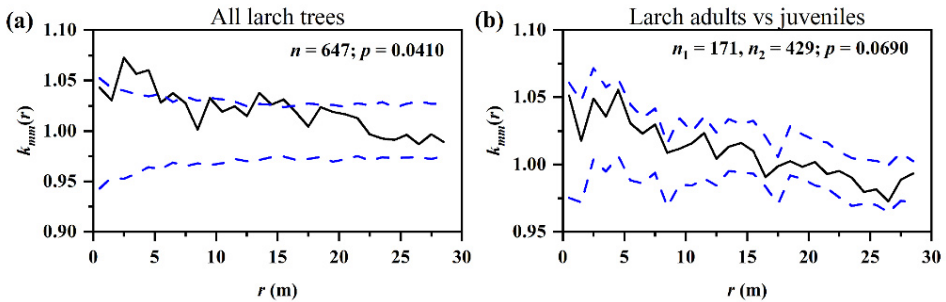


Figure 6: Mark correlation functions $k_{mm}(r)$ for the intraspecific association of tree height between larch trees in BL. Black lines indicate the observed $k_{mm}(r)$, and blue lines indicate the 99% Monte Carlo envelopes.

Abbildung 6: Markierungskorrelationsfunktionen $k_{mm}(r)$ für die intraspezifische Assoziation der Baumhöhe zwischen Lärchenbäumen in BL. Schwarze Linien zeigen die beobachteten $k_{mm}(r)$ an, blaue Linien die 99 % Monte Carlo-Hüllkurven.

When comparing pure and mixed stands, the competition among birch trees in PB was largely stronger than the facilitation in BL (Table 3). Meanwhile, interactions within birch saplings and birch juveniles in PB were opposite to birch trees in BL (Figure A4), and similar conditions occurred between different life stages. Conversely, the competition among larch trees in PL was smaller than the facilitation in BL, and stronger interactions among different life stages were observed for larch trees in BL than in PL (Figure A4).

Table 3: The strength of intraspecific interactions. *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$.

Tabelle 3: Die Stärke der intraspezifischen Interaktionen. *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$.

Plots	Species	Life stages	<i>I</i>	Interactions
PB	Birch	All birch trees	-1.0892**	Competition
		Juveniles vs saplings	0.0727**	Facilitation
		Adults vs saplings	-0.8420**	Competition
		Adults vs juveniles	2.3894**	Facilitation
PL	Larch	All larch trees	-0.0034*	Competition
		Adults vs juveniles	0*	Independence
BL	Birch	All birch trees	0.7630**	Facilitation
		Juveniles vs saplings	1.4430**	Facilitation
		Adults vs saplings	0.0130**	Facilitation
		Adults vs juveniles	-0.0346**	Competition
	Larch	All larch trees	0.0526*	Facilitation
		Adults vs juveniles	0	Independence

3.3 Interspecific competition and facilitation between trees

The interspecific interactions between birch and larch trees are shown in Figure 7. It can be seen that a significant negative ($p = 0.0010$) correlation arised between the tree height of juveniles at 0–3 m (Figure 7c), indicating that birch and larch juveniles mutually hindered the growth of tree height. The competitive effect between larch juveniles and birch juveniles ($|I| = 0.0418$) was stronger than the facilitative effect within larch juveniles ($|I| = 0.0001$), but birch juveniles and larch adults had stronger competition than facilitation within larch adults. However, birch and larch adults were independent at all scales (Figure 7f), and there was no significant departure ($p > 0.01$) from envelopes, revealing that adults of the two dominant species had no spatial interaction in terms of tree height.

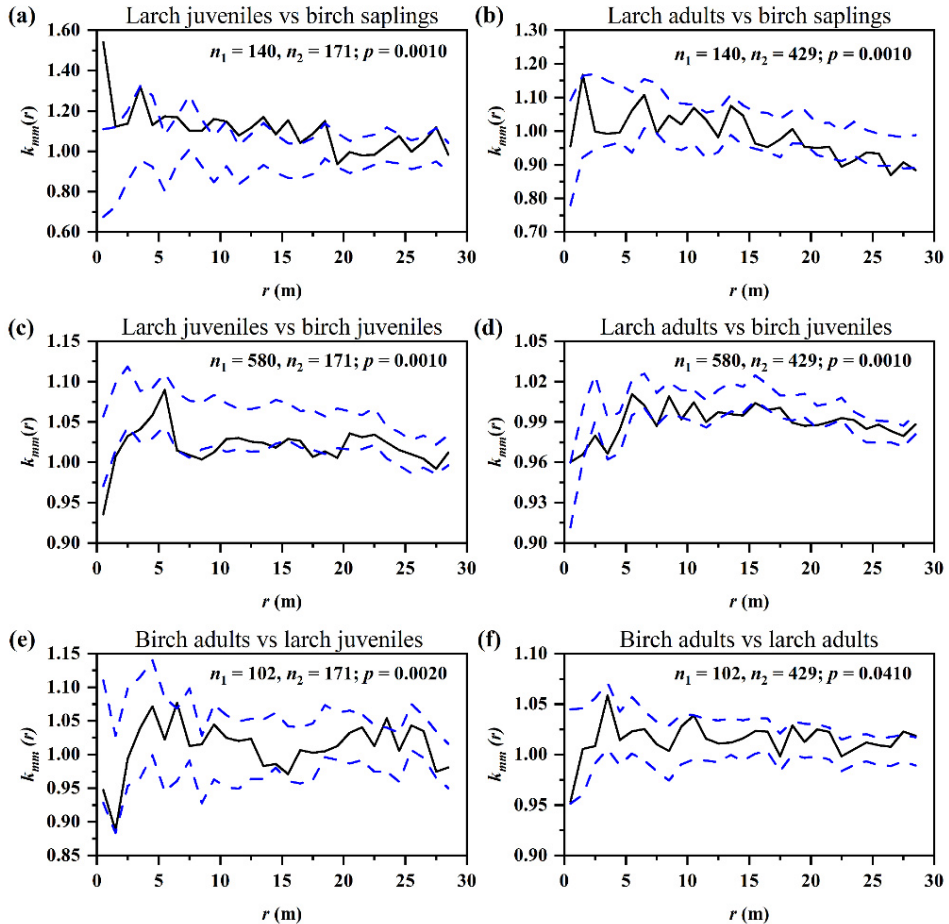


Figure 7: Bivariate mark correlation functions $k_{mm}(r)$ for the interspecific association of tree height in BL. Black lines indicate the observed $k_{mm}(r)$, and blue lines indicate the 99% Monte Carlo envelopes.

Abbildung 7: Bivariate Markenkorrelationsfunktionen $k_{mm}(r)$ für die interspezifische Assoziation der Baumhöhe in BL. Schwarze Linien zeigen die beobachteten $k_{mm}(r)$, und blaue Linien zeigen die 99 % Monte Carlo Hüllkurven.

Turning now to species pairs between different life stages, both positive and negative associations were observed. Birch saplings and adults were attractive to larch juveniles at some scales, while the facilitation between birch saplings and larch juveniles was stronger than that between birch adults and larch juveniles (Figure 7a, e), which was also stronger than the competition between birch juveniles and larch juveniles. This result revealed that birch saplings and larch juveniles could maintain optimal

co-growth patterns. Conversely, negative associations were found when comparing birch saplings and juveniles with larch adults, and the intensity between birch saplings and larch adults was weaker than that between birch juveniles and larch adults (Figure 7b, d).

Table 4: The strength of interspecific interactions. *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$.

Tabelle 4: Die Stärke der interspezifischen Interaktionen. *: $p < 0.05$; **: $p < 0.01$.

Plots	Species	Life stages	<i>I</i>	Interactions
BL	Birch vs larch	All trees: birch vs larch	-0.3178**	Competition
		Larch juveniles vs birch saplings	0.0990**	Facilitation
		Larch adults vs birch saplings	-0.0105**	Competition
		Larch juveniles vs birch juveniles	-0.0418**	Competition
		Larch adults vs birch juveniles	-0.0310**	Competition
		Birch adults vs larch juveniles	0.0020*	Facilitation
		Birch adults vs larch adults	0.0019*	Facilitation

Overall, the interspecific competition in the mixed stand was weaker than the intra-specific competition in the pure birch stand but stronger than that in the pure larch stand (Table 4). Among the different life stages, the interspecific facilitation between saplings and juveniles in the mixed stand was stronger than the intraspecific facilitation in the pure birch stand. However, for saplings and adults, more interspecific competition effects were observed in the mixed stand than the intraspecific interactions in the pure birch stand (Figure A4). Moreover, the facilitation between juveniles and adults in the pure birch stand was stronger than interspecific interactions between those life stages in the mixed stand. Whether competition or facilitation, tree interactions between different life stages in the mixed stand were frequently stronger than those in the pure larch stand.

4 Discussion

4.1 Stand structure

In the study area, birch was the main native tree species, while fast-growing larch was mostly artificially planted (Song *et al.* 2018). For a clear knowledge of tree interactions, our study started by analyzing the spatial structures. As major stand attributes, stand structure and community composition interdependently affect forest

ecosystem function (Carvalho 2011). Studies on the stand structure of boreal forests in China have been reported (Fang *et al.* 2012; Gao *et al.* 2013). However, our results also compared the differences between pure and mixed forests. Meanwhile, as three main forest types in northern Hebei, pure birch secondary forests, pure larch plantations, and birch-larch mixed forests were rarely studied. Our results found that both DBH size structure and tree height structure showed a normal distribution (Figure 2). It has been demonstrated that the normal distribution was closest to the actual DBH structures for stands in the growing up or break-up stage (Podlaski 2006). It should be noted that the distribution skewness in the mixed stand was frequently larger than that in pure stands. Interestingly, more seedlings were found in the mixed stand, and more saplings were observed for birch than that for larch (Table 2). A reasonable explanation was that the formation of mixed forests can also change the original stand structure; for example, plantations facilitated forest succession and produced a conducive environment for the regeneration of native trees (Shoyama 2013). Moreover, both DBH size and tree height structures were always characterized by positive kurtosis (Figure 2). In contrast, Orzel *et al.* (2017) found that the DBH distribution of majority stands had right-sided asymmetry and negative kurtosis. However, these variations in stand structure could result from differences in species community and even alter the spatial distribution.

Heatmap was applied to reveal the spatial distribution of tree height, and values of tree height presented patchy distributions across the three stands (Figure 2). Trees tended to form complex patches with different sizes, species, and ages (Dale 1999). Patchy distributions existed in most ecosystems, and the locations of high- and low-density patches frequently vary with time (Effenberger *et al.* 2011). Similarly, Yuan *et al.* (2020) provided the spatial variability maps of biomass, with a patchy distribution of C for all species. Goode *et al.* (2021) found that shortleaf pine was clustered into distinct patches at the stand scale. In line with our findings, polarization of the tree height distribution was observed in two pure stands. The vegetation structure in fragmented landscapes is mostly determined by the location and size of patches, as well as disturbances (Schippers *et al.* 2014). According to the survey, there was overgrazing in local forests a few years ago. Meanwhile, environmental pollution and human disturbance have affected the forest structure. Hence, the results reported in this study could be influenced by the above factors and caused the polarization of patches in pure stands.

The underlying ecological processes, *e.g.*, competition and facilitation, can be deduced by analyzing spatial distribution (Pillay & Ward 2012; Hesselbarth *et al.* 2018). However, regardless of the stand structure or heatmaps, they simply characterized the overall pattern. One important extension for spatial distribution is the consideration of spatial scales (Weigand & Moloney 2014).

4.2 Adjustment of tree competition and facilitation in pure and mixed stands

Competition for light is a central process that offers opportunities for niche differentiation and contributes to the coexistence of tree species (Grote *et al.* 2013). In forests, the light environment brightens with increasing tree height (Osada *et al.* 2004), and tree height is related to their ability to compete for above-canopy light (Elmendorf & Moore 2007; Noyer *et al.* 2019). The spatial association of tree height may imply light competition within forest ecosystems. Therefore, the competition and facilitation in this study were mainly associated with the utilization of light resources. Most importantly, we utilized spatial point pattern analysis to elucidate whether species coexistence of birch and larch regulated tree interactions. Here, we found that competition and facilitation operate simultaneously, which can be confirmed by similar findings from other boreal forests (Omelko *et al.* 2018; Liu *et al.* 2020).

Previous studies have shown that aggregation was a widespread pattern in nature (Li *et al.* 2009). In our study, the spatial distributions of tree positions were aggregated across all plots (Figure A3). One of the major mechanisms contributing to aggregation was reported as neighborhood competition (Canham *et al.* 2006; Getzin *et al.* 2008; Liu *et al.* 2021). Conversely, facilitation between conspecific individuals was also considered a key driver of small-scale aggregation (Montesinos *et al.* 2007; Gimeno *et al.* 2015). Simultaneously, observed competition and facilitation were consistent with these theories (Table 3), which allowed us to reasonably speculate that aggregation was a suitable distribution pattern in local forests. Tree competition and facilitation contribute to the formation of spatial patterns, as well as species coexistence (Barabás *et al.* 2016; Abd-ElGawad *et al.* 2020; Brewer *et al.* 2021; Eigentler 2021).

In principle, species coexistence could also determine tree interactions (Ormeño *et al.* 2007). Therefore, we investigated whether there were differences in interactions between pure and mixed stands. Notably, on one hand, the mixed forest in our study has existed locally for decades, and the two species could coexist stably. On the other hand, the mixed forest was the result of a natural conversion of pure forests. Our findings showed that tree interactions were dominated by intraspecific competition in pure birch and larch stands and by intraspecific facilitation in mixed birch-larch stands (Table 3). This result confirmed that interspecific competition was stronger than intraspecific competition. We conjectured that trees select intraspecific facilitation to resist interspecific competition. In mixed forests, with increasing environmental stress caused by interspecies or water levels, the strength of competition decreased while facilitation increased (Maestre *et al.* 2009; Luo *et al.* 2010). Although there were some differences from previous studies (Tilman 1982; Chesson 2000; Xia *et al.* 2016), our finding was consistent with that of Goldberg & Barton (1992), who reported that intraspecific competition was sometimes weaker than interspecific competition. Recently, Guo *et al.* (2022) also found that interspecific competition was greater than intraspecific competition between two host plants through AM fungi interacting with litter. Improvement of the stress factor, ecophysiological requirements of different species, and tolerances determined the outcome of interactions (Maestre *et al.* 2005).

Our results suggested that each species limited the growth of its competitors more than the limits on its own population. For example, the facilitation within birch juveniles was largely stronger than the interspecific competition with larch trees (Figure A4, Table 4). In this way, it was assumed that the mixed forest created better conditions that favor birch juveniles, while the growth of nearby larch trees was limited. Previous studies reported that birch trees got a long juvenile stage, inducing a delay in reproduction (Truong *et al.* 2007; Sun *et al.* 2012). Therefore, the number of birch juveniles in mixed forests should be strictly controlled. However, birch adults and all larch trees could facilitate each other, and this coexistence pattern also had implications for the interactions among other life stages. Moreover, birch saplings were subjected to the competitive effects of adults in the pure stand while facilitated by both juveniles and adults in the mixed stand (Table 3). A similar result was also reported by Liu *et al.* (2020), although the studied species were different. The significant competition between birch saplings and larch adults indicated that birch saplings struggle to survive under the canopy of larch adults (Table 4). Birch saplings have a strong growth response to the canopy openings that are important for sapling growth (Takahashi & Rustandi 2006). This result may be explained by the fact that birch trees have larger canopy openings than larch trees. In summary, differences in tree interactions between pure and mixed forests reveal the regulation of species coexistence on tree competition and facilitation.

