

Publizierbarer Endbericht

Gilt für Studien aus der Programmlinie Forschung

A) Projektdaten

Allgemeines zum Projekt	
Kurztitel:	MoreSeedsAdapt
Langtitel:	Modelling the requirements of forest seeds and seedling provision for sustainable forest adaptation to climate change for meeting future raw material demand Abschätzung von Bedarf und Angebot an forstlichem Vermehrungsgut zur Anpassung einer nachhaltigen Forstwirtschaft an den Klimawandel
Zitiervorschlag:	Schueler, S., Braun, M., Zolles, A., Dobes, C., Hessler, F., Schwarzbauer, P., Lapin, K. (2021) Modelling the requirements of forest seeds and seedling provision for sustainable forest adaptation to climate change for meeting future raw material demand – An ACRP project 2017-2019.
Programm inkl. Jahr:	ACRP Programm 9. Call, 2016
Dauer:	3 Jahre (2017-2020)
KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:	Dr. Silvio Schüller Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft
Kontaktperson Name:	Dr. Silvio Schüller
Kontaktperson Adresse:	Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft Institut für Waldwachstum und Waldbau, Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien, Österreich
Kontaktperson Telefon:	+43-(0)1-87838/2228
Kontaktperson E-Mail:	silvio.schueler@bfw.gv.at
Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):	• Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Marketing und Innovation, Wien • Kompetenzzentrum Holz GmbH, Linz, Oberösterreich

Allgemeines zum Projekt	
Schlagwörter:	Forest seed production, Climate Change adaptation, seed harvest, seed demand <i>Forstsaatgutproduktion, Anpassung an den Klimawandel, Saatguternte, Saatgutnachfrage</i>
Projektgesamtkosten:	252.889,00 €
Fördersumme:	216.009,00 €
Klimafonds-Nr:	KR16AC0K13339
Erstellt am:	16.07.2021

B) Projektübersicht

1 Kurzfassung

Kunstverjüngung durch Pflanzungen erbringen verschiedene Ökosystemleistungen. Insbesondere die Produktion von Setzlingen in Baumschulen spielt eine wichtige Rolle zur Unterstützung einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung und zur Anpassung des forstbasierten Sektors an den Klimawandel, um dessen Auswirkungen abzuschwächen. Der Klimawandel wird die Standortbedingungen der heutigen Baumarten in alpinen Regionen stark beeinflussen, wie z.B. durch veränderte Niederschlagsmuster und Trockenheit, und birgt dadurch Risiken für die Wälder, sowie die damit verbundene Versorgung des Sektors. Um diesen Risiken für die Ökosystemleistungen entgegenzuwirken, muss die Anpflanzung verschiedener Baumarten und Provenienzen, die besser an den erwarteten zukünftigen Umweltzustand angepasst sind, in Betracht gezogen werden.

Für sieben einheimische Baumarten wurden Daten zur Mast und Saatguternte von 1960 bis 2016 gesammelt und analysiert. Das Verständnis der Reaktionen dieser bestandesbildenden Baumarten auf rasche Umweltveränderungen ist eine große Herausforderung für die Waldbewirtschaftung. Einen Untersuchungsschwerpunkt stellt der Zusammenhang zwischen den lokalen Klimabedingungen und einem gleichzeitigen Auftreten großer Mengen von Früchten und Samen in unregelmäßigen Abständen (Mast) dar.

In der vorliegenden Studie wurden die wichtigsten Klimavariablen, welche die sehr variable Blüte und Saatgutproduktion von Bäumen beeinflussen identifiziert, um die zukünftige Saatgutproduktion zu modellieren. Dafür wurden die Berichte über die Mast von 1962 - 1995 für acht standortbildende Baumarten in Österreich analysiert. Regressionsanalysen und multivariate Techniken wurden angewandt, um herauszufinden, ob Mast mit klimatischen Variablen assoziiert werden kann.

Um den Bedarf an Waldpflanzungen von Schlüsselbaumarten abzuschätzen, wurden die wichtigsten klimatischen Faktoren, die die variable Saatgutproduktion beeinflussen, für vier Waldanpassungsstrategien untersucht (1) ein Business-as-usual-Szenario, (2) die natürliche Verjüngung, (3) die unterstützte Migration und (4) der unterstützte Genfluss. Ziel war es, die Auswirkungen dieser Strategien auf die sieben untersuchten Baumarten sowie den Verlust oder Gewinn von Waldfläche für jede einzelne Baumart zu bestimmen. Zusätzlich wurde ein ökonometrisches Modell unter Einbeziehung relevanter forstwirtschaftlicher Daten (Holzeinschlag, Totholz, Schnittholzpreise der Holzsortimente) sowie Daten zur wirtschaftlichen Entwicklung und zu Forstbaumschulen formuliert. Diese soll den historischen Sämlingsbedarf erklären und den zukünftigen Sämlingsbedarf in Österreich abschätzen.

Die wichtigsten klimatischen Bedingungen und Faktoren, welche die Reproduktionseigenschaften der Baumarten beeinflussen, wurden bestimmt. Das Auftreten von Masten wurde für jede Baumart auf Bezirksebene geclustert und kartiert, um die Anwendung von Vorhersagemodellen für alle österreichischen Regionen zu ermöglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass die klimatischen Variablen, die die Mastbildung beeinflussen, zwischen den Arten und geographischen Gebieten variieren und dass auch die Seehöhe die Samenproduktion beeinflusst. Für alle wichtigen Baumarten wurde eine heterogene räumliche Verteilung von Regionen mit Mastereignissen gefunden.

Gegenwärtige und zukünftige Verbreitungsgebiete wurden auf Basis von Artenverteilungsmodellen aus früheren Projekten sowohl für die einheimischen Baumarten als auch für die nicht einheimische Douglasie geschätzt. Unser Ansatz zielt darauf ab, den jährlichen Verjüngungsbedarf und den Forstpflanzen-Bedarf unter Berücksichtigung der durchschnittlichen Altersklassenverteilung der österreichischen Wälder unter sich ändernden klimatischen Bedingungen zu ermitteln. In Kombination mit dem ökonometrischen Modell können Prognosen für den zukünftigen Samenertrag erstellt und neue geeignete Aufforstungsflächen für jede Art bestimmt werden.

Die Forstbaumschulen sind derzeit aufgrund der 1- bis 4-jährigen Verzögerung zwischen dem Beginn des Produktionsprozesses und der Vermarktung der Sämlinge mit einem hohen Maß an Unsicherheit im Produktionsprozess konfrontiert. Unsere Ergebnisse können dazu beitragen, diese Risiken zu minimieren und ein ausreichendes Pflanzenangebot zur Deckung der zukünftigen Nachfrage bereitzustellen. Auch unterstützen die Ergebnisse der Entwicklung von transnationalen Strategien zur Anpassung an den Klimawandel, um zukünftige Waldökosystemleistungen in Österreich und Mitteleuropa zu sichern.



Berg-Ahorn: *Acer pseudoplatanus*: Sycamore maple



Rotbuche: *Fagus sylvatica*: European beech



Zirbe: *Picea abies*: Spruce

2 Executive Summary

Forest plantations provide various ecosystem services. Forest seedling production in nurseries in particular plays an important role in ecosystem service management to support sustainable forest management and facilitate adaption to and mitigate the effects of climate change in the forest-based sector. Climate change will considerably affect environmental conditions that heavily affect tree species in alpine regions, i.e. precipitation patterns, and thereby generating risks for forests and the forest-based sector. To address these risks for ecosystem services, planting of different tree species and provenances better adapted to the expected future environmental condition must be considered.

Historical data on mast seeding and seed harvest from 1960 to 2016 were collected and analysed for seven native tree species. Understanding the responses of stand-forming trees to rapid environmental changes has become a major challenge for forest management. In particular, we aim to investigate the link between local climate conditions and the synchronised occurrence of large amounts of fruits and seeds at irregular intervals (mast seeding). In this study we identified the key climatic variables affecting the highly variable flowering and seed production of trees in order to model the future seed production. We analysed reports on mast seeding from 1962 - 1995 for eight stand-forming tree species in Austria. We performed regression analyses and multivariate techniques to find out whether mast is associated with climatic variables.

In order to estimate the need for forest plantations of key tree species, the most important climatic factors affecting variable seed production were investigated for four forest adaptation strategies (1) a business-as-usual scenario, (2) natural regeneration, (3) assisted migration, and (4) assisted gene flow. The goal was to determine the effects of these strategies of the seven investigated tree species as well as the loss or gain of forest area for each single species. In addition, an econometric model including relevant forestry data (logging activity, deadwood, and timber prices of wood assortments) was developed. Further, data on economic development and forest nurseries was formulated to explain historical seedling demand and to estimate future demand for forest seedlings in Austria.

The main climatic conditions and regimes affecting their reproductive features were determined and the occurrence of mast fruiting in each species was clustered and mapped at district level to allow the application of predictive models for all Austrian regions. The results show that the climatic variables affecting masting vary between species and geographical areas and that elevation likewise influences seed production. A heterogeneous distribution of mast fruiting clusters was found for all key tree species. Forest seed producers and forest nurseries are key stakeholders for the implementation of adaptation measures to reliably meet forest seed and seedling demand.

Present and future distribution ranges, however, were estimated on basis of species distribution models from previous projects for the native tree species as well as of the non-native Douglas fir. Our approach aims to determine the annual

regeneration requirement and seedling demand considering the average age-class distribution of Austrian forests under changing climatic conditions. In combination with the econometric model, predictions for future seed yield can be made and new suitable plantation areas for each species determined. Since producers of tree seedlings currently face high degree of uncertainty in production process owing to the 1-year to 4-year lag between the beginning of the production process and marketing of the seedlings, our results will help to minimize production risks and provide a sufficient supply to cover future demand on the market for seedlings. The results will also help to develop transnational climate change adaptation strategies to ensure future forest ecosystem services in Austria and Central Europe.



Westliche Lärche: *Larix laricina* Glauk fir



Douglasie: *Pseudotsuga menziesii* Douglas fir



Gemeine Fichte: *Picea abies* Norway spruce



Waldkiefer: *Pinus sylvestris* Scots pine



Europäische Lärche: *Larix laricina* European larch

MORE
SEEDS
ADAPT

3 Hintergrund und Zielsetzung

3.1 Klimawandel verändert Bedarf und Angebot

Es gilt als wissenschaftlich gesichert, dass sich die Baumartenzusammensetzungen unserer Wälder in den nächsten Jahrzehnten drastisch verändern werden, da der Klimawandel zu starken Veränderungen der Standortverhältnisse führen wird. Die Samenproduktion der meisten Baumarten, die die Verjüngungsprozesse wesentlich beeinflusst, weist beachtliche saisonale und standortsbedingte Schwankungen auf und ist abhängig von den Wetterbedingungen des jeweiligen Reifejahres bzw. des vorangegangenen Jahres.

Eine wesentliche Anpassungsmaßnahme von Förster*innen sowie Waldbesitzer*innen diesen Veränderungen zu begegnen und die Stabilität von Waldökosystemen zu erhalten, ist die Verwendung anderer Baumarten oder Samenherkünfte, die besser an zukünftige Verhältnisse angepasst sind bzw. ein höheres Anpassungspotential besitzen. Derartige Maßnahmen erfordern langfristige Änderungen in der Saatgut- und der Forstpflanzenproduktion. Neben der natürlichen Begrenzung der Samenproduktion ist der Saatgutbedarf darüber hinaus von zahlreichen ökonomischen Faktoren (z.B. Holzmärkte) und politischen Rahmenbedingungen abhängig.

3.2. Klimabedingte Veränderungen des Mastverhaltens

In Österreich liefern mehr als 120 Baumschulen Pflanzenmaterial für die Waldverjüngung. Das Saatgut für den Forstpflanzenanbau stammt aus Samenernten in speziellen, gesetzlich genehmigten "Saatgutbeständen" oder in "Forstsamenplantagen". Da Samenplantagen meist Genotypen mit hoher Produktivität und günstigen Wachstumseigenschaften enthalten, können sie auch zur Züchtung und genetischen Verbesserung bezüglich höherer Produktivität und/oder besserer Widerstandsfähigkeit gegenüber klimatischen Extremen genutzt werden. Die Einrichtung von Samenplantagen erfordert langfristige Investitionen und einen langfristigen Ausblick auf zukünftige Märkte für Sämlinge, um solche Ausgaben zu sichern, da die erste marktfähige Samenproduktion von Forstsamenplantagen erst nach 8-15 Jahren erwartet werden kann.

Die Menge des von Bäumen aus gemäßigten Zonen produzierten Saatguts, sei es in Saatgutbeständen oder in Saatgutplantagen, unterliegt starken jährlichen Schwankungen und hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, darunter langfristige ökologische Standortbedingungen, Wetterbedingungen während und vor dem Jahr der Saatgutreife und extreme Wetterbedingungen, die die Entwicklung der Fortpflanzungsorgane stören.

Ziel des Projektes ist es, die natürlichen Prozesse zu verstehen und den Einfluss der Klimaveränderungen auf die Samenproduktion der heimischen Baumarten zu untersuchen.

3.3. MoreSeeds – nachhaltige Forstwirtschaft fördern

Zu den Zielen des Projektes gehörten die Identifizierung der wichtigsten Klimafaktoren, welche die variable Samenproduktion bedingen, sowie eine Abschätzung des Bedarfs an Forstpflanzen unter verschiedenen Anpassungsstrategien für die wichtigsten Baumarten in Österreich.

In Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrum Holz sowie der BOKU wurde zudem eine Analyse der ökonomischen und sozioökonomischen Einflussfaktoren auf die Forstpflanzenproduktion erstellt und Szenarien für die zukünftige Forstpflanzenproduktion auf Basis des erwarteten Bedarfs an Forstpflanzen und des möglichen Angebots an Saatgut entwickelt. Der interdisziplinäre Ansatz des Projektes ermöglichte es quantitative und qualitative Ergebnisse auf verschiedenen zeitlichen Skalen zur Entwicklung des Klimas, der nationalen Ökonomie sowie der politischen Rahmenbedingungen zu liefern, sowie einen wichtigen wissenschaftlichen Beitrag zum Thema Saatgutproduktion von Hauptbaumarten im Alpenraum und deren Anpassungsstrategien an den Klimawandel.