4.3 Implications and management suggestions

Species coexistence and tree interactions have drawn considerable attention in plant ecology due to their key role in preserving biodiversity. An implication of our findings is that the coexistence of birch and larch regulated intra- and interspecific interactions within and between different life stages. A better understanding of the tree interactions among species will improve our exploration of ecosystem conservation. The findings will be useful in identifying the shifting of ecological processes and providing insight for studies on the regulatory mechanism of multispecies coexistence. Despite promising results, further work is still required to investigate the influence of environmental factors (*e.g.*, degradation, climate variables, and soil nutrients) and other plants such as shrubs and grasses. Our results supply an instructive and theoretical basis for the management of local forests and facilitate the determination of reasonable thinning and planting strategies. For example,

- (1) in pure birch secondary forests, adults need to be removed regularly at some distance to maintain the growth of saplings;
- (2) in pure larch plantations, distances between trees should be noted to prevent fragile stand structures caused by excessive independence, and planting birch saplings in the gap is a good operation to make full use of stand space; and
- (3) in mixed birch-larch forests, birch juveniles and larch adults need to be thinned at some distance to ensure stable coexistence and regeneration. Furthermore, manual thinning should also be manipulated to ensure the proper distance between trees.

5 Conclusions

There has been a great focus on understanding the effects of tree interactions on species coexistence. However, the adjustment of tree competition and facilitation when two species coexist has not been documented previously in forest ecosystems. By using spatial point pattern analysis in mountainous forests of northern Hebei, this study demonstrated that tree interactions were dominated by intraspecific competition in pure stands while by intraspecific facilitation to resist interspecific competition in the mixed stand. The findings of our study revealed the spatial patterns of local typical forests and offer detailed information about the ecological process of how species coexistence regulates tree interactions. Specifically, spatial patterns and species coexistence mechanisms will have implications for species diversity and forest regeneration. Our understanding of the underlying dynamics and selection strategies of tree competition and facilitation in such pure and mixed forests can be used in practical forest management. Furthermore, the current data implied that the conversion from pure plantations to mixed birch–larch forests would be the optimal strategy in local forest ecosystems.

Despite the regional limitations, the present study employed an efficient method to evaluate the regulation of species coexistence on tree interactions and provided support for further studies on multispecies coexistence. Future research should consider the potential effects of environmental factors such as climate variables and soil nutrients.

Data Availability Statement

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author, [Huayong Zhang], upon reasonable request.

Acknowledgments

We thank Dr. Edmond Sanganyado from Northumbria University for polishing the language. Thanks are due to Yu Zheng, Xinxin Zhen, and Zhuoqing Bai for assistance with experiments and data processing.

Funding

This work was supported by the “National Water Pollution Control and Treatment Science and Technology Major Project”, grant number “2017ZX07101-002”.

Declaration of interest statement

The authors declare no competing interests.

References

- Abd-ElGawad AM, Rashad YM, Abdel-Azeem AM, Al-Barati SA, Assaeed AM, Mowafy AM. 2020. *Calligonum polygonoides* L. shrubs provide species-specific facilitation for the understory plants in coastal ecosystem. *Biology*. 9(8):232.
- Armas C, Ordiales R, Pugnaire FI. 2004. Measuring plant interactions: A new comparative index. *Ecology*. 85(10):2682-2686.
- Aussenac R, Bergeron Y, Gravel D, Drobyshev I. 2019. Interactions among trees: A key element in the stabilising effect of species diversity on forest growth. *Functional Ecology*. 33(2):360-367.
- Ballani F, Pommerening A, Stoyan D. 2019. Mark-mark scatterplots improve pattern analysis in spatial plant ecology. *Ecological Informatics*. 49:13-21.
- Barabás G, Michalska-Smith MJ, Allesina S. 2016. The effect of intra- and interspecific competition on coexistence in multispecies communities. *The American Naturalist*. 188(1):1-12.
- Bianchi E, Bugmann H, Hobi ML, Bigler C. 2021. Spatial patterns of living and dead small trees in subalpine Norway spruce forest reserves in Switzerland. *Forest Ecology and Management*. 494:119315.
- Bonanomi G, Stinca A, Chirico GB, Ciaschetti G, Saracino A, Incerti G. 2016. Cushion plant morphology controls biogenic capability and facilitation effects of *Silene acaulis* along an elevation gradient. *Functional Ecology*. 30(7):1216-1226.
- Brewer JS, Paniw M, Ojeda F. 2021. Plant behavior and coexistence: Stem elongation of the carnivorous subshrub *Drosophyllum lusitanicum* within xerophytic shrub canopies. *Plant Ecology*. 222(11):1197-1208.
- Callaway RM, Walker LR. 1997. Competition and facilitation: A synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*. 78(7):1958-1965.
- Canham CD, Papaik MJ, Uriarte M, McWilliams WH, Jenkins JC, Twery MJ. 2006. Neighborhood analyses of canopy tree competition along environmental gradients in New England forests. *Ecological Applications*. 16(2):540-554.
- Carrer M, Castagneri D, Popa I, Pividori M, Lingua E. 2018. Tree spatial patterns and stand attributes in temperate forests: The importance of plot size, sampling design, and null model. *Forest Ecology and Management*. 407:125-134.
- Carvalho JPF. 2011. Composition and structure of natural mixed-oak stands in northern and central Portugal. *Forest Ecology and Management*. 262(10):1928-1937.
- Chesson P. 2000. Mechanisms of maintenance of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 31(1):343-366.
- Choler P, Michalet R, Callaway RM. 2001. Facilitation and competition on gradients in alpine plant communities. *Ecology*. 82(12):3295-3308.

- Coates KD, Lilles EB, Astrup R. 2013. Competitive interactions across a soil fertility gradient in a multispecies forest. *Journal of Ecology*. 101(3):806-818.
- Dale MRT. 1999. *Spatial pattern analysis in plant ecology*, Cambridge University Press.
- del Río M, Condés S, Pretzsch H. 2014a. Analyzing size-symmetric vs. size-asymmetric and intra- vs. inter-specific competition in beech (*Fagus sylvatica* L.) mixed stands. *Forest Ecology and Management*. 325:90-98.
- del Río M, Schütze G, Pretzsch H. 2014b. Temporal variation of competition and facilitation in mixed species forests in Central Europe. *Plant Biology*. 16(1):166-176.
- del Río M, Sterba H. 2009. Comparing volume growth in pure and mixed stands of *Pinus sylvestris* and *Quercus pyrenaica*. *Annals of Forest Science*. 66(5):502.
- Douda J, Doudová J, Holešťová A, Boublík K, Havrdová A, Slezák M. 2021. Interplay of above- and belowground resource limitations: a competition-facilitation shift maintains species coexistence. *Oikos*. 130(12):2122-2135.
- Effenberger M, Diehl S, Gerth M, Matthaei CD. 2011. Patchy bed disturbance and fish predation independently influence the distribution of stream invertebrates and algae. *Journal of Animal Ecology*. 80(3):603-614.
- Ehlers BK, Damgaard CF, Laroche F. 2016. Intraspecific genetic variation and species coexistence in plant communities. *Biology Letters*. 12(1):20150853.
- Eigentler L. 2021. Species coexistence in resource-limited patterned ecosystems is facilitated by the interplay of spatial self-organisation and intraspecific competition. *Oikos*. 130(4):609-623.
- Elmendorf SC, Moore KA. 2007. Plant competition varies with community composition in an edaphically complex landscape. *Ecology*. 88(10):2640-2650.
- Erfanifard Y, Stereńczak K. 2017. Intra- and interspecific interactions of Scots pine and European beech in mixed secondary forests. *Acta Oecologica*. 78:15-25.
- Fang JY, Wang XP, Liu YN, Tang ZY, White PS, Sanders NJ. 2012. Multi-scale patterns of forest structure and species composition in relation to climate in northeast China. *Ecography*. 35(12):1072-1082.
- Forrester DI. 2014. The spatial and temporal dynamics of species interactions in mixed-species forests: From pattern to process. *Forest Ecology and Management*. 312:282-292.
- Gadow Kv, Földner K. 1993. Zur Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung. *Forst und Holz*. 48(21):602-606.
- Gadow Kv, Zhang CY, Wehenkel C, Pommerening A, Corral-Rivas J, Korol M, Myklush S, Hui GY, Kiviste A, Zhao XH. 2012. Forest structure and diversity. In: Pukkala, T., von Gadow, K. (Eds.), *Continuous cover forestry*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 29-83.
- Gao G, Ding G, Wang H, Zang Y, Liang W, An Y, He Y. 2013. Short communication. Restoring monoculture plantation using stand spatial structure analysis. *Forest Systems*. 22(1):147-151.
- Getzin S, Wiegand T, Wiegand K, He F. 2008. Heterogeneity influences spatial patterns and demographics in forest stands. *Journal of Ecology*. 96(4):807-820.
- Ghalandarayeshi S, Nord-Larsen T, Johannsen VK, Larsen JB. 2017. Spatial patterns of tree species in Suserup Skov – a semi-natural forest in Denmark. *Forest Ecology and Management*. 406:391-401.

- Gimeno TE, Escudero A, Valladares F. 2015. Different intra- and interspecific facilitation mechanisms between two Mediterranean trees under a climate change scenario. *Oecologia*. 177(1):159-169.
- Goldberg DE, Barton AM. 1992. Patterns and consequences of interspecific competition in natural communities: A review of field experiments with plants. *The American Naturalist*. 139(4):771-801.
- Goode JD, Hart JL, Dey DC, Torreano SJ, Clark SL. 2021. Spatial patterns of canopy disturbance and shortleaf pine in a mixedwood forest. *Forest Science*. 67(4):433-445.
- Grote S, Condit R, Hubbell S, Wirth C, Ruger N. 2013. Response of demographic rates of tropical trees to light availability: Can position-based competition indices replace information from canopy census data? *Plos One*. 8(12):e81787.
- Guo SL, Zhang DH, Wei HY, Zhao YN, Cao YB, Yu T, Wang Y, Yan XF. 2017. Climatic factors shape the spatial distribution of concentrations of triterpenoids in barks of white birch (*Betula Platyphylla* Suk.) trees in northeast China. *Forests*. 8(9):334.
- Guo Y, He YJ, Wu P, Wu BL, Lin Y, He MH, Han X, Xia TT, Shen KP, Kang LL, Tan QY, Ren WD, Sun Y, Li Q. 2022. The interspecific competition presents greater nutrient facilitation compared with intraspecific competition through AM fungi interacting with litter for two host plants in karst soil. *Journal of Plant Ecology*. 15(2):399-412.
- Harpole WS, Tilman D. 2007. Grassland species loss resulting from reduced niche dimension. *Nature*. 446(7137):791-793.
- He Z, Fang S, Chen L, Du J, Zhu X, Lin P. 2018. Spatial patterns in natural *Picea crassifolia* forests of northwestern China, as basis for close-to-nature forestry. *Journal of Mountain Science*. 15(9):1909-1919.
- Hegyi F. 1974. A simulation model for managing jack-pine stands. In: *Growth models for tree and stand simulation*, Royal College of Forestry, Stockholm, pp. 74-90.
- Hesselbarth MHK, Wiegand K, Dreber N, Kellner K, Esser D, Tsvuura Z. 2018. Density-dependent spatial patterning of woody plants differs between a semi-arid and a mesic savanna in South Africa. *Journal of Arid Environments*. 157:103-112.
- Hui GY, Albert M, Gadow Kv. 1998. Das Umgebungsmaß als Parameter zur Nachbildung von Bestandesstrukturen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt vereinigt mit Tharandter forstliches Jahrbuch*. 117(1):258-266.
- Illian J, Penttinen A, Stoyan H, Stoyan D. 2008. *Statistical analysis and modelling of spatial point patterns*. John Wiley & Sons, England.
- Jakobsson S, Plue J, Cousins SAO, Lindborg R. 2019. Exploring the effects of pasture trees on plant community patterns. *Journal of Vegetation Science*. 30(5):809-820.
- Keammerer HB, Hacker SD. 2013. Negative and neutral marsh plant interactions dominate in early life stages and across physical gradients in an Oregon estuary. *Plant Ecology*. 214(2):303-315.
- Kim HY. 2013. Statistical notes for clinical researchers: assessing normal distribution (2) using skewness and kurtosis. *Restorative Dentistry & Endodontics*. 38(1):52-54.
- Koukoulas S, Blackburn GA. 2005. Spatial relationships between tree species and gap characteristics in broad-leaved deciduous woodland. *Journal of Vegetation Science*. 16(5):587-596.

- Ledo A. 2015. Nature and age of neighbours matter: Interspecific associations among tree species exist and vary across life stages in tropical forests. *Plos One*. 10(11):e0141387.
- Ledo A, Condes S, Montes F. 2011. Intertype mark correlation function: A new tool for the analysis of species interactions. *Ecological Modelling*. 222(3):580-587.
- Li L, Huang Z, Ye W, Cao H, Wei S, Wang Z, Lian J, Sun I-F, Ma K, He F. 2009. Spatial distributions of tree species in a subtropical forest of China. *Oikos*. 118(4):495-502.
- Liu CP, Xu ZH, Lu GJ, Li XJ, Zheng CH, Ren QW. 2018. Introduction and strategy of stress-resistance introduction for forest in northwest Hebei. *Forest Science and Technology*. 7:19-23.
- Liu J, Bai XJ, Yin Y, Wang WG, Li ZQ, Ma PY. 2021. Spatial patterns and associations of tree species at different developmental stages in a montane secondary temperate forest of northeastern China. *Peerj*. 9:e11517.
- Liu PC, Wang WD, Bai ZQ, Guo ZJ, Ren W, Huang JH, Xu Y, Yao J, Ding Y, Zang RG. 2020. Competition and facilitation co-regulate the spatial patterns of boreal tree species in Kanas of Xinjiang, northwest China. *Forest Ecology and Management*. 467:118167.
- Losapio G, Schöb C, Staniczenko PPA, Carrara F, Palamara GM, De Moraes CM, Mescher MC, Brooker RW, Butterfield BJ, Callaway RM, Cavieres LA, Kikvidze Z, Lortie CJ, Michalet R, Pugnaire FI, Bascompte J. 2021. Network motifs involving both competition and facilitation predict biodiversity in alpine plant communities. *PNAS*. 118(6):e2005759118.
- Luo WB, Xie YH, Chen XS, Li F, Qin XY. 2010. Competition and facilitation in three marsh plants in response to a water-level gradient. *Wetlands*. 30(3):525-530.
- Maestre FT, Callaway RM, Valladares F, Lortie CJ. 2009. Refining the stress-gradient hypothesis for competition and facilitation in plant communities. *Journal of Ecology*. 97(2):199-205.
- Maestre FT, Valladares F, Reynolds JF. 2005. Is the change of plant-plant interactions with abiotic stress predictable? A meta-analysis of field results in arid environments. *Journal of Ecology*. 93(4):748-757.
- Michalet R, Pugnaire FI. 2016. Facilitation in communities: underlying mechanisms, community and ecosystem implications. *Functional Ecology*. 30(1):3-9.
- Montesinos D, Verdú M, García-Fayos P. 2007. Moms are better nurses than dads: Gender biased self-facilitation in a dioecious *Juniperus* tree. *Journal of Vegetation Science*. 18(2):271-280.
- Noyer E, Ningre F, Dlouha J, Fournier M, Collet C. 2019. Time shifts in height and diameter growth allocation in understory European beech (*Fagus sylvatica* L.) following canopy release. *Trees-Structure and Function*. 33(2):333-344.
- Omelko A, Ukhvatkina O, Zhmerenetsky A, Sibirina L, Petrenko T, Bobrovsky M. 2018. From young to adult trees: How spatial patterns of plants with different life strategies change during age development in an old-growth Korean pine-broadleaved forest. *Forest Ecology and Management*. 411:46-66.
- Ormeño E, Fernandez C, Mévy JP. 2007. Plant coexistence alters terpene emission and content of Mediterranean species. *Phytochemistry*. 68(6):840-852.

- Orzel S, Pogoda P, Ochal W. 2017. Evaluation of usefulness of selected functions for modeling distribution of breast height diameter in black alder stands (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.). Sylwan. 161(2):101-113.
- Osada N, Tateno R, Hyodo F, Takeda H. 2004. Changes in crown architecture with tree height in two deciduous tree species: Developmental constraints or plastic response to the competition for light? Forest Ecology and Management. 188(1):337-347.
- Pillay T, Ward D. 2012. Spatial pattern analysis and competition between Acacia karroo trees in humid savannas. Plant Ecology. 213(10):1609-1619.
- Podlaski R. 2006. Suitability of the selected statistical distributions for fitting diameter data in distinguished development stages and phases of near-natural mixed forests in the Swietokrzyski National Park (Poland). Forest Ecology and Management. 236(2-3):393-402.
- Pommerening A, Sánchez Meador AJ. 2018. Tamm review: Tree interactions between myth and reality. Forest Ecology and Management. 424:164-176.
- Pommerening A, Särkkä A. 2013. What mark variograms tell about spatial plant interactions. Ecological Modelling. 251(1):64-72.
- Qi L, Yang J, Yu D, Dai L, Contreras M. 2016. Responses of regeneration and species coexistence to single-tree selective logging for a temperate mixed forest in eastern Eurasia. Annals of Forest Science. 73(2):449-460.
- Schiffers K, Tielborger K. 2006. Ontogenetic shifts in interactions among annual plants. Journal of Ecology. 94(2):336-341.
- Schippers P, van Teeffelen AJA, Verboom J, Vos CC, Kramer K, WallisDeVries MF. 2014. The impact of large herbivores on woodland-grassland dynamics in fragmented landscapes: The role of spatial configuration and disturbance. Ecological Complexity. 17:20-31.
- Seifan T, Seifan M. 2015. Symmetry and range limits in importance indices. Ecology and Evolution. 5(20):4517-4522.
- Shoyama K. 2013. Effects of thinning and excluding deer browsing on sapling establishment and growth in larch plantations. Landscape and Ecological Engineering. 9(1):77-87.
- Sigdel SR, Liang E, Wang Y, Dawadi B, Camarero JJ. 2020. Tree-to-tree interactions slow down Himalayan treeline shifts as inferred from tree spatial patterns. Journal of Biogeography. 47(8):1816-1826.
- Soliveres S, Maestre FT, Berdugo M, Allan E. 2015. A missing link between facilitation and plant species coexistence: nurses benefit generally rare species more than common ones. Journal of Ecology. 103(5):1183-1189.
- Song S, Zhang S, Wang T, Meng J, Zhou Y, Zhang H. 2018. Balancing conservation and development in Winter Olympic construction: Evidence from a multi-scale ecological suitability assessment. Scientific Reports. 8(1):14083.
- Stoyan D, Penttinen A. 2000. Recent applications of point process methods in forestry statistics. Statistical science. 15(1):61-78.
- Sun S, Kang XP, Tian YS, Zheng SW, Hao RJ, Liu QL, Zhang JC, Xing GM. 2012. Molecular analysis of differentially expressed genes in birch (*Betula platyphylla*) inflorescence. Biotechnology and Biotechnological Equipment. 26(2):2844-2854.

- Sun WT, Yu DD, Dong ML, Zhao J, Wang XP, Zhang HJ, Zhang JF. 2017. Evaluation of efficiency of controlled pollination based parentage analysis in a *Larix gmelinii* var. *principis-rupprechtii* Mayr. seed orchard. Plos One. 12(4):e0176483.
- Takahashi K, Rustandi A. 2006. Responses of crown development to canopy openings by saplings of eight tropical submontane forest tree species in Indonesia: A comparison with cool-temperate trees. Annals of Botany. 97(4):559-569.
- Tilman D. 1982. Resource competition and community structure. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- Truong C, Palme AE, Felber F. 2007. Recent invasion of the mountain birch *Betula pubescens* ssp. *tortuosa* above the treeline due to climate change: genetic and ecological study in northern Sweden. Journal of Evolutionary Biology. 20(1):369-380.
- Valiente-Banuet A, Verdú M. 2008. Temporal shifts from facilitation to competition occur between closely related taxa. Journal of Ecology. 96(3):489-494.
- Wang Y, Wu H. 2017. Transition of interaction outcomes in a facilitation-competition system of two species. Mathematical Biosciences and Engineering. 14:1463-1475.
- Wang ZH. 2001. Water and soil loss and ecological rehabilitation in mountain areas of Hebei. Research of Soil and Water Conservation. 8(2):88-89.
- Weigand T, Moloney KA. 2014. Handbook of spatial point-pattern analysis in ecology, CRC Press: London, UK.
- Wiegand T, Moloney KA. 2004. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. Oikos. 104(2):209-229.
- Xia ZC, Kong CH, Chen LC, Wang P, Wang SL. 2016. A broadleaf species enhances an autotoxic conifers growth through belowground chemical interactions. Ecology. 97(9):2283-2292.
- Yilmaz OY, Kavgacı A, Sevgi O, Örtel E, Tecimen HB, Çobanoğlu A, Yeşil İ. 2019. Scale-dependent intraspecific competition of Taurus cedar (*Cedrus libani* A. Rich.) saplings in the Southern Turkey. Ecology and Evolution. 9(22):12802-12812.
- Yuan Y, Ren Y, Gao G, Zhao Z, Niu S. 2020. Intra- and interspecific interactions among pioneer trees affect forest-biomass carbon accumulation in a nutrient-deficient reclaimed coal mine spoil. Forests. 11(8):819.
- Zhang H, Yu Y, Zha T, Jesús RC. 2021. Assessing previous land-vegetation productivity relationships on mountainous areas hosting coming Winter Olympics Games in 2022. Science of the Total Environment. 788:147870.
- Zhang K, Shen Z, Yang X, Ma L, Duan J, Li Y. 2019. Spatial patterns in different stages of regeneration after clear-cutting of a black locust forest in central China. Forests. 10(12):1066.
- Zhang ZH, Hu G, Zhu JD, Luo DH, Ni J. 2010. Spatial patterns and interspecific associations of dominant tree species in two old-growth karst forests, SW China. Ecological Research. 25(6):1151-1160.
- Zhou Q, Shi H, Shu X, Xie F, Zhang K, Zhang Q, Dang H. 2019. Spatial distribution and interspecific associations in a deciduous broad-leaved forest in north-central China. Journal of Vegetation Science. 30(6):1153-1163.
- Zillio T, He F. 2010. Modeling spatial aggregation of finite populations. Ecology. 91(12):3698-3706.

Supplementary Material

Table A1: Statistical results and normality test of tree height (H) according to DBH size classes.

Tabelle A1: Statistische Ergebnisse und Normalitätstest der Baumhöhe (H) nach DBH-Größenklassen.

Plots	DBH size	Mean H (m)	Number (trees)	Standard error	S	SE _S	Z _S	K	SE _K	Z _K	Normality
PB	1-5	6.7	155	2.6109	0.539	0.195	2.764	0.268	0.387	0.693	Normal
	5-10	9.2	600	2.0936	-0.159	0.100	-1.590	0.182	0.199	0.915	Normal
	10-15	11.8	474	1.8722	-0.358	0.112	-3.196	0.377	0.224	1.683	Normal
	15-20	13.8	269	1.1109	-1.441	0.149	-9.671	4.648	0.296	15.703	Non-normal
	20-25	14.0	127	1.6297	-3.013	0.215	-14.014	17.447	0.427	40.859	Non-normal
	25-30	14.7	34	2.9327	3.155	0.403	7.829	17.984	0.788	22.822	Non-normal
	30-45	15.2	7	0.7145	1.241	0.794	1.563	2.712	1.587	1.709	Normal
PL	5-10	9.7	9	2.4145	-0.286	0.717	-0.399	0.898	1.400	0.641	Normal
	10-15	13.2	427	1.4243	-0.794	0.118	-6.729	1.206	0.236	5.110	Normal
	15-20	14.0	455	1.3194	-0.082	0.114	-0.719	0.293	0.228	1.285	Normal
	20-30	14.9	7	1.6851	-0.696	0.794	-0.877	-0.160	1.587	-0.101	Normal
BL-Birch	1-5	5.2	140	3.4052	1.191	0.205	5.810	0.315	0.407	0.774	Non-normal
	5-10	10.7	331	2.1855	-0.79	0.134	-5.896	1.266	0.267	4.742	Normal
	10-15	12.4	249	1.3881	-0.357	0.154	-2.318	-0.001	0.307	-0.003	Normal
	15-20	13.4	72	1.3267	-0.34	0.283	-1.201	0.546	0.559	0.977	Normal
	20-25	14.5	24	1.3936	-0.522	0.472	-1.106	-0.516	0.918	-0.562	Normal
	25-40	14.1	6	0.7714	-1.294	0.845	-1.531	1.143	1.741	0.657	Normal
BL-Larch	1-5	3.7	47	1.8998	1.126	0.347	3.245	0.484	0.681	0.711	Non-normal
	5-10	8.9	50	2.9014	0.302	0.337	0.896	-0.711	0.662	-1.074	Normal
	10-15	13.2	121	1.6294	-0.464	0.220	-2.109	-0.488	0.437	-1.117	Normal
	15-20	14	236	1.3037	-0.475	0.158	-3.006	0.717	0.316	2.269	Normal
	20-25	14.6	183	1.1686	-0.301	0.18	-1.672	-0.527	0.357	-1.476	Normal
	25-30	15.6	10	0.9322	-0.899	0.687	-1.309	-0.213	1.334	-0.160	Normal

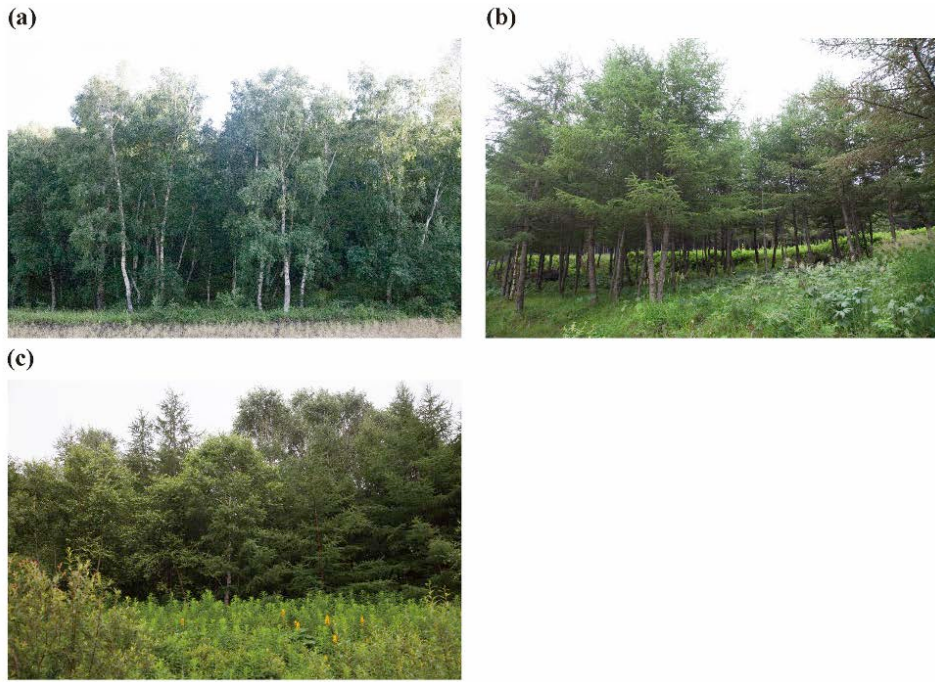


Figure A1: Images of stand structure for (a) PB, (b) PL, and (c) BL.

Abbildung A1: Bilder von Waldstruktur für (a) PB, (b) PL und (c) BL.

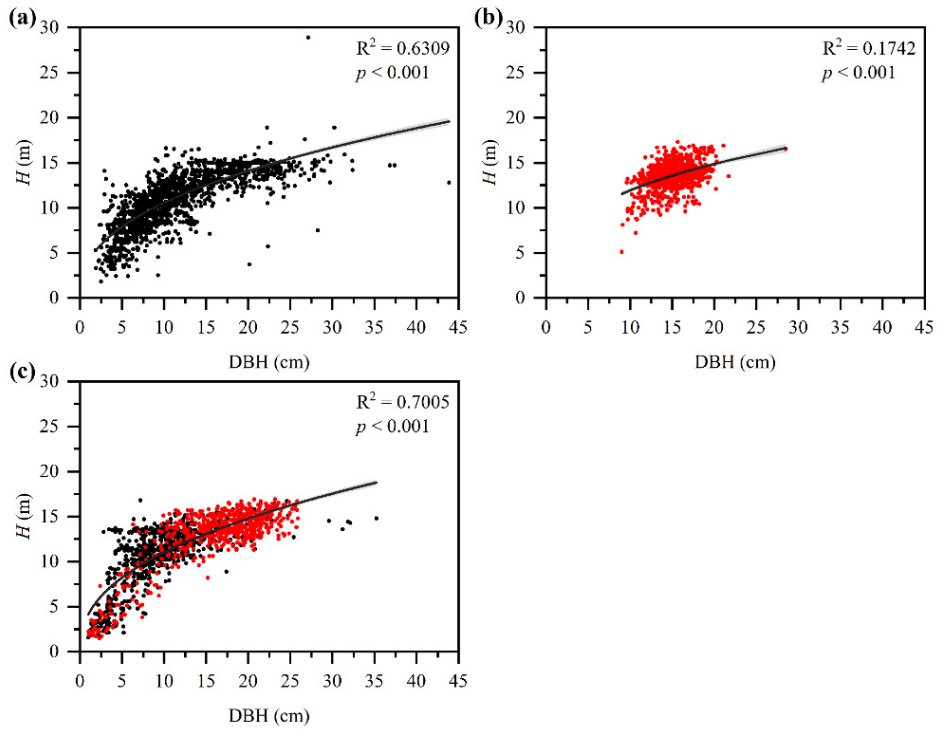


Figure A2: Scatter plots of DBH and tree height (H) in (a) PB, (b) PL, and (c) BL. Black color represents birch trees and red color represents larch trees. The black curves are fitted with the Power functions.