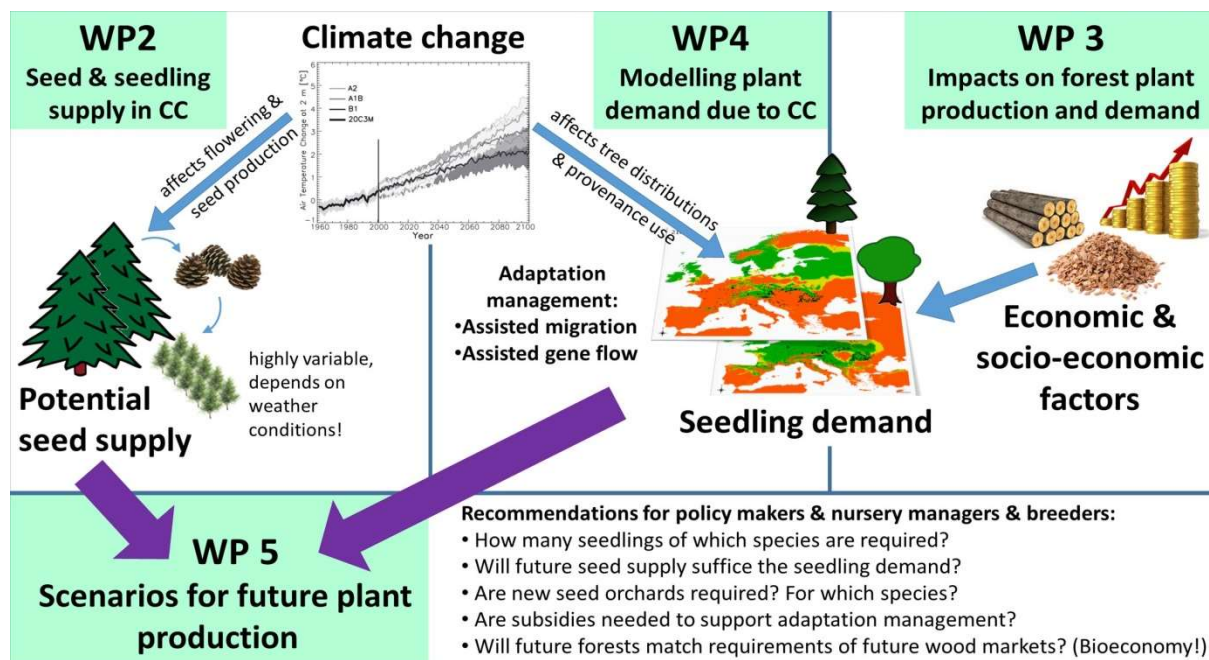


Abb. 1. Darstellung der Arbeitspakete und Schwerpunkte des Projektes.

4 Projektinhalt und Ergebnis(se)

4.1 Räumliche und zeitliche Veränderungen der Mastereignisse

Wir analysierten die Berichte über die Mastereignisse von 1962 - 1995 für acht bestandsbildende Baumarten in Österreich (Abb. 2, Tabelle 1). Regressionsanalysen und multivariate Techniken wurden eingesetzt, um herauszufinden, ob die Mast mit klimatischen Variablen assoziiert ist. Wir beobachteten signifikante Veränderungen in der Anzahl der Mastbeobachtungen innerhalb der untersuchten Zeitspanne. Für alle acht untersuchten Baumarten stieg die Häufigkeit von Mastereignissen im Zeitraum von 1962 bis 1995.

Die Regressionsparameter zeigen eine Zunahme der Mastwahrscheinlichkeit um 6% in 10 Jahren für *Abies alba*, 2% für *Picea abies*, 3% für *Larix decidua*, 4% für *Pinus sylvestris*, 4% für *Pinus cembra*, 8% für *Fagus sylvatica*, 5% für *Quercus robur* L. und 6% für *Quercus petraea*. Die meisten Mastbeobachtungen wurden für die Höhenstufe 1 (n=12.137) gemeldet, gefolgt von der Höhenstufe 2 (n= 6.858) und der Höhenstufe 3 (n= 3.589). Die Abhängigkeit der Mastsaat, analysiert nach Höhenklasse, zeigte keine signifikanten Unterschiede.

Die Mastwahrscheinlichkeit für *Pinus sylvestris*, *Larix decidua*, *Fagus sylvatica* nimmt mit der Seehöhe ab, während die Mastwahrscheinlichkeit für *Pinus cembra* in höheren Lagen zunimmt (Abb. 3). Die Mastwahrscheinlichkeit für *Picea abies* und *Abies alba* ändert sich unter den Höhenstufen nicht signifikant (Abb. 3 und 4). Beobachtungen wurden für *Quercus petraea* in der Höhenklasse 2 gemacht. Die Mastwahrscheinlichkeit für *Q. petraea* und *Q. robur* unterschied sich nicht zwischen den Höhenstufen 0 (bis 900m) und 1 (900m bis 1500m). Die Ergebnisse der Vorhersagemodelle zeigen, dass die klimatischen Variablen die Variation zwischen Arten und geographischen Gebieten beeinflussen.

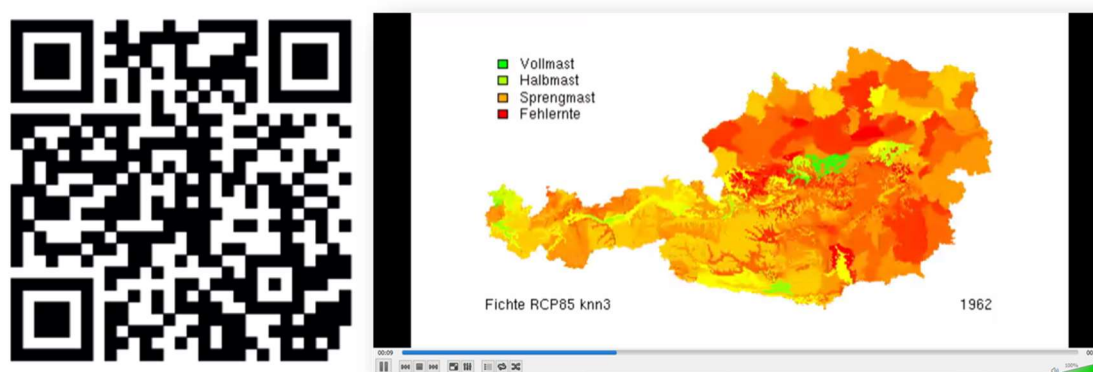


Abb. 2. Video der Mastereignisse der Fichte: abzurufen über den QR Code und den Link: <https://www.youtube.com/watch?v=WupJoP65zEI>

Tabelle 1. Übersicht der untersuchten Baumarten.

Artname	Baumart	Familie	Fläche	±	ha	Fläche (%)	Anzahl der Beobachtungen
<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.	Fichte	Pinaceae	1646	±	41	49,2	6380
<i>Larix decidua</i> Mill.	Lärche	Pinaceae	149	±	9	4,4	4457
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Weißkiefer	Pinaceae	138	±	10	4,1	3020
<i>Abies alba</i> Mill.	Tanne	Pinaceae	82	±	6	2,5	3977
<i>Pinus cembra</i> L.	Zirbe	Pinaceae	12	±	2	0,4	793
<i>Fagus sylvatica</i> L.	Rotbuche	Fagaceae	342	±	17	10,2	2139
<i>Quercus robur</i> L.	Steileiche	Fagaceae	69	±	7	2,1	1046
<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.	Traubeneiche	Fagaceae					772