Abbildung A2: Streudiagramme von DBH und Baumhöhe (H) in (a) PB, (b) PL und (c) BL. Die schwarze Farbe steht für Birken und die rote Farbe für Lärchen. Die schwarzen Kurven sind mit den Power-Funktionen angepasst.

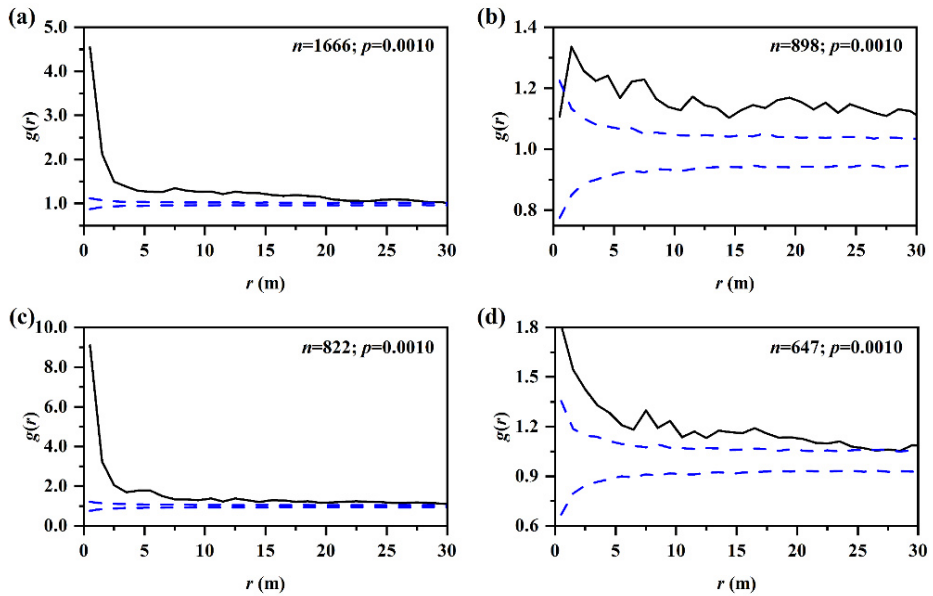


Figure A3: Univariate pair correlation functions $g(r)$ of (a) birch trees in PB, (b) larch trees in PL, (c) birch trees in BL, and (d) larch trees in BL. Black lines indicate the observed $g(r)$, and blue lines indicate the 99% Monte Carlo envelopes.

Abbildung A3: Univariate Paarkorrelationsfunktionen $g(r)$ von (a) Birken in PB, (b) Lärchen in PL, (c) Birken in BL und (d) Lärchen in BL. Schwarze Linien zeigen die beobachteten $g(r)$ an, und blaue Linien zeigen die 99% Monte-Carlo-Hüllkurven an.

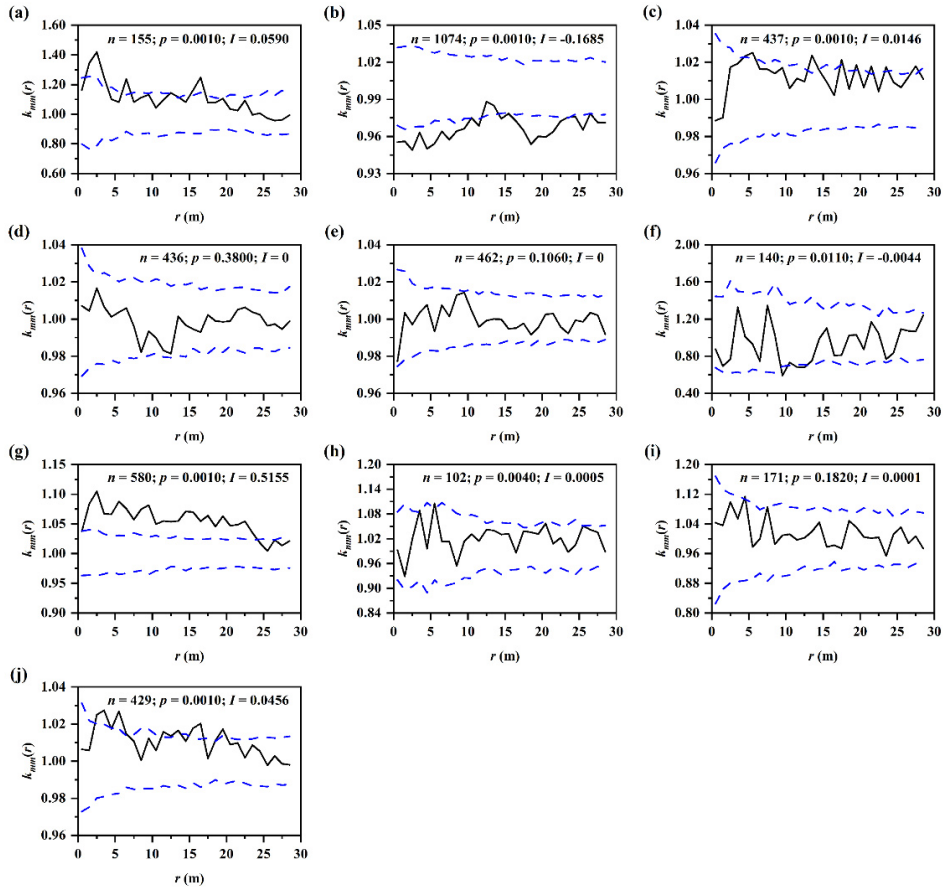


Figure A4: Univariate mark correlation functions $k_{mm}(r)$ for the intraspecific association of tree height between different life stages. Black lines indicate the observed $k_{mm}(r)$, and blue lines indicate the 99% Monte Carlo envelopes. (a) Birch saplings in PB; (b) birch juveniles in PB; (c) birch adults in PB; (d) larch juveniles in PL; (e) larch adults in PL; (f) birch saplings in BL; (g) birch juveniles in BL; (h) birch adults in BL; (i) larch juveniles in BL; (j) larch adults in BL.

Abbildung A4: Univariate Markenkorrelationsfunktionen $k_{mm}(r)$ für die intraspezifische Assoziation der Baumhöhe zwischen verschiedenen Lebensstadien. Schwarze Linien zeigen die beobachteten $k_{mm}(r)$, und blaue Linien zeigen die 99% Monte Carlo Hüllkurven. (a) Birkenjungbäume in PB; (b) heranwachsende Birken in PB; (c) ausgewachsene Birken in PB; (d) heranwachsende Lärchen in PL; (e) ausgewachsene Lärchen in PL; (f) Birkenjungbäume in BL; (g) heranwachsende Birken in BL; (h) ausgewachsene Birken in BL; (i) heranwachsende Lärchen in BL; (j) ausgewachsene Lärchen in BL.

140. Jahrgang (2023), Heft 1, S. 53–74

**Austrian Journal of
Forest Science**
Centralblatt
für das gesamte
Forstwesen

Die Anfänge des forstwissenschaftlichen Austausches zwischen Japan und Österreich – Wegmarken und Vermittlerfiguren

The beginnings of sharing forestry knowledge between Japan and Austria – milestones and key persons

Christoph End¹, Shinji Yamamoto², Yukio Teraoka³, Sebastian Hein¹

Schlüsselbegriffe: Wissenszirkulation, Forstgeschichte, Japan, Österreich, 19. Jahrhundert

Keywords: knowledge exchange, forest history, Japan, Austria, 19th century

Zusammenfassung

Österreich und Japan gelten als walddreiche Nationen mit einer langen forstlichen Tradition. Aktuell finden z. B. gegenseitige Konsultation von Forstexperten oder Besuche japanischer Forstunternehmer auf Fachmessen wie der Austrofoma großen Anklang. Jedoch kaum analysiert wurde im forsthistorischen Diskurs bislang der Ausgangspunkt dieses internationalen Austausches zu forstlichem Wissen. Entlang der Methodik zur Wissenszirkulation und zur historischen Biographieforschung lässt sich diese Lücke schließen, indem frühe Wegmarken des Austausches identifiziert und untersucht werden.

Der Austausch zu forstlichen Themen zwischen Österreich und Japan begann bereits in den 1860er- und 1870er-Jahren. Wichtige historische Ereignisse wie die k. k. Ostasienexpedition von 1868 sowie die Weltausstellung in Wien 1873 stellen dabei zentrale Wegmarken dar. Diese ermöglichten die Entstehung personeller Wissens-

¹Waldbau, Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, D-72108 Rottenburg a. N.

²Forstpolitik, Landwirtschaftliche Fakultät, Universität Iwate, JP-020-8550 Morioka

³Forstökonomie, Landwirtschaftliche Fakultät, Universität Kagoshima, JP-890-8580 Kagoshima

*Corresponding author: Christoph End, end@hs-rottenburg.de

netzwerke, ausgehend von den Persönlichkeiten Wilhelm Exner und Gustav Marchet sowie Tsunetami Sano und Dohei Ôgata als die wesentlichen Vermittlerfiguren. Wissen über die Forstwirtschaft und -wissenschaft sowie die Holzindustrie wurde z. B. durch den Besuch des forstlichen Ausstellungsteils der Weltausstellung in Wien oder die Teilnahme an forstwissenschaftlichen Vorträgen und Vorlesungen vermittelt. In Japan hatte dies Einfluss auf die Reform der Forstverwaltung und die Entstehung erster forstlicher Vereinigungen bis zu Beginn der 1880er-Jahre. Hiernach schwand der österreichische Einfluss und zunehmend gelangte nun die Forstwirtschaft Deutschlands in den Fokus Japans.

Abstract

Austria and Japan are considered to be forest-rich nations with a long forestry tradition. Currently, mutual consultations of forestry experts or visits of Japanese forestry experts to trade fairs such as Austrofoma are very popular. However, the starting point of this international exchange of forest knowledge has hardly been analysed in the discourse on forest history. Using the methodology of knowledge circulation and historical biographical research, this gap can be closed by attempting to identify and examine early milestones of the exchange.

The exchange on forestry topics between Austria and Japan began as early as the 1860s and -70s. Important historical events such as the Imperial East Asia Expedition of 1868 and the World's Fair in Vienna in 1873 represent central milestones. These enabled the emergence of personal knowledge networks, starting with Wilhelm Exner and Gustav Marchet as well as Tsunetami Sano and Dohei Ôgata as key persons. Knowledge about forestry and forest science as well as the timber industry was mutually shared e.g. by visiting the forestry section of the world fair or attending forestry lectures. In Japan, this initially had an influence on the reform of the forest administration and the emergence of the first forestry associations until the beginning of the 1880s. After this, Austrian influence waned and the focus of Japan increasingly shifted to German forestry.

1 Einleitung

Der internationale Austausch zu forstlichem Wissen ist heute gerade auch mit Blick auf die globalen Herausforderungen wie die Klimaveränderung oder die internationalen Handels- und Verwertungsströme von großer Bedeutung. Die IUFRO (International Union of Forest Research Organisations), konstituiert 1892 in Eberswalde durch die Staaten Deutschland, Österreich und die Schweiz und mit heutigem Sitz in Wien, vernetzt seit über 130 Jahren Forstwissenschaftler aus aller Welt und unterstützt in-

stitutionell den internationalen Dialog zu forstlichen Themen (JOHANN *et al.* 2017). Japan, als erste asiatische Nation, wurde anlässlich der IV. Verbandstagung 1903 in Mariabrunn durch den Direktor der Versuchsanstalt Josef Friedrich (1845–1909) zur Mitgliedschaft eingeladen (JACAR A15113482500) und trat dem internationalen Verband bei. Diese Einladung kann als Anerkennung des in kurzer Zeit erreichten, hohen forstwissenschaftlichen Niveaus Japans verstanden werden (vgl. LORENZ-LIBURNAU 1896). Eine forstakademische, universitäre Ausbildung entstand mit der Eingliederung der Landwirtschafts- und Forstakademie Tokio, der tōkyō nōrin gakkō, als Landwirtschaftliche Fakultät der Kaiserlichen Universität Tokio erst 1891. Als Professor für Wildbachverbauung war dort von 1905 bis 1909 der k.k. Oberforstkommissär Amerigo Hofmann (1875–1947) tätig, der durch seine zahlreichen Veröffentlichungen, z. B. in der Österreichischen Forst-Zeitung (ÖFZ), und sein Buch „Aus den Waldungen des fernen Ostens“ Japan als Waldland sowohl der forstfachlichen als auch der öffentlichen Leserschaft in Österreich bekannt machte (NFP 1913, HOFMANN 1913).

Dieses bedeutende Engagement von Hofmann wurde in einigen Arbeiten ausführlich behandelt (KREINER 1976, AULITZKY 1984, NISHIMOTO 2018) und stellt den bislang sichtbarsten Teil der frühen forstlichen Wissenszirkulation zwischen Österreich und Japan dar.

Tatsächlich weist der internationale Austausch zu forstlichem Wissen mit Japan jedoch eine noch ältere Tradition auf. Von Seiten Österreichs zeigt sich dies bereits in den 1860er Jahren zunächst an einem forstspezifischen Interesse an Exoten zum Anbau in Österreich sowie an der Suche nach neuen Absatzmärkten für die heimischen Forst- und Holzprodukte bzw. -technologien (SCHERZER 1872). Diese Phase ab der Öffnung Japans bis zur Berufung Hofmanns 1904 hat jedoch im forsthistorischen Diskurs bislang nur wenig Beachtung gefunden. Gerade dieser Zeitraum und mit ihm die Vorreiter Hofmanns können jedoch eine Erklärung für ein bereits existierendes Netzwerk japanischer und österreichischer Forstexperten liefern und Verständnis dafür schaffen, wie es zu der Berufung eines österreichischen Forstingenieurs auf den Lehrstuhl für Wildbachverbauung in Japan kommen konnte. Inokuma (1966) sowie Nagaike (1975a und 1975b) haben zwar Arbeiten zu den japanischen Vermittlerfiguren zu Beginn des Austausches vorgelegt, doch fehlt hierbei die ergänzende und relevante Analyse aus der europäischen Perspektive. Um diese Wissenslücke zu schließen, konzentriert sich die vorliegende Arbeit auf die Fragen:

1. Welche Ereignisse lassen sich als zentrale Wegmarken für den Beginn der forstlichen Wissenszirkulation ausmachen?
2. Wer waren die relevanten japanischen Vermittlerfiguren, die den Austausch initiierten und was zeichnete sie aus?
3. Welches Wissen um die Forst- und Waldwirtschaft zirkulierte in diesem Zeitraum und wurde auf welche Weise auch in den Zielländern in Expertenkreisen oder in der Öffentlichkeit verbreitet?

2 Methodik und Quellen

Die vorliegende Arbeit wurde entlang der Methodik zur Untersuchung der Zirkulation von Wissen (vgl. LIGHTMAN *et al.* 2013) erstellt und analysiert anhand der verfügbaren Quellen die Vermittlung von Wissen im Kontext von Zeit (zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts), Raum (Japan und Österreich) und Thematik (Forstwissenschaft). So gelingt es, Personen und Institutionen zu identifizieren und in die o. g. Zusammenhänge zu stellen (SARASIN 2011). Nach SARASIN zielt diese Art der Analyse von Wissensvermittlung vor allem darauf ab, Effekte, Träger und Zusammenhänge darzustellen. Ergänzend liefert die Historische Biographieforschung (DEPKAT 2014, LECKIE 2004) wichtige Erkenntnisse zu den handelnden Personen und erlaubt es unter anderem, die Biographie der identifizierten Personen entlang des für die Zirkulation relevanten biographischen Teils zu verdichten (ETZELMÜLLER 2012, SCHWEIGER 2009). LÜSEBRINK spricht hier auch von *Vermittlerfiguren*, die die Wege innerhalb eines Kulturtransfers mittels verfügbarer *Medien* nachvollziehbar machen. Auch liefert er in seinem Konzept zum Kulturtransfer eine Antwort auf die Frage nach der Motivation der Beteiligten und unterteilt diese in 1. Ökonomisches Interesse, 2. Politische Zielsetzungen und 3. Emotionale, affektive Faktoren (LÜSEBRINK 2001).