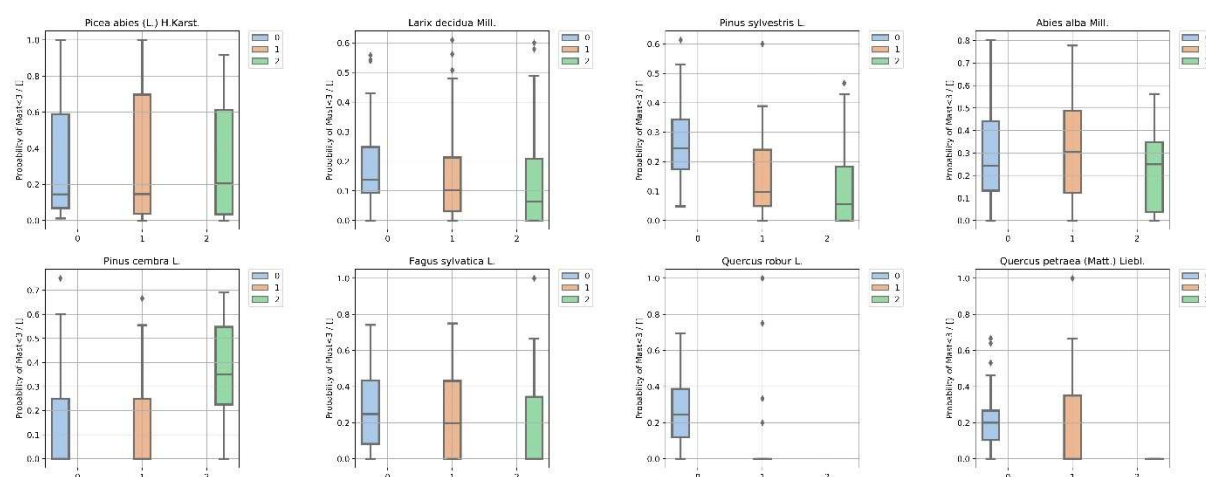
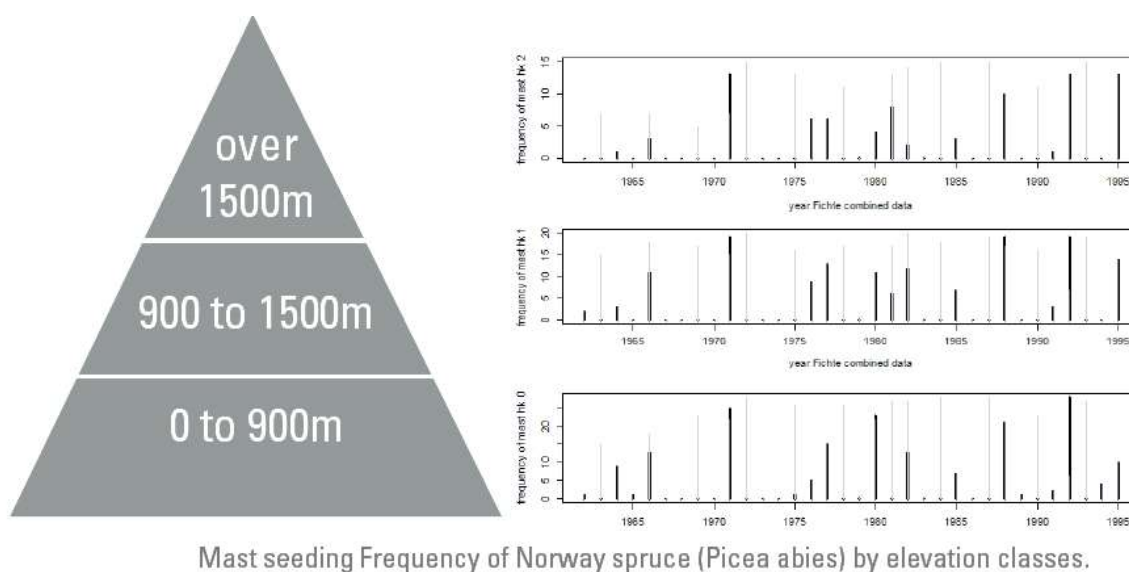


Abb. 3. Balkendiagramme, die die Mastwahrscheinlichkeit (Mastkategorie < 3) nach Höhenklassen zeigen: 0 = < 900m, 1 = 900 bis 1500m und 2 = > 1500m über dem Meeresspiegel, Linien für die Fichte (*Picea abies*), Weißtanne (*Abies alba*), Europäische Lärche (*Larix decidua*), Waldkiefer (*Pinus sylvestris*), Zirbelkiefer (*Pinus cembra*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*), Steileiche und Traubeneiche (*Quercus robur*, *Quercus petraea*) in Österreich in den 33 Jahren von 1962 bis 1995.



Mast seeding Frequency of Norway spruce (*Picea abies*) by elevation classes.

Abb. 4. Die Darstellung der Frequenz der Mastereignisse der Fichte nach Höhenstufen in Österreich in den 33 Jahren von 1962 bis 1995.

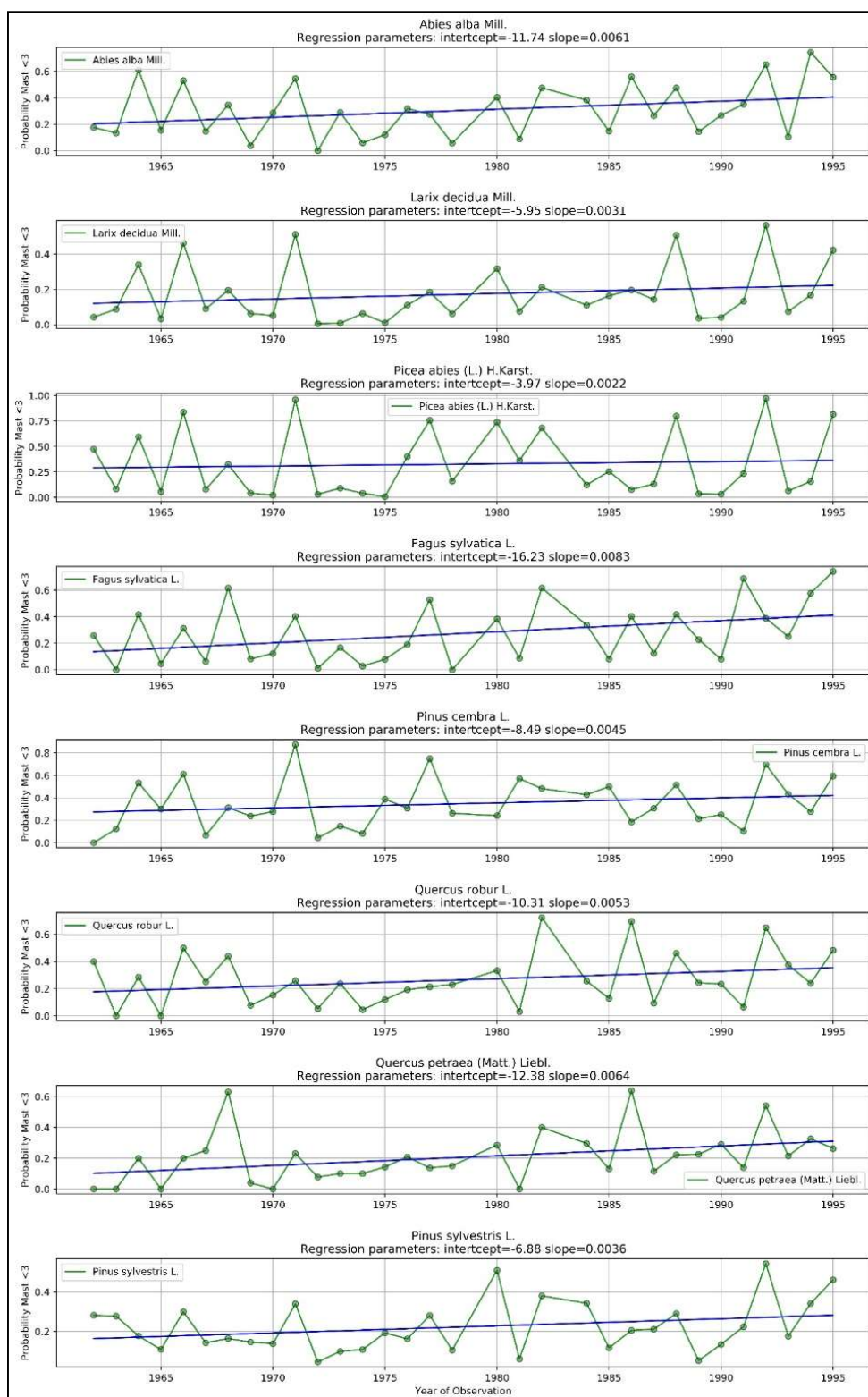


Abb. 5. Die Zeitreihen für die Wahrscheinlichkeit der Mastereignisse und ihre Regressionslinien für die Fichte (*Picea abies*), Weißtanne (*Abies alba*), Lärche (*Larix decidua*), Waldkiefer (*Pinus sylvestris*), Zirbelkiefer (*Pinus cembra*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*), Stieleiche und Traubeneiche (*Quercus robur*, *Quercus petraea*) in Österreich über den Zeitraum von 33 Jahren von 1962 bis 1995.

4.1 Zukunftsmodelle für die Mast und Samenqualität

Wir identifizierten die wichtigsten klimatischen Merkmale. Nachdem die Hauptmerkmale identifiziert waren, entwickelten wir Prognosemodelle der potentiellen Saatgutproduktion für die Baumarten und wandten sie auf die österreichischen Ökoregionen (Wuchsgebiete) und Höhenlagen des Untersuchungsgebietes unter Verwendung regionalisierter CC-Szenarien (RCP 4.5 und RCP 8.5) an. Für diese CC-Szenarien wurden skalierte Representationen der Modelle MPI-ESM-LR / RCA sowohl für RCP 8.5 als auch für RCP4.5 verwendet.

Die Vorhersage der Saatgutmenge (Mast) unter RCP 4.5 und RCP 8.5 zeigte regionale Unterschiede in der artspezifischen Reaktion (Abb. 6). Die Modelle sagten für die Baumarten *P. sylvestris*, *P. abies* und *F. sylvatica* eine Zunahme des Mastsaatereignisse voraus. Für die Baumarten *A. alba*, *L. decidua*, *Q. robur*, *P. cembra* und *Q. petraea* sind die Vorhersagen für die Mastsaat inhomogen und variieren regional. Ein deutlicher Rückgang der Mastsaat wurde bei keiner Art festgestellt.

Auch die Vorhersage der Saatgutqualität (Keimfähigkeit) unter RCP 4.5 wies regionale Unterschiede in der artspezifischen Reaktion auf. Die Modelle sagten für die Baumarten *P. cembra* und *Q. robur* eine Zunahme der Keimfähigkeit voraus. Für die Baumart *P. sylvestris* sind die Vorhersagen zur Keimfähigkeit inhomogen und variieren auf regionaler Ebene. Für die Baumarten *P. abies*, *A. alba* sagten die Modelle eine Abnahme der Keimfähigkeit voraus. Für die anderen Arten fehlte den Vorhersagen eine valide Datengrundlage.

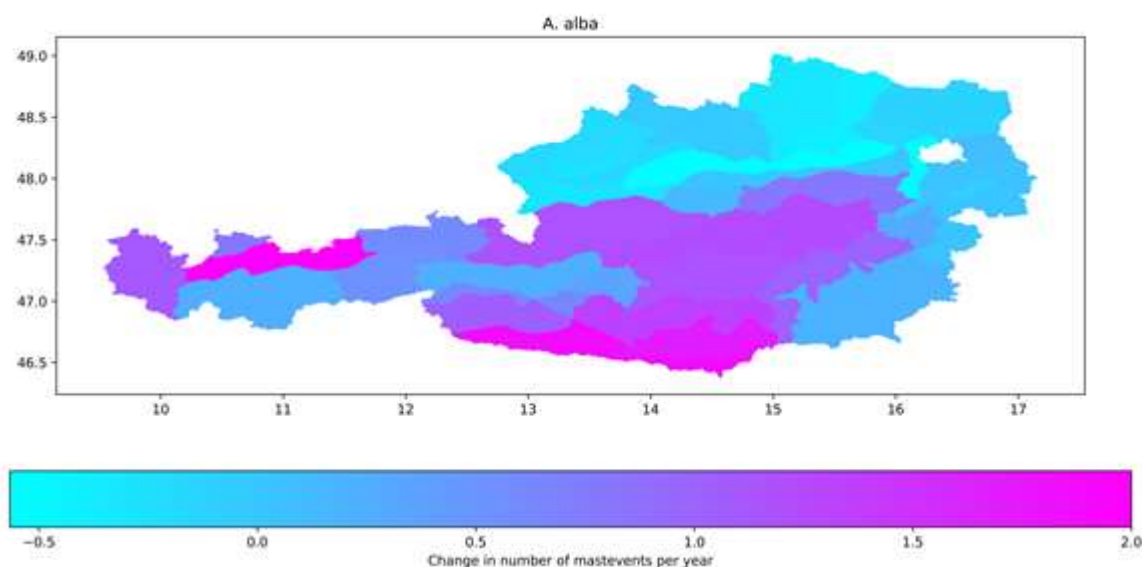


Abb. 6. Karte des Untersuchungsgebietes (Österreich), die die prognostizierte Entwicklung des Mastsaatpotenzials (RCP4.5) für *Abies alba* zeigt. Die Vorhersagen für die Tanne (*A. alba*) sind inhomogen und variieren von Region zu Region (Wuchsgebiete).

4.2 Auswirkungen auf Forstpflanzenproduktion und Nachfrage

Bei den Produktionszahlen für Forstpflanzen lässt sich seit den 1990er Jahren ein rückläufiger Trend, sowohl bei Nadel- als auch bei Laubholzarten, beobachten. Zwischen 1991 und 2011 zeigte sich ein Rückgang von 34% bei Nadel- und 43% bei Laubholzsämlingen. Diese Trends lassen sich auf mehrere Gründe zurückführen: Holzeinschlag, Holzpreise, Saatgutversorgung und die makroökonomische Situation sind mögliche Treiber, die im Rahmen dieses Forschungsprojekts untersucht wurden. Darüber hinaus können verschiedene Trends, die sich auf die Nachfrage nach Sämlingen auswirken, nicht quantifiziert werden. Kahlschlag wurde zunehmend durch Einzelstammentnahmen ersetzt.

Dieser Wandel in der Waldbewirtschaftungspraxis mit einer Verlagerung hin zur natürlichen Regeneration senkt die Nachfrage nach Forstpflanzen (Sämlingen). Darüber hinaus zeigen die Produktions- und Verkaufsmengen der Fichte seit 1991 einen rückläufigen Trend. Da die Gemeine Fichte von allen Arten mit Abstand die höchsten Produktionsmengen aufweist, ist der Rückgang bei Nadelholzsämlingen vermutlich geringer als in den Produktionszahlen dargestellt, aber immer noch vorhanden. Der Gesamtanteil der Fichte an den österreichischen Wäldern ist seit den 1980er Jahren nur geringfügig zurückgegangen (von 62% auf 60% bei der letzten Waldinventur 2007/09). Reine Fichtenbestände waren besonders von Sturmschäden wie in den Jahren 2007 und 2008 (Russ, 2011) und Borkenkäferbefall betroffen. Der Rückgang der Fichtenreinbestände von 44% auf 38% in den letzten Jahrzehnten (von 1992/96 bis 2007/09) zeigt jedoch, dass sich die Fichte zunehmend auf Mischbestände verteilt (Büchsenmeister, 2013). Der konstante Anteil der Fichte in den österreichischen Wäldern in Kombination mit einem rückläufigen Trend in der Fichtensämlingsproduktion deutet darauf hin, dass sich die Fichte zunehmend durch Naturverjüngung vermehrt. Trotz ökologisch problematischer Reinbestände und geringer Verjüngungsanstrengungen ist die Fichte für die Waldbesitzer aus wirtschaftlichen Gründen nach wie vor eine wichtige Art. Fichtensämlingen sind nach wie vor die vorherrschende Art von Forstpflanzen.