Zentrale historische Ereignisse für die Entstehung und Entwicklung des Austausches zwischen Japan und Österreich, wie z. B. die Ostasienexpedition 1868 oder die Wiener Weltausstellung 1873, werden mit Blick auf die forstliche Relevanz hin analysiert und als Wegmarken der forstlichen Wissenszirkulation aufgezeigt. Wegmarken sollen demnach als größere Ereignisse verstanden werden, die über einen längeren Zeitraum anhalten, eine Vielzahl von Personen und Einzelereignissen beinhalten und somit einen umfänglicheren Entwicklungsschritt oder Wendepunkt einleiten.

Die verwendeten Quellen stammen überwiegend aus forstlichen Fachzeitschriften und Tageszeitungen des untersuchten Zeitraums sowie aus Archiven von Ministerien und Universitäten. Vor allem sind die Österreichische Forst-Zeitung (ÖFZ) und das Centralblatt für das gesamte Forstwesen (CbfdgFw) sowie die *sanrin*, das Journal des Japanischen Forstvereins, besonders relevante Quellen, die oftmals in digitalisierter Form als Literatur auch im Internet abgefragt werden können, z. B. bei <https://anno.onb.ac.at>. Offizielle Berichte der beteiligten österreichischen und japanischen Ministerien, z. B. der Expeditionsbericht zur k. k. Expedition nach Ostasien, Berichte über die Weltausstellung in Wien etc., liefern zahlreiche Belege für den forstlichen Wissensaustausch. Anhand der Matrikellisten der BOKU lassen sich bspw. zudem die zahlreichen japanischen Studierenden und die von Ihnen besuchten Vorlesungen nachweisen.

3 Ergebnisse

3.1 Zentrale Wegmarken der frühen forstlichen Wissenszirkulation

Bereits ab Mitte der 1870er-Jahre finden sich in Japan erste Schriften zur Österreichischen Forstwirtschaft, darunter z. B. die Übersetzung des Österreichischen Forstgesetzes von 1852 (vgl. SYRUCZEK 1853). Eine Sammlung von Übersetzungen und Kommentaren wurde 1875 im Bericht der japanischen Ausstellungskommission zur Wiener Weltausstellung *ôkoku tenrankai hôkokushô sanrinbu* (Bericht zur Ausstellung in Österreich – Teil zur Waldwirtschaft) veröffentlicht (ÔGATA 1875). Es bestand demnach bereits gegen Mitte der 1870er-Jahre ein Wissensaustausch zu forstlichen Themen zwischen Österreich und Japan, z. B. über exotische Baumarten oder Holzverarbeitungsmethoden sowie die Forstgesetzgebung und Forstadministration. Anhand ausgewählter Wegmarken lässt sich dieser anfängliche forstliche Austausch nachzeichnen und verdeutlicht, dass zum Zeitpunkt der Berufung von Hofmann 1904 (ÖFZ 1904) bereits ein forstliches Wissensnetzwerk etabliert war.

Die k. u. k. Ostasienexpedition von 1868 nach China, Siam und Japan

Eine erste Wegmarke im forstlichen Wissensaustausch stellt die Entsendung der k. u. k. (kaiserlich und königlichen) Ostasienexpedition 1868 nach Fernost dar. Nach der 1854 durch die amerikanische Flotte unter Commander Perry erzwungenen Öffnung Japans, entsandten weitere westliche Mächte Expeditionen nach Japan (z. B. die Preußische Ostasienexpedition 1859-1862) und schlossen dort Freundschafts- und Handelsverträge ab (STAHNCKE 2000). Österreich-Ungarn bewilligte erst 1868 die Durchführung einer solchen Expedition, die neben Japan auch China und Siam zum Ziel hatte (SCHERZER 1872). Die politische Delegation wurde von Fachleuten begleitet, für die Land- und Forstwirtschaft war dies der Zoologe Szymon Syrski. Wenngleich dessen Hauptaugenmerk auf der Landwirtschaft der besuchten Länder lag, so ist sein kurzer Abriss über die Forstwirtschaft Japans der bislang erste bekannte Beitrag dieser Art in einer österreichischen Schrift (SYRSKI 1872). Die Instruktionen für die fachmännischen Begleiter hatten tatsächlich ausdrücklich auch forstliche Anforderungen beinhaltet, z. B. den Auftrag zur Suche nach passenden Bäumen und nach Absatzmärkten für die österreichische Holzindustrie: „*Der Wald und seine Produkte spielen in unserer Volkswirtschaft eine so hervorragende Rolle, dass die ostasiatische Expedition auch zu diesem Zwecke benützt werden sollte*“ und „*Die von der Expedition berührten Länder können Waldbäume enthalten, welche möglicher Weise (weil sie bei uns ähnliches Klima fänden) auch in Österreich gedeihen würden. Von diesen Baumarten wären Samen, allenfalls auch Pflanzen, und die Notizen über ihr Wesen mitzubringen*“ (SCHERZER 1872, 412-413).

Neben der rudimentären Schilderung der Forstwirtschaft durch Syrski, gelangte zunächst jedoch vor allem Wissen über die Holzindustrie Japans nach Österreich.

Wilhelm Exner (1840–1931), Professor für forstliches Ingenieurwesen an der Forstakademie Mariabrunn und später der Hochschule für Bodenkultur (BOKU), hatte den fachmännischen Exkursionsbegleiter Artur Scala beauftragt, in Ostasien Holzprodukte, Holzmuster und Werkzeuge zur mechanischen Holzbearbeitung für die Forstakademie Mariabrunn zu sammeln. Exner veröffentlichte dazu eine größere Arbeit in der Sammlung der Fachmännischen Berichte über die österreich-ungarische Expedition (EXNER 1872). Die Sammlung japanischer Werkzeuge war auch der Anlass des ersten Besuches des japanischen Ministerresidenten Sano an der Forstakademie Mariabrunn im August 1873 (IAZ 1873b). Teile der Sammlung befinden sich heute im Welt-Museum in Wien. Exners Vortrag zur Holzindustrie Japans im Orientalischen Museum Wien Anfang 1881 wurde später in der „Monatsschrift für den Orient“ veröffentlicht und lieferte einen breiteren Blick auf Japan als Holznation (EXNER 1881a). Ähnliche Arbeiten zur Holzverwendung in Japan lassen sich zu diesem frühen Zeitpunkt alleine bei DUPONT (1880) oder REIN (1881) finden. Exner zitierte darin die offiziellen Angaben zur japanischen Forstwirtschaft, die im Ausstellungsbericht zur Weltausstellung in Paris 1878 durch die japanische Kommission veröffentlicht worden waren, doch stellte er auch Ergebnisse seiner eigenen Forschungen vor, die er an japanischen Hölzern und Werkzeugen vorgenommen hatte: *„Die japanische Holzindustrie ist schon nach mancher Richtung als die erste in der Welt zu betrachten und wir von unserem Standpunkte können dieses betriebsame, erfinderische und gewissenhafte Volk nur bewundern“* (EXNER 1881c, S. 119). Aus dem Beitrag geht ebenfalls hervor, dass Exner Versuche mit japanischen Hölzern veranlasst hatte, um deren Qualität hinsichtlich z. B. Festigkeit und Elastizität zu analysieren (EXNER 1881b). Auch liefert der Bericht den Beleg nicht nur für forstliche Wissenszirkulation, sondern für einen regelrechten Technologietransfer: *„Das technologische Gewerbe-Museum in Wien hat der Firma Vogel & Noot den japanischen Querschnitt-Fuchsschwanz nachbauen lassen und die Exemplare, welche bereits in unseren Werkstätten Eingang fanden, sind Lieblinge der Arbeiter geworden“* (EXNER 1881c, S. 118). Exner hatte folglich erheblichen Anteil daran, dass Wissen über die japanische Holz-Industrie in Österreich anlangte.

Ein weiteres Mitglied der Expedition nach Fernost war Baron Heinrich von Calice (1831-1912), der von Shanghai aus als Generalbevollmächtigter für Ostasien Österreich auch in Japan vertrat. Er führte ab 1871 direkte Gespräche mit der neuen japanischen Regierung und verhandelte die Teilnahme Japans an der Weltausstellung in Wien 1873 (PANTZER 1973).

Die Weltausstellung in Wien 1873

Die Weltausstellung in Wien, die am 01. Mai 1873 anlässlich des 25. Thronjubiläums Kaiser Franz Josephs eröffnet wurde, stellt die zweite zentrale Wegmarke für den frühen Austausch zu forstlichem Wissen dar. Bereits zuvor hatten sich einzelne japanische Aussteller an den Weltausstellungen 1862 in London und 1867 in Paris

beteiligt. Nach der Meiji-Restauration von 1868 bot sich für die neue japanische Regierung nun erstmals die Gelegenheit, sich als geeinte Nation zu präsentieren (HEDINGER 2011; SAKAMOTO 2007). Baron Calice überreichte im Januar 1872 anlässlich einer Audienz am Kaiserhof dem Tennô die offizielle Einladung zur Teilnahme an der Weltausstellung in Wien (CIJ 1873). Nach anfänglichem Zögern konnte Calice die japanischen Regierungsvertreter von den Möglichkeiten und Vorteilen einer Teilnahme überzeugen. Kurz darauf wurde eine Ausstellungskommission bestellt, der u. a. die Vizeminister des Äußeren sowie der Finanzen vorsäßen. Diese Besetzung zeigt die hohe politische Bedeutung und Erwartungen an eine Beteiligung. Für die Organisation wurde ein Büro für Ausstellungsangelegenheiten eingerichtet, zugleich folgte ein landesweiter Aufruf zur Einsendung von Ausstellungsexponaten. Die Sammlung, die in Umfang und Qualität sehr bedeutend war, wurde vor der Verschiffung nach Europa im Dezember 1872 in Tokio der Öffentlichkeit präsentiert (PANTZER 1973; HEDINGER 2011). Die Österreichische Nationalbibliothek verwahrt in ihrem Archiv ein Fotoalbum des Ausseer Fotografen Michael Moser (1853–1912), der diese Ausstellung und die Exponate in Tokio fotografierte (MOSER 1872). Moser war von der japanischen Regierung als Dolmetscher für die Weltausstellung engagiert worden. Mit der Berufung des Vizeministers für öffentliche Arbeiten Tsunetami Sano (1822–1902) zum Direktor der Ausstellungskommission wurde eine weitere wichtige Personalentscheidung getroffen. Unter der rund 80-köpfigen Delegation befanden sich zahlreiche Beamte, Fachleute und Handwerker, darunter auch der als Dolmetscher engagierte Dohei Ôgata, der im Anschluss an die Weltausstellung an der Forstakademie Mariabrunn zum Studium verblieb.

Die Forstwirtschaft nahm bei der Wiener Weltausstellung, wie zuvor schon 1867 in Paris, mit einer eigenen Sektion einen bedeutenden Raum ein, für die Holzindustrie wurde sogar erstmals eine eigene Gruppe geschaffen, „Gruppe VIII. Holz-Industrie“ (JUDEICH 1874). Vor allem Österreich-Ungarn präsentierte seinen wichtigen Industriezweig in Form einer großen Leistungsschau (vgl. IAZ 1873a). Wenngleich Japan keinen eigenständigen forstlichen Beitrag brachte, so wurden doch in verschiedenen Ausstellungsgruppen Exponate mit forstlichem Charakter angemeldet und ausgestellt (Tabelle 1, z. B. in „Gruppe II. Landwirthschaft, Forstwirthschaft, Wein, Obstbau und Gartenbau“ u. a. Rinde von *Magnolia hypoleuca*, Hölzer von *Sophora japonica* oder *Juniperus rigida*, weiter wurden rund 170 Holzproben (z. B. *Taxus cuspidata*, *Torreya nucifera*, *Thuyopsis dolobrata* etc.) gezeigt: „Die ausgestellte Holzsammlung war eine reichhaltige. Die Muster waren in Bretterform, welche in den meisten Fällen eine Länge von 4-5 Fuss hatten“ (ANTOINE 1876a, S. 243). Auch die für Japan typische Holzkohle und Asche für die Porzellan glasur wurden als „verschiedene Forstproducte“ präsentiert. Die Holzindustrie fand ebenfalls Berücksichtigung und es kamen Möbel und Tischlerarbeiten japanischer Manufakturen zur Schau, aber auch Drechslerarbeiten und Schnitzereien. Sie veranschaulichten dadurch, dass Japan eine reiche forstliche Flora aufwies und diesen Reichtum auch zu verwerten verstand (JAC 1873; ANTOINE 1876b). Allerdings fanden die Einreichungen aus Japan in der österreichischen forstlichen Rezension keine Berücksichtigung (MICKLITZ 1874), wenngleich die interna-

tionale Jury in der Kategorie „VIII. Holz-Industrie“ rund 20 Fortschritts- und Verdienstmedaillen an japanische Aussteller vergeben hatte (GD 1873b).

Tabelle 1: Exponate der japanischen Ausstellung mit Bezug zur Forst- und Holzindustrie.

Table 1: Exhibits by the Japanese exhibitors related to forestry and wood-industry.

Gruppe	Exponate
Gruppe II. – Land- und Forstwirtschaft	- Producte der Forstcultur - Gerbstoffe - Farbhölzer und Dungmittel
Gruppe VIII. – Holzindustrie	- Lackierte Kunstgegenstände, - Möbel nach europäischem Muster gearbeitet - Eingelegte Gegenstände - Gedrechselte Gegenstände
Gruppe XVII. – Marinewesen	- Sammlung von Schiffsbauhölzern
Gruppe XVIII. – Bau- und Civil-Ingenieurwesen	- Vollständige Sammlung aller Holzgattungen und Steine zum Baue von feuerfesten Gebäuden - Sammlung von Schreiner- und Holzfällerwerkzeugen

Quelle: GD (1873a) Welt-Ausstellung 1873 in Wien. Offizieller General-Catalog. Verlag der General-Direction. Wien

Alleine bei Exner, Mitglied der Internationalen Jury in der Gruppe VIII (Holz-Industrie), findet sich ein Hinweis auf die von Japan ausgestellten Handsägen (s. o.) (EXNER 1874). Im offiziellen Bericht der Deutschen Regierung hingegen wurde Japan zumindest in einigen forstlichen Aspekten erwähnt, z. B. die Darstellung der Gewinnung des japanischen Lackes aus *Rhus vernicifera* oder das gezeigte Herbarium etc.: „Nach Allem erregte die Ausstellung Japans also auch in forstlicher Beziehung die gerechte Aufmerksamkeit, obgleich es nicht möglich war, Aufschlüsse über etwaige Forstwirtschaft dieses Landes selbst zu erlangen“ (JUDEICH 1874, S. 746). Einen umfassenderen Einblick in den forstbotanischen Beitrag Japans lieferte ZWANZIGER: „Von Hölzern lagen unter andern vor große Bretter von der japanischen Ceder, Tschinoki, *Cryptomeria Japonica*, mit wohlriechendem Holze und breiten Jahresringen, aus dem auch der Tempel im Gärtchen bis zu den kleinen Dachschildelchen gebaut war“ (ZWANZIGER 1874, S. 296) (Abb. 1).