Fichtensetzlinge haben jedoch an Bedeutung verloren (Karopka, 2017) und werden zunehmend durch Lärche, Tanne und Laubbäume ersetzt (Baschny & Strohschneider 2012). Darüber hinaus steigen seit 2011 die Verkaufszahlen von Tanne, Douglasie, Waldkiefer und Zirbe. Die Produktionszahlen bei den Laubbaumarten sind aufgrund kürzerer Produktionszeiträume (1-3 Jahre vs. 2-5 Jahre) wesentlich unbeständiger. Die Produktionszahlen für Eiche, Rotbuche, Bergahorn, Schwarzerle und Gemeine Esche sind seit 1991 rückläufig, wobei der stärkste Rückgang bei der Gemeinen Esche, aufgrund des Absterbens durch den Befall mit *Hymenoscyphus fraxineus*, zu verzeichnen ist, während Hainbuche und Wildkirsche konstant blieben. Die Verkaufszahlen seit 2012 zeigen jedoch einen Anstieg bei den Eichenarten und der Rotbuche. Insgesamt zeigen die Verkaufszahlen zwischen 2012/13 und 2016/17 einen klaren Trend zu Laub- und Mischwaldsämlingen. Die Verkaufszahlen von Nadelholzsämlingen gingen in

diesen 5 Jahren um 11% zurück, während die Zahl der Laubholzsämlinge um 16% zunahm. Es wird erwartet, dass sich diese Trends in den nächsten Jahren fortsetzen werden, insbesondere aufgrund der Tatsache, dass das EU-finanzierte Programm "Ländliche Entwicklung 2014-2020" die Verlagerung hin zu natürlichen Waldgesellschaften fördert.

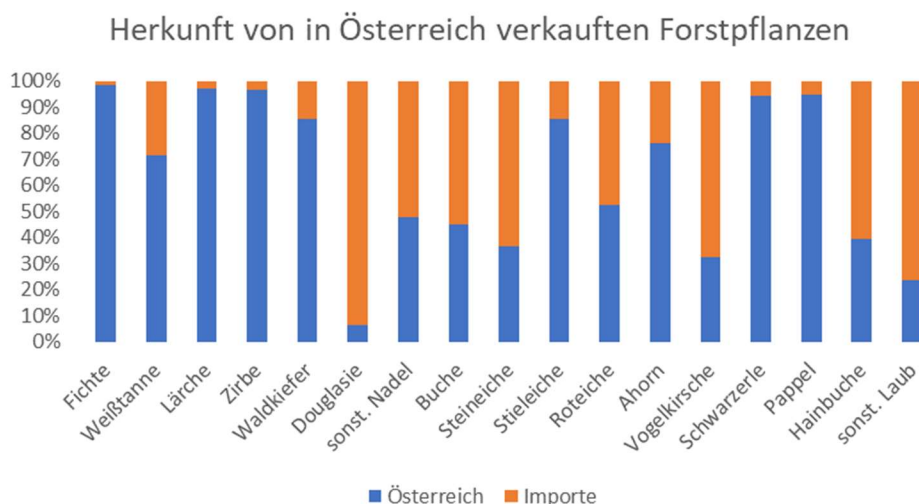


Abb. 7. Herkunft der in Österreich verkauften Forstpflanzen, nach Baumarten (2012/13 - 2016/17)

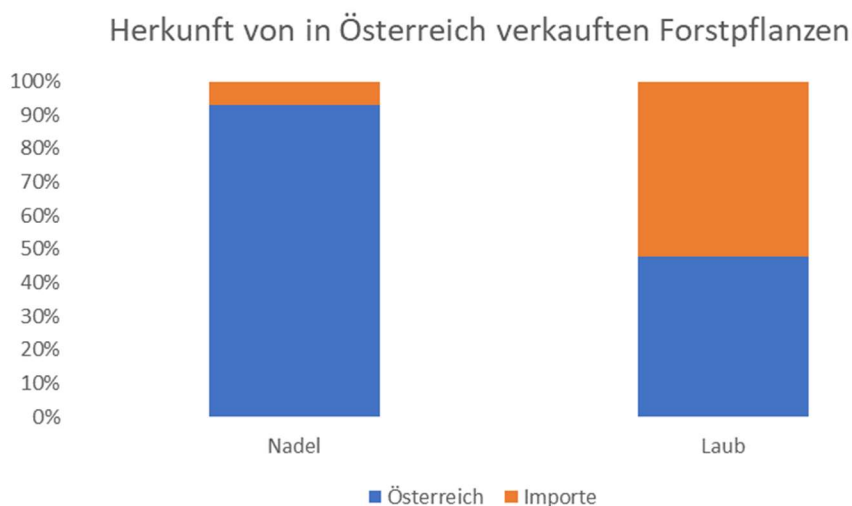


Abb 8. Herkünfte der in Österreich verkauften Forstpflanzen, nach Nadel und Laub gruppiert (2012/13 - 2016/17)

4.3 Korrelationsanalyse und ökonometrische Schätzungen

Die Korrelationsanalyse wurde für Daten auf Baumartenebene durchgeführt. Aufgrund der Verfügbarkeit sind Samenerntedaten neben der Zielvariablen Forstpflanzenproduktion/Nachfrage die einzige verfügbare Zeitreihe für den gesamten Zeitraum von 1991-2016. Daher wurde die Korrelationsanalyse zwischen diesen beiden Zeitreihen für alle Baumarten durchgeführt. Die Analyse beinhaltet Verzögerungen (lags), um den zeitverschobenen Einfluss zwischen zwei Variablen mit zu berücksichtigen. Die Kreuzkorrelation mit Lags berücksichtigt mögliche verzögerte Auswirkungen der (heimischen) Saatguternte auf die Forstpflanzenproduktion.

Unsere Ausgangshypothesen waren, dass die Kreuzkorrelation bei Arten mit einem hohen Anteil einheimischer genetischer Herkunft (Abb. 7 und 8) und bei Arten mit einer niedrigen maximalen Haltbarkeitsdauer von Sämlingen stärker ist. Beim Vergleich der Zahlen, die die Kreuzkorrelationen für aggregierte Nadel- und Nicht-Nadelbaumarten darstellen, gibt es einen Unterschied zwischen der Methode, die zur Modellierung des Mastvorkommens verwendet wird: Für die Methoden ADA, DT und LR ist die Kreuzkorrelation tendenziell höher für Nicht-Nadelbaumarten, während für MLR, RF und SVR die Kreuzkorrelation tendenziell höher für Nadelbaumarten ist (Abb. 9).