Abbildung 1: Japanischer Tempel, erbaut für die Weltausstellung 1873.

Figure 1: Japanese Shintô shrine, constructed for the World's Fair in Vienna 1873.

Quelle: Michael Frankenstein & Comp. (Fotoatelier), Wiener Photographen-Association (Verlag), Weltausstellung 1873: Japanische Gartenanlagen (Nr. 1462), 1873, Wien Museum Inv.-Nr. 174005/86, CC0 (<https://sammlung.wienmuseum.at/objekt/343954/>)

Japan vermittelte demnach erfolgreich seinen gerechtfertigten Ruf als Wald- und Holznation, wenngleich der Entwicklungsstand sowohl bei der Forstverwaltung als auch bei den Forstwissenschaften noch nicht auf einem mit dem Westen vergleichbaren Niveau festzustellen war. Eine eigenständige Forstabteilung entstand mit dem *sanrin kyoku* (Forstbüro) erstmals 1879 beim Innenministerium und die erste Forstakademie, die *sanrin gakkô*, wurde erst 1882 im Tokioter Vorort Nishihagara gegründet.

Der erste internationale Kongress für Land- und Forstwirthe 1873

Parallel zur Weltausstellung fanden in Wien zahlreiche internationale Fachkongresse statt. Das österreichische Ackerbaumministerium unter Ackerbauminister Johann von Chlumecky (1834–1924) hatte frühzeitig mit der Planung und Organisation eines internationalen Kongresses begonnen, den die Veranstalter der Weltausstellung als

ersten internationalen Kongress der Forst- und Landwirte vom 19.–25.09.1873 in Wien ausrichteten. Hierzu kamen rund 300 internationale Teilnehmer zusammen, um über internationale Standards bei der Behandlung forstlicher Fragen zu verhandeln, z. B. „*Welche internationalen Vereinbarungen erscheinen nothwendig, um der fortschreitenden Verwüstung der Wälder entgegen zu treten?*“ (WWZ 1873; FISCHBACH 1874). Japan nahm ebenfalls an diesem Forstkongress teil und wurde durch den Kommissionsleiter Sano sowie die deutschen Delegationsmitglieder Dr. Gottfried Wagener und Heinrich von Siebold, ein Sohn des großen Japanforschers Philipp Franz von Siebold, vertreten. Auf der Teilnehmerliste finden sich nahezu sämtliche bedeutenden Persönlichkeiten der Forstwissenschaften jener Zeit wie z. B. die Österreicher Wiesener, Seckendorff, Marchet, die Deutschen Hartig, Judeich, Nördlinger, Hess, Ebermayer und der Schweizer Landolt (CLF 1874). Durch den wissenschaftlichen Diskurs zu drängenden, internationalen Themen, konnte Sano ein tieferes Verständnis für forstliche Zeitfragen entwickeln. LOTZ (2018) kommt in seiner Bewertung der Wirkkraft dieses Kongresses zu einem differenzierten Urteil. So sei es nur in Teilen gelungen, die zahlreichen Beschlüsse in konkrete Forderungen zu übersetzen und diese durchzusetzen. Vor allem aber wurde ein wichtiges Ziel noch nicht erreicht, nämlich die Einsetzung einer dauerhaften Kommission für ein international harmonisiertes Versuchswesen. Dies sollte erst durch die Gründung des Internationalen Verbandes der forstlichen Versuchsstationen in 1892 in Eberswalde realisiert werden (FRIEDRICH 1893), welchem Japan schließlich 1903 als erste asiatische Nation beitrug. Wenngleich Japan 1873 noch außer Stande war sich an einem breiteren, forstwissenschaftlichen Diskurs zu beteiligen, so kann die erste Teilnahme an einem internationalen forstlichen Kongress ebenfalls als relevante Wegmarke bezeichnet werden. Eine Forstwissenschaft im europäischen Sinne war noch nicht etabliert, sondern nahm diese erst durch die Gründung der Forstpflanzenschule in Nishigahara 1878, aus der 1882 die erste Forstakademie in Japan hervorging, ihren Anfang. Gerade aber diese frühe Teilnahme an einem wissenschaftlichen Kongress dürfte einen zusätzlichen Impuls gegeben haben, nicht nur die Forstwirtschaft sondern in gleichem Maße die Forstwissenschaft in Japan staatlicherseits voranzutreiben.

3.2 Vermittlerfiguren im japanisch-österreichischen Wissensaustausch

Die zentralen Wegmarken des Austausches waren mit Akteuren verbunden, die einen wesentlichen Anteil an deren Entstehung sowie an den weiterführenden Pfaden hatten. Im Fall der Weltausstellung waren dies die Japaner Tsunetami Sano und Dohei Ōgata und auf österreichischer Seite vor allem die zu der Zeit an der Forstakademie Mariabrunn wirkenden Professoren Wilhelm Exner und Gustav Marchet. Exner, der sich auf Grund seiner fachlichen Expertise insbesondere für die japanische Holzindustrie und -technologie interessierte und Marchet, da sich dieser den Japanern als zentrale Ansprechperson in forstlichen Fragen anbot.

Für Japan war der forstliche Wissenserwerb von großer Wichtigkeit, das aktive, strategische Vorgehen Sanos und die Ausbildung Ôgatas an der Forstakademie hatten einen bedeutenden Einfluss auf die Modernisierung und Entwicklung der Forstwirtschaft in Japan. Ein tieferes Interesse Österreichs an der japanischen Forstwirtschaft ist für diesen frühen Zeitraum nicht feststellbar. Da zudem die Rollen von Exner und Marchet in der Literatur bereits umfassend gewürdigt wurden (vgl. EXNER 1929; ÖFZ 1916), bedarf es hier keiner weitergehenden biographischen Darstellung.



Abbildung 2: Porträt von Tsunetami Sano.

Figure 2: Portrait of Tsunetami Sano.

Quelle: NIZ (1874)

Tsunetami Sano (1823–1902)

Tsunetami Sano (Abb. 2) entstammte einem Samurai-Clan aus dem Lehen Saga (Saga-han) und hatte bereits durch seine Teilnahme an der Weltausstellung in Paris 1867 erste Erfahrungen bei der Durchführung einer internationalen Ausstellungsbeileiligung gewinnen können. Zudem hatte er für die japanische Regierung den Bau von Kriegsschiffen in einem holländischen Arsenal verhandelt und war vertraut mit den europäischen Sitten (LANMAN 1883) als er 1872 zum stellvertretenden Kom-

missionspräsidenten und zum Ministerresidenten Japans für Österreich und Italien bestellt wurde. Er traf im April 1873 in Wien ein (WZ 1873). Die Japanische Delegation konnte sich durch die forstliche Leistungsschau Österreich-Ungarns ein Bild davon machen, auf welch fortgeschrittenem Niveau sich die Holzindustrie und die Forstwissenschaft in Österreich befanden. Sano identifizierte die Forstwirtschaft als relevantes Thema des Wissensaustausches (INOKUMA 1966). Wilhelm Exner betont in seinen Memoiren die besondere Rolle von Sano als Direktor des japanischen Ausstellungsbeitrags (EXNER 1929). Sano kam wiederholt zu Gesprächen mit österreichischen Forstwissenschaftlern, z. B. Gustav Marchet, zusammen und besuchte u. a. die Forstakademie Mariabrunn wenigstens zweimal (IAZ 1873) (Tabelle 2) und vermittelte dorthin im Anschluss an die Weltausstellung als Studenten Dohei Ôgata, der, wie bereits erwähnt, als Dolmetscher Teil der Ausstellungsdelegation war: „Am 9. September stattete eine größere Gesellschaft von Japanesen, welcher der Minister Sano und Professor Wagener angehörten, der Forsthochschule Mariabrunn einen zweiten Besuch ab. Herr Ogata wird sich unter der speciellen Leitung mehrerer Professoren der Mariabrunner Academie dem Studium des Forstwesens widmen. Der genannte japanesische Beamte wird nach der Rückkehr in sein Vaterland bei der Organisation der Forstverwaltung thätig sein“ (LW 1873, S. 593). Sano erkannte die Fortschrittlichkeit der österreichischen Forstwirtschaft und hoffte, durch Ôgata wichtige Erkenntnisse für den Aufbau eines modernen Forstwesens in Japan sammeln zu können.

Tabelle 2: Forstliche Treffen des Kommissionsleiters Sano 1873–1874.

Table 2: Forestry related activities by head of commission Sano 1873-1874.

Datum	Ort	Personen
03.08.1873	1. Besuch der Forstakademie Mariabrunn, Besichtigung der Untersuchungen an japanischen Werkzeugen	Wilhelm Exner
09.09.1873	2. Besuch der Forstakademie Mariabrunn, Vermittlung Ôgatas als Forststudent	
19.-23.09.1873	Int. Kongress der Land und Forstwirthe, Wien	Wilhelm Exner, Gustav Marchet
02.06.1874	Karlsbad; trifft Teilnehmer der Studienreise des Industriecurses der Forstakademie (auch Ôgata)	Wilhelm Exner
01.08.1874	Bad Ischl, Einzelgespräch mit Gustav Marchet	Gustav Marchet

Auch beabsichtigte Sano, österreichische Forstleute als Experten nach Japan einzuladen, „um dort Holzindustrie und künstliche Holzzucht zu importiren“ (SCHILLING 1875, S. 359), was ihm jedoch mangels seiner fehlenden ministeriellen Zuständigkeit nicht gelang. So wurden stattdessen zunächst die bayerischen Forstbeamten Heinrich Mayr (vgl. END et al. 2023), Eustach Grasman und Karl Hefeles als Dozenten für die forstlichen Fächer an die Universität Tokio berufen und erst 1904 wurde mit Amerigo

Hofmann ein Forstingenieur aus Österreich nach Japan eingeladen, um den Lehrstuhl für Wildbachverbauung zu besetzen: „Hr. Hoffmann hat sich für die nächsten drei Jahre verpflichtet, in Tokio Forstwissenschaft und die verwandten Fächer an der dortigen Akademie vor Zuhörern zu lehren, die des Deutschen mächtig sind. Die japanische Regierung, im Bewußtsein dessen, daß die Forst- und Terrainverhältnisse in Japan vielfach Ähnlichkeiten mit denen in Österreich aufweisen, legt Gewicht darauf, daß ein versierter Fachmann aus Österreich sich an Ort und Stelle in Japan der Verbesserung des dortigen Forstwesens widme und der Jugend das Neueste auf dem Gebiete der Forsttechnik beibringe“ (ÖFZ 1904, S. 5). Dankesschreiben von Sano an Exner, Marchet und Micklitz für die Aufnahme und Betreuung Ôgatas zeugen von der Wichtigkeit, die Sano der Entwicklung der heimischen Forstwirtschaft beimaß (Anonymous 1875). Sano hatte gezielt Mitglieder der Delegation nach der Ausstellung in Europa belassen und diese in verschiedenen Fachgebieten als sogenannte „technische Studenten“ (*gijutsu den-shûsei*) an Akademien oder in Unternehmen fortbilden lassen, z. B. Bierbrauerei in Pilsen oder Schriftdruckerei in Wien, andere Japaner erwarben neue Fertigkeiten in einer Bautischlerei, einer Möbelfabrik und in einer Porzellanmanufaktur (GZ 1873). YOKOI sieht diesen durch Sano beförderten und breit angelegten Wissens- und Kompetenzerwerb als einen wichtigen Entwicklungsschritt Japans hin zu einer Industriegesellschaft (YOKOI 1898).

Im Juli 1874, wenige Wochen vor seiner Rückkehr nach Japan, begab sich Sano zu einem Erholungsurlaub nach Bad Ischl (Ischler Cur-Liste 1874, Welt-Blatt 1874). Dort traf er Anfang August noch einmal Gustav Marchet und sprach mit ihm auch über den Studenten Ôgata. Im Oktober trat der Legationssekretär Koki Watanabe die Nachfolge Sanos an und dieser kehrte nach Japan zurück, wo er im Dezember 1874 eintraf (NFP 1875).

Sano ließ nach seiner Rückkehr eine Sammlung von Berichten zur Weltausstellung in Wien verfassen, die *ôkoku tenrankai hôkokusho*, in der er wichtige Ergebnisse und in Österreich gesammeltes Wissen veröffentlichte. Darunter befindet sich auch der 10-teilige Band Nr. 4 zur Forstwirtschaft, der zum größten Teil durch Ôgata erstellt wurde (ÔGATA 1875). Es wird hierin jedoch nicht über den forstlichen Teil der Weltausstellung berichtet, sondern es finden sich darin neben einer Übersetzung des österreichischen Forstgesetzes (Teil 8) und der Übersetzung eines Beitrags von Gustav Marchet betreffend die Forsteinrichtung (Teil 3) überwiegend Aufzeichnungen zu forstlichen Themen wie Organisation, Kultivierung, Forstfrevel etc. (Tabelle 3) (vgl. TANAKA & HIRAYAMA 1897).

Tabelle 3: Inhaltsverzeichnis des Berichts zur Weltausstellung in Österreich – Teil Forstwirtschaft.

Table 3: Directory of the Report of the World's Fair in Austria – Forestry section.

Teil	Titel	Titel deutsch	Verfasser
1.	山林管制ノ趣旨報告書 Sanrinkansei no shushi hôkokusho	Bericht zum Zweck einer Forstorganisation	Sano, Tsunetami
2.	博士マルヘット氏の問答 Marchet shi no sandô	Dialog mit Dr. Marchet	Ôgata, Dohei (Protokoll)
3.	博士マルヘット氏山林制度論 Hakase Marchet shi sanrin seidoron	Abhandlung zur Forsteinrichtung	Gustav Marchet; Ôgata, Dohei (Übersetzung)
4.	山林培養法 Sanrinbaiyôhô	Forstkultivierungsmethoden	Ôgata, Dohei
5.	山林主用論 Sanrin shuyôron	Abhandlung zum Kern der Forstwirtschaft	Ôgata, Dohei
6.	山林変用論 Sanrin henyôron	Abhandlung zum Wandel der Forstwirtschaft	Ôgata, Dohei
7.	山林防害説 Sanrin bôgaishetsu	Ansichten zu Forstschäden (Forstfrevel)	Ôgata, Dohei
8.	奥国山林法律 Ôkoku sanrin hôritsu	Österreichisches Forstgesetz	Ôgata, Dohei
9.	山林経済論 Sanrin keizairon	Abhandlung zur Forstökonomie	Ôgata, Dohei
10.	奥国山林局官制 Ôkoku sanrinkyoku kansei	Die österreichische Forstverwaltung	Dohei Ôgata

Quelle: Erstellt aus ôkoku tenrankai hôkokusho sanrinbu (ÔGATA 1875)

In diesem offiziellen Bericht erscheint das Protokoll des Gesprächs zwischen Marchet und Sano, das im August 1874 in Bad Ischl stattgefunden hatte, besonders interessant, da durch die stenographische Aufzeichnung der Dialog im Original wiedergegeben wird und somit eine relevante Quelle darstellt. Marchet erörterte darin mit Sano Fragen zur forstwissenschaftlichen Situation in Österreich. Z. B. sprachen sie über die große Relevanz einer nationalen Forstverwaltung oder die Rolle der akademischen, forstwissenschaftlichen Ausbildung, was beides zu diesem Zeitpunkt in Japan noch nicht entwickelt war.

Sanos großes forstliches Engagement ist durch die Entsendung Ôgatas an die Forstakademie und seine frühen Pläne der Gründung einer Forstakademie in Japan sowie Vorhaben zur Entsendung weiterer Japaner zum Studium nach Europa und die Berufung europäischer Forstexperten nach Japan nachweisbar, wenngleich die spätere Umsetzung nicht mehr von ihm verantwortet wurde. Im Juli 1892 wurde er in das Kabinett von Masayoshi Matsukata als Minister für Ackerbau und Handel berufen und stand somit auch der nationalen Forstverwaltung als Minister vor. Fünf Tage nach Amtsantritt versammelte er leitende Forstbeamte und sprach in seiner Antrittsrede

über die Rolle der Forstverwaltung. Dabei bezog er sich in seinem Vortrag auch auf seine forstlichen Vorarbeiten zwanzig Jahre zuvor (SANRINKAI 1892). Jedoch wurde bereits drei Wochen später das Kabinett aufgelöst. Sano verlor sein Ministeramt und er konnte seine Ideen und Absichten nicht mehr umsetzen. Seine bis Anfang der 1880er-Jahre relevanten forstlichen Beiträge spielten dann auch später und bis heute in der forstgeschichtlichen Forschung Japans keine Rolle, was bereits INOKUMA (1966) vermerkte. Besonderen Verdienst erwarb sich Sano durch die Gründung der Philanthropischen Gesellschaft, *hakuaisha*, aus der 1887 die Japanische Rot-Kreuz Gesellschaft hervorging, deren erster Präsident Sano war (MURAKAMI 2004). Ausgezeichnet mit zahlreichen aus- und inländischen Orden und Titeln verstarb Sano 1902 in Tokio.

Dohei Ôgata (1846–1925)

Ôgata wurde 1846 in der Gemeinde Yatamura (Präfektur Okayama) geboren. In Osaka studierte er u. a. *rangaku* (Hollandwissenschaften), später dazu noch die französische Sprache. 1872 ging er nach Tokio und fand Anstellung beim Organisationsbüro für die Wiener Weltausstellung. Als Dolmetscher für Deutsch verließ er mit dem Großteil der Ausstellungsdelegation im Januar 1873 Japan mit Ziel Wien. Im September 1873 besuchte er mit Sano die Forstakademie in Mariabrunn, an der er nach dem Ende der Ausstellung bei unter anderem Marchet und Exner Forstwissenschaften studierte. Ôgata nahm an Studienreisen und Exkursionen teil, z. B. nach Salzburg oder Dachau (TANAKA & HIRAYAMA 1897). Während einer Studienreise im Sommersemester 1874 für die „Hörer des Industriecurses der k. k. Forsthochschule Mariabrunn“ unter der Leitung von Prof. Exner nach Böhmen zur Besichtigung der Holzverarbeitenden Industrie, wurden er und seine Kommilitonen am 02. Juni in Karlsbad von Sano persönlich am Bahnhof in Empfang genommen und verbrachten den Tag mit ihm im Austausch zu forstlichen Themen (SCHILLING 1875). Neben dem Wissenserwerb durch sein Studium an der Forstakademie stand er auch im Austausch mit Vertretern der Landesforstverwaltung, z. B. Oberlandforstmeister Robert Micklitz, der ihm „über den forstlichen Dienstorganismus und seine Thätigkeit“ Auskunft erteilte (Anonymous 1875, S. 53).

Ôgata kehrte im November 1874 nach Japan zurück und wurde in der Forstabteilung des Geographischen Büros beim Innenministerium angestellt, um an der Reorganisation der Staatswälder mitzuwirken (TANAKA & HIRAYAMA 1897). Ôgata war somit der erste japanische Forstbeamte, der nach einem Forststudium in Europa für die Regierung in Japan tätig wurde. Nur ein Jahr später kam mit Hazama Matsuno (1847–1905) ein in Deutschland im Forstfach ausgebildeter Experte zurück nach Japan und fand gleichfalls Anstellung beim Geographischen Büro (YAE 1896; KOBAYASHI 2010). 1876 erfolgte die erste landesweite Waldinventur, deren Planung und Vorbereitung im Wesentlichen durch Ôgata und Matsuno betrieben worden war und einen wichtigen

Meilenstein für die Modernisierung der Forstwirtschaft in Japan bedeutete. Maßgeblich beteiligt war Ôgata auch an der Gründung der beiden ersten forstlichen Vereinigungen *sanringaku kyôkai* (Vereinigung zur Forstwissenschaft) (1880–1882) und der *ringaku kyôkai* (Gesellschaft der Forstlehre), die beide regelmäßige Vortragstreffen veranstalteten und in eigenen Zeitschriften wissenschaftliche Beiträge, darunter auch Übersetzungen deutschsprachiger Aufsätze, publizierten (NAGAIKE 1975b). Durch die Gründung der *dainihon sanrinkai* (Japanischer Forstverein) 1882 verloren die beiden erstgenannten Vereinigungen zunehmend an Bedeutung und wurden nach wenigen Jahren aufgelöst. Dass Ôgata nicht zu den Gründungsmitgliedern des japanischen Forstvereins zählte (vgl. SANRINKAI 1882) und auch keine spätere Mitgliedschaft nachweisbar ist, lässt den Schluss zu, dass sein Einfluss und seine Rolle als forstlicher Experte zuvor zunehmend abgenommen hatte. Im September 1880 beendete Ôgata seine Tätigkeit in der Forstabteilung und wechselte in die Finanzabteilung der obersten Regierungsbehörde, wo er vorwiegend mit Übersetzungstätigkeiten betraut war. Ein letzter Hinweis auf seine forstliche Expertise findet sich durch die kurzfristige Berufung als Leiter des großen Forstbezirks Fukuoka, den er aber bereits nach wenigen Wochen wieder verließ, um als Beamter der Präfekturverwaltung in verschiedenen Positionen Karriere zu machen. Während sein ehemaliger Kollege Matsuno (Gründungsdirektor der ersten japanischen Forstpflanzschule in Nishigahara (1878) sowie Direktor der ersten Forstakademie in Tokio, und Gründungsvorstand des Japanischen Forstvereins, der *daihinon sanrinkai* (beides 1882) heute als der Pionier der Modernisierung der Forstwissenschaft in Japan gilt, ist die Rolle und Bedeutung Ôgatas weitgehend unbekannt (NAGAIKE 1975a), wenngleich sein forstliches Wirken in den 1870er Jahren und seine zahlreichen Veröffentlichungen in z. B. den ministeriellen Mitteilungsblättern des Innenministeriums die Modernisierung des Forstwesens in Japan entscheidend befeuerten (INOKUMA 1966).

4 Schlussfolgerung

Der ab den 1880er-Jahren deutlich schwindende Einfluss der beiden vorgestellten japanischen Vermittlerfiguren Sano und Ôgata erklärt zumindest in Teilen, warum sich der Fokus von Österreich abkehrte und in der Folge Deutschland das zentrale Land der forstlichen Wissenszirkulation wurde. Eine Vielzahl japanischer Studierender schrieb sich an deutschen Forstfakultäten ein, einige promovierten sogar. Deutsche Forstexperten erhielten von der japanischen Regierung Aufträge als Dozenten und Berater. Erst um die Jahrhundertwende lässt sich ein klarer Trend hin zum Wissensaustausch mit Österreich erkennen, der in einem direkten Zusammenhang mit der neuen Fokussierung auf das forstliche Ingenieurwesen und hierbei vor allem auf die Wildbachverbauung in Japan stand und schließlich mit der Berufung Amerigo Hofmanns das eingangs erwähnte zentrale und sichtbarste Ereignis darstellt. Zahlreiche Japaner studierten ab 1900 forstwissenschaftliche Fächer an der BOKU (Tabelle 4) oder kamen zu Studienreisen nach Österreich-Ungarn.

Tabelle 4: Japanische Forststudenten an der BOKU.

Table 4: Japanese students enrolled at the BOKU.

Table 4: Japanese students enrolled at the BOKUName	Studiendauer von - bis
KAWAI, Shitaro	WS 1900/01 - WS 1901/02
WATANABE, Otokichi	WS 1901/02 - WS 1902/03
MOCHIDA Gunjuro	SS 1904 - WS 1904/05
SHIBATA, Eikichi	SS 1904 - WS 1904/05
MIGITA, Hanshirô	WS 1904/05 - SS 1905
SATO, Shingoro	WS 1906/07 - SS 1907
MOROTO, Kitarô	SS 1909 - WS 1910/11
SHISHIDO, Otoguma	SS 1909 - WS 1909/10
KAWASHIMA, Meihachi	SS 1910 - WS 1910/11
MIYAI, Kenkichi	SS 1911 - WS 1912/13

Quelle: BOKU, Matrikellisten

Ereignisse, von denen die Österreichische Forstzeitung regelmäßig berichtete, z. B.: „Besuch aus Japan in Hallein. Im Auftrage der kaiserlich japanischen Regierung befinden sich derzeit fünf Japaner auf forstlichen Studienreisen in Europa. Einer derselben, der kaiserlich japanischen Forstrath H. Shirasawa, traf aus diesem Anlasse im März d. J. in Hallein ein, und gegenwärtig weilt der Universitätsprofessor aus Tokio, Dr. Shitaro Kawai daselbst. Neben der ärarischen Griesrechenanlage galt sein Besuch dem Schöndorfer Säge-Etablissement, der Cellulosefabrik und der Fachschule, woselbst ihn bei seinem Specialstudium ganz besonders die Werkzeuge der Holzbearbeitung interessierten. Dank der freundlichen Aufnahme, welche der interessante Gast bei den Herren Leitern, bezw. Inhabern der genannten Unternehmungen fand, ist Kawai's Befriedigung über das hier Gesehene eine volle, und stellte derselbe die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens auch der übrigen drei Herren aus Japan in Hallein in Aussicht“ (ÖFZ 1901), oder auch hier: „Ein Japaner an der Hochschule für Bodencultur. Ein absolvierter Hörer der forstlichen Abtheilung der Universität Toko besucht im heurigen Studienjahre die Hochschule für Bodencultur, wo er die specifisch forstlichen Gegenstände hört. Die weltberühmte vorzügliche Ausbildung der österreichischen Forstbeamten habe ihn, wie er sich äußert, hiezu bewogen. Es scheint, als ob sich die Hochschule für Bodencultur im Auslande einer weit größeren Popularität und Werthschätzung erfreuen würde, als im Inlande“ (ÖFZ 1902, S. 29).

Die Analyse des frühen forstlichen Austauschs von Wissen zeigt, dass die Ausgangslage mit der von Deutschland vergleichbar war. In beiden Ländern hatten erstmals Japaner an forstlichen Fakultäten studiert, offizielle Kontakte waren etabliert und japanische Übersetzungen forstlicher Literatur aus Deutschland und Österreich ver-

füßbar. Es entstand schnell ein personelles Netzwerk und der Austausch zu forstfachlichen Themen nahm zunächst bis ca. 1880 Fahrt auf. Dass bis 1905 nahezu ein Vierteljahrhundert der Austausch mit Österreich jedoch eher verhalten war, kann zu einem Großteil darauf zurückgeführt werden, dass die Vermittlerfiguren dieses Netzwerkes in Japan nicht an den Schlüsselpositionen in den Ministerien und Behörden eingesetzt waren und ihre Interessen somit nur schwer durchsetzen konnten.

Dass die Forstwirtschaft in Österreich aber zumindest doch bis dahin immer auch ein Teil des Wissensaustausches war, ließe sich anhand zahlreicher Beispiele ausarbeiten. Zu nennen wären dabei vor allem die Studienreise des Direktors der Japanischen Forstbehörde Morimasa Takei an die BOKU 1885 (Die Presse 1885), die erste Teilnahme eines japanischen Forstwissenschaftlers an einer Forstversammlung in Österreich 1888 durch Shiga Taizan, Professor an der Forstakademie Tokio (ÖVF 1888), oder die Studienreise des kaiserlichen Forstbeamten Shigeharu Murata 1900. Die Analyse dieses zeitlichen Zwischenraumes würde die Entstehungs- und Entwicklungsgeschichte der forstlichen Wissenszirkulation zwischen Japan und Österreich komplettieren. Auch eine Analyse der qualitativen und quantitativen Entwicklung der internationalen forstlichen Ausstellungsbeiträge Japans, z. B. Paris (1878), Edinburgh (1884), Chicago (1893) und wiederum Paris (1900) könnte deutlich machen, dass die Weltausstellung in Wien als Initialereignis eine wichtige Wegmarke darstellt.

Danksagung

Die Autoren danken dem Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst (MWK-BW) sowie dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) für die Realisation dieser forsthistorischen Forschung im Rahmen der Projekte „KoWald 1+2“ (MWK-BW) sowie „3Pfeile“ (BMEL).