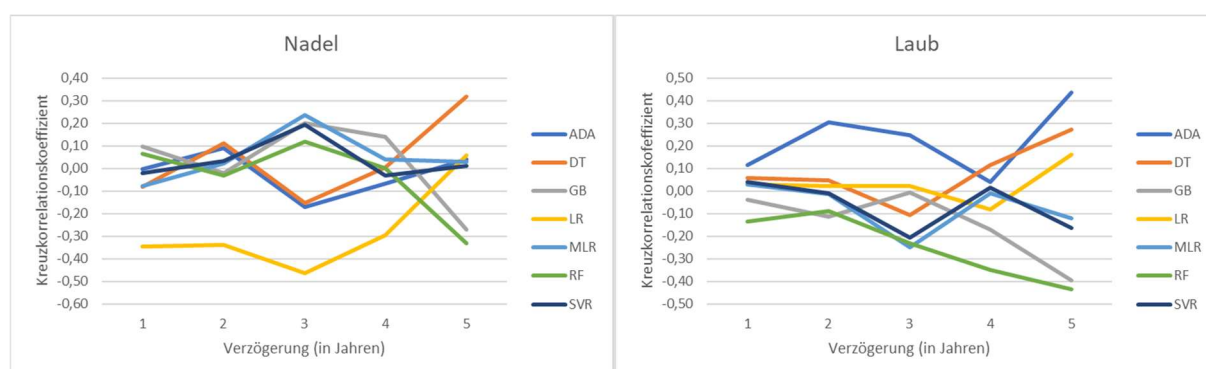


Abb. 9. Korrelation zwischen Saatguternte und (verzögert) Forstpflanzenproduktion (aggregiert nach Nadel und Laub) für verschiedene Mastmodelle

Ein detaillierterer Blick auf Baumartenebene zeigt mehr Ambivalenz. Für viele Arten wie Buche, Kiefer, Stieleiche konnten nur 1-2 signifikant positive Korrelationen gefunden werden (unter der Annahme, dass ein hohes Samenvorkommen zu einem hohen Sämlingsaufkommen führen sollte), mit tendenziell höheren Korrelationen für Differenzwerte (wie im Vergleich zu Korrelationen für absolute Werte). Die geringe Anzahl an Daten für Saatguterntemengen bei den Nicht-Nadelbaumarten beeinträchtigt die Qualität der Vorhersagen von Modellen für das Mastvorkommen. Im Allgemeinen sind weitere Untersuchungen und Diskussionen zu diesem Thema erforderlich, um Zusammenhänge zwischen Mastvorkommen (oder Saatguternte) und der Forstpflanzenproduktion und deren Auswirkungen zu bestimmen.

Zusätzlich wurden Korrelationsergebnisse für einen Datensatz berechnet, der Daten zur Forstpflanzenaufzucht (Anzahl und Flächen der Baumschulen), forstwirtschaftliche Aktivitäten (Kahlschläge, Einzelstammentnahmen), Holzproduktion, Forstpflanzenmanagement und wirtschaftliche Variablen enthält.

Diese Ergebnisse wurden verwendet, um Untergruppen von Variablen für eine schrittweise Regression auszuwählen.

4.4 Szenarien für die zukünftige Pflanzenproduktion

Für die Entwicklung der Szenarien wurde das Modell des österreichischen forstbasierten Sektors (FOHOW; Forst und Holzwirtschaft) verwendet. FOHOW ist ein dynamisches (verzögertes) partielles Gleichgewichtsmodell, das nach der Methodik der Systemdynamik formuliert und in STELLA (isee systems) erstellt wurde. Es bildet die gesamte Wertschöpfungskette des österreichischen Forstsektors als ein zusammenhängendes System ab. Mit Hilfe eines solchen Ansatzes ist FOHOW sehr nützlich für eine integrierte Abschätzung der langfristigen Auswirkungen von kurz- bis mittelfristigen Entscheidungen (z.B. strategische Entscheidungen von Unternehmen oder Entscheidungen, die die politischen Rahmenbedingungen verändern) auf den österreichischen Holzmarkt.

Das Modell lässt sich in folgende Untereinheiten untergliedern:

- Gesamtwirtschaft
- Forstwirtschaft (unterteilt in Nadel- und Laubholz sowie Besitzkategorien)
- Forstindustrie und Forstbetriebe (Sägewerke, Span- und Faserplattenproduzenten, Zellstoff-, Papier- und Pappeproduzenten, Holz für energetische Nutzung)
- Holzströme aus anderen Quellen (unter Berücksichtigung der Daten aus dem österreichischen Holzflussdiagramm und dem österreichischen Holzeinschlagsbericht)
- Waldressourcen (unterteilt nach Nadel- und Laubholz sowie Besitzkategorien).
-

Die Ergebnisse zeigen, dass die Fichte auch in Zukunft sehr gefragt sein wird, wenn die derzeitige Forstwirtschaftspraxis fortgesetzt werden kann (Abb. 11). Wenn der Bedarf für einen Baumartenwechsel durch Klimawandel entsteht, wird die Nachfrage nach Fichtensämlingen voraussichtlich ab etwa 2030 zurückgehen und ab 2050 deutlich sinken. Da eine mögliche Anpassung der Holzwirtschaft nicht im Projekt *MoreSeedsAdapt* berücksichtigt wurde, war die Nachfrage nach Laubholz als Rohstoff noch gering. Im Referenzszenario wird ab etwa 2050 ein leichter Anstieg der Nachfrage nach Tannensämlingen erwartet, während der Baumartenwechsel einen Anstieg der Nachfrage bis Mitte des Jahrhunderts anzeigt - wahrscheinlich als Ersatz für Fichten. Lärchen- und Kiefernsetzlinge dürften in beiden Szenarien als Teil der adaptiven Waldbewirtschaftung die Nachfrage erhöhen. Sie werden nach wie vor von der Holzverarbeitenden Industrie, die in Österreich stark auf Nadelholz spezialisiert ist, bevorzugt. Während Zirbenholz eher eine Nischenrolle spielt, wird ein Anstieg der Nachfrage erwartet, wahrscheinlich aufgrund der anhaltenden Eignung in alpinen und peri-alpinen Regionen (Abb. 10).

Buche und Eiche werden aufgrund des zu erwartenden forstwirtschaftlichen Bedarfs die Nachfrage erhöhen. In beiden Szenarien steigt die Nachfrage bei Eiche und in geringerem Maße auch bei Buche stark an. Während im Referenzszenario bis etwa 2050 ein starker Anstieg der Nachfrage zu verzeichnen ist, wird erwartet, dass die weitere Nachfrage konstant bleibt, während im Baumartenwechselszenario Eichensämlinge bis etwa 2050 stark nachgefragt werden und die Nachfrage anschließend durch eine steigende Nachfrage nach Buchensämlingen ersetzt wird.

Zukünftige Forschungsanstrengungen sollten darauf abzielen, zusätzliche forstökologische und klimatische Variablen einzubeziehen und den Datensatz der Langzeitprognosen für Variablen im Zusammenhang mit der Waldbewirtschaftung (z.B. Kahlschlagflächen) zu erweitern, um die Vorhersagequalität der Modelle zu erhöhen (und Modelle mit Differenzen von Variablen als Datengrundlage nutzbar zu machen).

Eine Anpassung der österreichischen Holzwirtschaft wurde nicht modelliert. Sie ist von kardinaler Bedeutung für die Forschung (und für die Bereitstellung von Finanzmitteln) zur Untersuchung zukünftiger Innovationspfade im forstbasierten Sektor, insbesondere bei der Modellierung von Forstprodukten, um die Reaktion der Wirtschaft auf den Baumartenwechsel bzw. auf Anpassungsmaßnahmen der Waldbewirtschaftung besser zu verstehen, z.B. durch das kooperative Erarbeiten von Zukunftskonzepten gemeinsam mit Stakeholdern.