Literatur

- ANTOINE, F. (1876a) Das Pflanzenreich auf der Wiener Weltausstellung im Jahre 1873 (Fortsetzung). In: Oesterreichische Botanische Zeitschrift. XXVI. Jahrgang. No. 7, 241-243.
- ANTOINE, F. (1876b) Das Pflanzenreich auf der Wiener Weltausstellung im Jahre 1873 (Fortsetzung). In: Oesterreichische Botanische Zeitschrift. XXVI. Jahrgang. No. 8, 271-277.
- AULITZKY, H. (1984) Das Institut für Wildbach- und Lawinenverbauung an der Universität für Bodenkultur in Wien. In: Centralblatt für das gesamte Forstwesen, Band 101, 2, 65-81
- Anonymous (1875) Mittheilungen. In: Centralblatt für das gesamte Forstwesen. 1. Jahrgang. S. 53

- CIJ (Commission Imperiale Japonaise) (1873) *Mémoire des travaux des commissions au Japon*. In: Commission Imperiale Japonaise (Hg.). Yokohama. 49-64
- CLF (Congress der Land- und Forstwirthe) (1874) *Stenographische Protokolle des ersten internationalen Congresses der Land- und Forstwirthe*. Faesy & Frick. Wien.
- DEPKAT, V. (2014) *Autobiografie und Biografie im Zeichen des Cultural Turn*. In: *Jahrbuch für Politik und Geschichte* 5, 247-265
- Die Presse (1885) *Japanesen in Wien*. In: *Die Presse*. Beilage zu Nr. 9. 38. Jahrgang. 09.01.1885. S. 9
- DUPONT, E. (1880) *Les Essences Forestieres Du Japon*. Paris. Berger – Levrault. 170 S.
- END, C; YAMAMOTO, S.; S. HEIN (2023) *Forestry Knowledge Circulation - -Dr. Heinrich Mayr and silvicultures in early modern Japan*. In: *Journal of Forest Economics*. (im Druck)
- ETZELMÜLLER, T. (2012): *Biographien*. Frankfurt. 195 S.
- EXNER, F. (1872) *Die Werkzeuge des Scheiners in China und Japan. Eine technologische Studie*. In: SCHERZER, K. (Hrsg.) *Fachmännische Berichte über die österreichisch-ungarische Expedition nach Siam, China und Japan (1868-1871)*. Stuttgart. 320-339
- EXNER, W. (1881a) *Japans Holz-Industrie*. In: *Österreichische Monatsschrift für den Orient*. Nr. 4. 55-58
- EXNER, W. (1881b) *Japans Holz-Industrie (Fortsetzung)*. In: *Österreichische Monatsschrift für den Orient*. Nr. 5. 82-85
- EXNER, W. (1881c) *Japans Holz-Industrie (Fortsetzung)*. In: *Österreichische Monatsschrift für den Orient*. Nr. 7. 118-119
- EXNER, W. (1874) *Die Werkzeugmaschinen für Holzbearbeitung*. In: K.k. Ackerbau-Ministerium (Hg.) *Die Bodencultur auf der Wiener Weltausstellung 1873. Zweiter Band. Das Forstwesen*. Faesy & Frick, Wien. 105-190
- EXNER, W. (1929) *Erlebnisse*. Springer Verlag, Berlin. 256 S.
- FISCHBACH, C. (1874) *Bericht über den internationalen Congreß der Land- und Forstwirthe in Wien 1873*. In: *Monatsschrift für das Forst- und Jagdwesen*. 49-64
- FRIEDRICH, J. (1893) *Internationaler Verband forstlicher Versuchsanstalten*. In: *Centralblatt für das gesamte Forstwesen*. 19. Jahrgang. 383-386
- GD (General-Direction) (1873a) *Welt-Ausstellung 1873 in Wien. Officieller General-Catalog*. Verlag der General-Direction. Wien
- GD (General-Direction) (1873b) *Amtliches Verzeichniss der Aussteller, welchen von der internationalen Jury Ehrenpreise zuerkannt worden sind: Weltausstellung 1873 in Wien*. Verlag der General-Direction. Wien. 572 S.
- GZ (Gemeinde-Zeitung) (1873) *Studien der Japaner in Österreich*. In: *Gemeinde-Zeitung*. 14. September 1873. S. 3.
- HEDINGER, D. (2011) *Im Wettstreit mit dem Westen. Japans Zeitalter der Ausstellungen 1854-1941*. Frankfurt, 426 S.
- HOFMANN, A. (1913) *Aus den Waldungen des fernen Ostens*. Wilhelm Frick. Wien. 225 S.
- IAZ (Internationale Ausstellungs-Zeitung) (1873a) *Forstliche Ausstellungen*. In: *Internationale Ausstellungs-Zeitung*. 24.07.1873. S. 3

- IAZ (1873b) Ausflug der Japaner. In: Internationale Ausstellungs-Zeitung. 31. Juli 1873. S. 4
- INOKUMA, T. (1966) *sano tsunetami no sanrinkansei shushihôkokusho to ôgata dohei no sanrin jiseki* (Report zur Forstorganisation von Sano Tsunetami und forstliche Spuren des Ôgata Dohei) Japanisch. In: The reference. Jahrgang 16. Band 4. 7-18.
- Ischler Cur-Liste (1874) Nr. 13. (<https://anno.onb.ac.at>)
- JAC (Japanische Ausstellungs-Commission) (1873) Catalog der Kaiserlich Japanischen Ausstellung. Verlag der Japanischen Ausstellungs-Commission. Wien. 151 S.
- JACAR (Japan Center for Asian Historical Records) A15113482500, *bankoku ringyôshikenjôkumia ni kanyû* (Beitritt zum internationalen Verband forstlicher Versuchstationen) Japanisch. In: Japan Center for Asian Historical Records (JACAR) Ref. A15113482500, Traffic, communications, and ships and vehicles; geography, land, and forest, and weather observation; police; temples and shrines; relief fund for injured or killed law enforcement personnel, Kobun Ruishu, 27th Compilation, Vol. 15 (1903) (National Archives of Japan)
- JOHANN, E.; BUCK, A.; BURGER, B.; KLEINE, M.; PRÜLLER, R.; WOLFRUM, G. (2017) 125 Years of IUFRO. History of the International Union of Forest Research Organizations 1892-2017. Wien. 128 S.
- JUDEICH, J. (1874) Land- und Forstwirtschaft. In: Centralcommission des deutschen Reiches (Hg.) Amtlicher Bericht über die Weltausstellung im Jahre 1873. Zweiter Band. Braunschweig. Vieweg und Sohn. 673-748
- KOBAYASHI, F. (2010) *meiji no roman matsuno hazama to matsuno kurara* (Hasama Matsuno und Klara Matsuno – ein Meiji Roman) Japanisch. Ozora. Tokio. 190 S.
- KREINER, J. (1976) Japanforschung in Österreich. Wien. 413 S.
- LANMAN, C. (1883) Leading men of Japan. Boston. 421 S.
- LECKIE, S. (2004) Biography Matters. Why Historians Need Well-Crafted Biographies More Than Ever. In: LLOYD E. (Hg): Writing Biography. Historians and Their Craft, Lincoln, NE, 1-26.
- LIGHTMAN, B., G. MCOUT und L. STEWART (Hg.) (2013): The Circulation of Knowledge between Britain, India and China. London. 339 S.
- LORENZ-LIBURNAU, H. v. (1896) Über die Forstwirtschaft Japans. In: Österreichische Vierteljahrschrift für Forstwesen. 14. Jahrgang. S. 190-193
- LOTZ, C. (2018) Nachhaltigkeit neu skalieren. Köln. 359 S.
- LÜSEBRINK, H. (2001) Kulturtransfer – methodisches Modell und Anwendungsperspektiven. In: TÖMMEL, I. (Hg.) Europäische Integration als Prozess von Angleichung und Differenzierung. 213-226
- LW (Leitmeritzer Wochenblatt) (1873) Studien der Japanesen in Oesterreich. In: Leitmeritzer Wochenblatt, 01.10.1873, S. 593
- MICKLITZ, R. (1874) Die Forstwirtschaft. In: K.k. Ackerbau-Ministerium (Hg.) Die Bodencultur auf der Wiener Weltausstellung 1873. Zweiter Band. Das Forstwesen. Wien. Faesy & Frick, 1-101
- MOSER, M. (1872) Fotoalbum mit Exponaten des japanischen Pavillons auf der Weltausstellung 1873. Österreichische Nationalbibliothek. Signatur Sk3239, 5 POR MAG

- MURAKAMI, M. (2004) *nihon akajisha no setsuritsukata, sano tsunetami* (Sano Tsunetami, Gründer des japanischen Roten Kreuz) Japanisch. In: Structure and Function. Volume 2 (2003-2004), 35-38
- NAGAIKE T. (1975a) *matsuno hazama to ôgata dôhei jô* (Matsuno Hazama und Ôgata Dohei, Teil 1) Japanisch. In: Forest Economy. Jahrgang 28, Nummer 10. 16-25. DOI: https://doi.org/10.19013/rinrin.28.10_16
- NAGAIKE T. (1975b) *matsuno hazama to ôgata dôhei ka* (Matsuno Hazama und Ôgata Dohei, Teil 2) Japanisch. In: Forest Economy. Jahrgang 28, Nummer 11. 11-17. DOI: https://doi.org/10.19013/rinrin.28.11_11
- NFP (Neue Freie Presse) (1875) Personal-Nachrichten. In: Neue Freie Presse. Nr. 3762. S.1
- NFP (1913) "Aus den Waldungen des fernen Ostens". In: Neue Freie Presse. Nr. 17677. 40-41
- NIZ (Neue Illustrierte Zeitung) (1874), II. Band. Nummer 32. S.11
- NISHIMOTO, H. (2018) Condition of the education on SABO in the incipient period of modern SABO. Japanisch. In: Sabogakushi. Vol 70. No. 5, S. 15-23
- ÖFZ (Österreichische Forstzeitung) (1901) Besuch aus Japan in Hallein. In: Österreichische Forst-Zeitung. 19. Jahrgang. Nr. 31. S. 5
- ÖFZ (1902) Ein Japaner an der Hochschule für Bodencultur. In: Oesterreichische Forst- und Jagdzeitung. 20. Jahrgang. Nr. 4. S. 29
- ÖFZ (1904) Berufung eines österreichischen Forsttechnikers nach Japan. In: Oesterreichische Forst- und Jagdzeitung. 22. Jahrgang. Nr. 6. S. 45
- ÖFZ (1916) Dr. Gustav Marchet. In: Österreichische Forst- und Jagd-Zeitung. 34. Jahrgang. Nr. 18. 1-2
- ÖVF (Österreichische Vierteljahresschrift für Forstwesen) (1888) Die 31. Generalversammlung des Forstvereins für Oesterreich ob der Enns. In: Österreichische Vierteljahresschrift für Forstwesen. VI. Band. S. 254-257
- ÔGATA, D. (1875) *ôkoku tenrankai hôkokusho sanrinbu* (Bereicht zur Weltausstellung in Österreich – Teil zur Forstwirtschaft). Japanisch. Ôkukutenrainkai jimukyoku (Hg.) (Büro zur Weltausstellung in Österreich. Tokio.
- PANTZER, P. (1973) Japans Weg nach Wien – Auftakt und Folgen. In: FUX, H. (Hg.) Japan auf der Weltausstellung in Wien 1873. Wien, 98 S.
- REIN, J. (1881) Japan nach Reisen und Studien. Band 1. Leipzig. Engelmann. 618 S.
- SAKAMOTO, H. (2007) Relationship between the Japanese Exhibits at the Philadelphia International Exhibition of 1876 and the Vienna World Exhibition of 1873. Japanisch. In: The 54th Annual Conference of JSSD. DOI: <https://doi.org/10.11247/jssd.54.0.B07.0>, 15 S.
- SANRINKAI (1882) *senkyokai* (Vorstandswahlen) Japanisch. In: sanrin. Band 1. 6-7
- SANRINKAI (1892) *sano nôshô mudijin no enzetsu* (Rede von Ackerbauminister Sano) Japanisch. In: sanrin. Band 115. 50-51
- SARASIN, P. (2011): Was ist Wissensgeschichte? In: Internationales Archiv für Sozialgeschichte der deutschen Literatur. Vol. 36, No. 1, 159-172
- SCHILLING, C. (1875) Studienreise der Hörer des Industriecurses der k. k. Forsthochschule Mariabrunn (Schluß). In: Centralblatt für das gesamte Forstwesen. 1. Jahrgang. 355-364

- SCHWEIGER, H. (2009): Biographiewürdigkeit. In: KLEIN, C. (Hg.): Handbuch Biographie: Methoden, Tradition, Theorien. Stuttgart. 32-36
- STAHNCKE, H. (2000) Preußens Weg nach Japan. Japan in den Berichten von Mitgliedern der preußischen Ostasienexpedition 1860-61. München. ludicum. 262 S.
- SYRSKI, S. (1872) Landwirtschaft in Japan. In: SCHERZER, K. (Hg.) Fachmännische Berichte über die österreichisch-ungarische Expedition nach Siam, China und Japan. Stuttgart. Julius Maier Verlag. 175-227
- SYRUCZEK, E. (1853) Das Forstgesetz vom 3. Dezember 1852 und die bestehenden Jagd-Gesetze. Rumburg. 108 S.
- TANAKA, F. und S. HIRAYAMA (1897) *ôkoku hakurankai sandô kiyô* (Aufzeichnungen zur Teilnahme an der Weltausstellung in Österreich). Japanisch. Tokio. 215 S.
- Welt-Blatt (1874) Der japanische Ministerresident. Jahrgang 1874. Nr. 175. S.
- WWZ (1873) (Wiener Weltausstellungs-Zeitung) Nr. 267, Ausgabe vom 02.10.1873, S.3
- WZ (Wiener Zeitung) (1873) Weltausstellung 1873 in Wien. In: Wiener Zeitung, Nr. 95. Ausgabe vom 23.04.1873, S. 395
- YAE, M. (1896) *meiji ringyô no hottan* (Der Ursprung der Meiji- Forstwirtschaft) Japanisch. In: sanrin. Band. 157. S. 14-36
- YOKOI, T. (1898) *nihon kôgyôshi* (Die Industriegeschichte Japans). Japanisch. Tokio. 360 S.
- ZWANZIGER, G. (1874) Thiere, Pflanzen und Steine auf der Weltausstellung. VIII. China, Formosa, Philippinen. – Japan, Siam, Hawaii. In: Carinthia I-64: 292-300

Guidelines for publication

1. Only original, unpublished work is accepted.
2. Manuscripts must be written double-spaced, one sided and ready for printing. For literature quotations, use the name of the author and year (in parentheses) in the text, and arrange the list at the end of the work alphabetically.
3. Original contributions should be arranged as follows: 1) Title of the manuscript in German and English; 2) by: Given names and surname of the author(s); 3) Key words: 3-6 terms; 4) Summary (English and German - Zusammenfassung); text of the article, literature, adress of the author (the authors). 5) An explanatory capture text in English and German should be given for all tables and Figures.
4. All figures must be provided in electronic form and as a printed copy (photos on good paper) using a separate sheet. The text for the Figures must be on a separate sheet, and sequentially numbered.
5. After the review process, and the final approval by the editor in chief the author(s) receives galley proofs for final minor corrections. Only setting (typing) errors can be corrected at this stage.
6. Each author of an original article receives 20 off prints free of charge. Further copies can be ordered at the author(s) expense.

Richtlinien zur Veröffentlichung

1. Es werden nur Originalarbeiten angenommen.
2. Die Manuskripte müssen druckreif zweizeilig geschrieben sein; jedes Blatt nur einseitig beschreiben! Literaturzitate sind im Text mit dem Namen des Autors und in Klammern beigefügter Jahreszahl anzuführen und am Ende der Arbeit alphabetisch geordnet zusammenzustellen.
3. Die Gliederung der Originalbeiträge ist wie folgt zu gestalten: 1) Titel der Arbeit in Deutsch und Englisch; 2) von: Vor- und Zuname des Autors (der Autoren) Oxfordklassifikation; 3) Schlagwörter: 3-6 Begriffe, Key words: 3-6; 4) Zusammenfassung, Summary, Text, Literatur, Anschrift des Verfasser (der Verfasser). 5) Den Tabellen, Übersichten und Abbildungen ist ein erklärender Text in deutscher und in englischer Sprache beizufügen.
4. Die Vorlagen für die Abbildungen sind in reproduktionsfähigem Zustand (Fotos auf Hochglanzpapier) auf besonderen Blättern einzusenden, ebenso sind die Erklärungen der Abbildungen auf einem getrennten Blatt, fortlaufend nummeriert, beizuschließen.
5. Von den Arbeiten erhält der Autor Korrekturabzüge. In den Korrekturbogen dürfen nur mehr Satzfehler berichtigt werden.
6. Jeder Autor einer Originalarbeit erhält kostenlos 20 Sonderdrucke. Darüber hinaus benötigte Sonderdrucke müssen bei der Rücksendung der Korrekturabzüge bestellt werden. Die Kosten hierfür sind vorher beim Verlag zu erfragen.

Please send your manuscript (3 copies) to:

Manuskriptsendungen in dreifacher Ausführung sind erbeten an:

Univ.-Prof. Dr. Hubert Hasenauer

Centralblatt für das gesamte Forstwesen

Institut für Waldbau,

Peter-Jordan-Straße 82,

A-1190 Wien.