Im Szenario "Baumartenwechsel" wird somit der Mangel an Nadelholz nicht durch die Verfügbarkeit von Laubholz kompensiert. Der größte Teil des zusätzlich verfügbaren Laubholzes wird daher als Brennholz genutzt. Dies zeigt, dass Anpassungsmaßnahmen für eine verstärkte Holznutzung entscheidend sind, um die Wettbewerbsfähigkeit des Sektors zu sichern und den Beitrag des Sektors zum Klimaschutz durch die Verfügbarkeit langlebiger Holzprodukte zu gewährleisten.

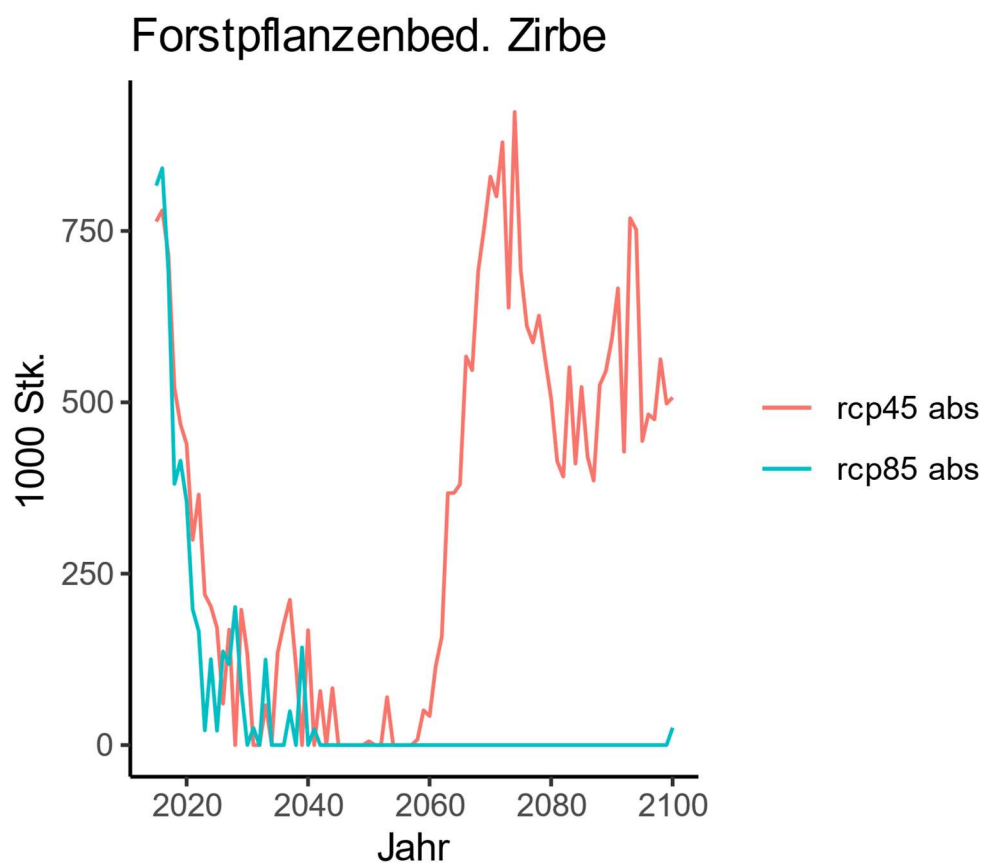


Abb. 10. Zukunftsprognose der Nachfrage von Forstpflanzensaatgut der Zirbe unter den Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5

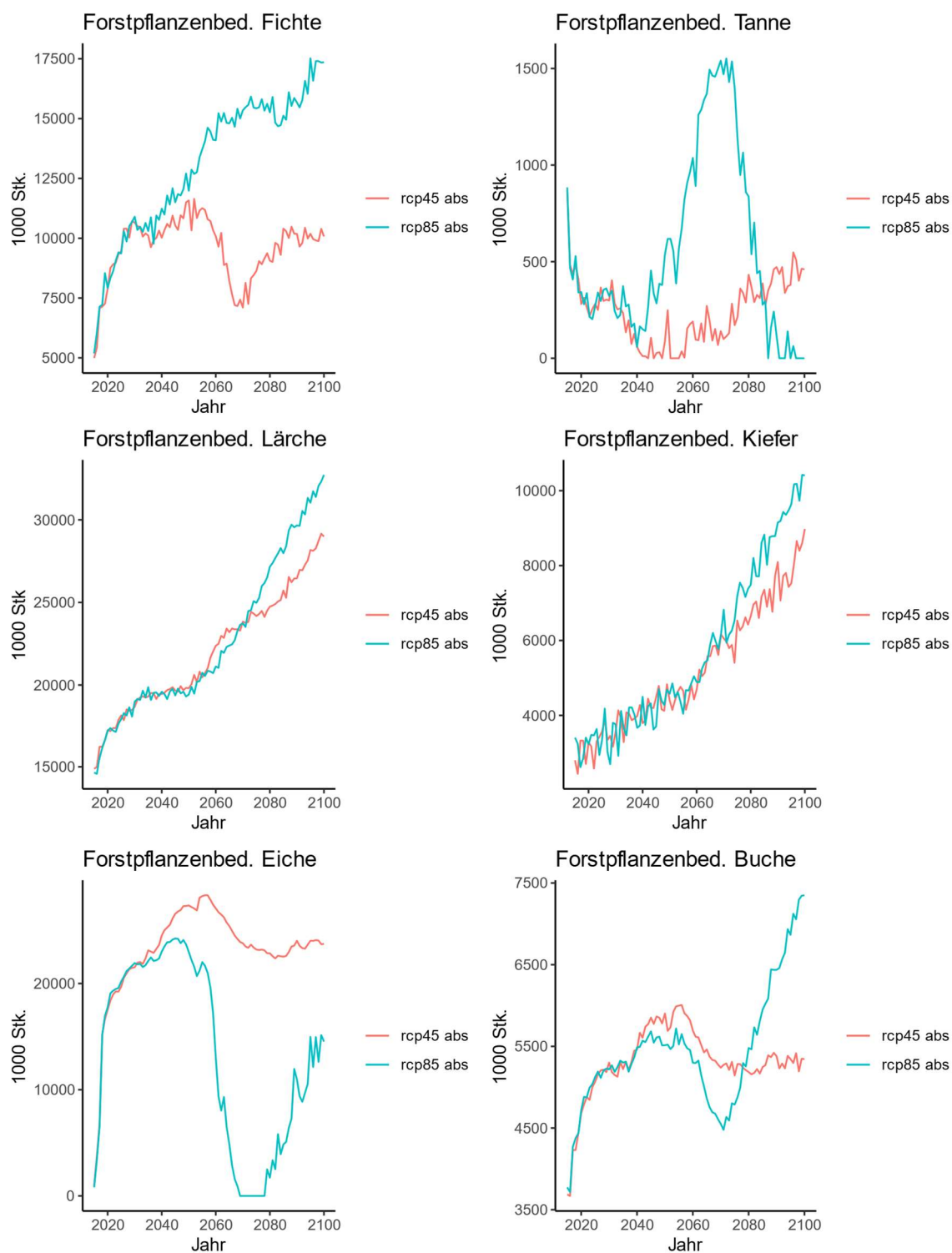


Abb. 11. Zukunftsprognose der Nachfrage von Forstpflanzensaatgut je Baumart unter den Klimaszenarien RCP4.5 und RCP8.5

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

5.1. Räumliche und zeitliche Veränderungen des Mastverhaltens von standortbildenden Baumarten in Österreich

Das Verständnis der Reaktionen der bestandsbildenden Bäume auf schnelle Umweltveränderungen ist zu einer großen Herausforderung für die Waldbewirtschaftung geworden. Viele Baumarten in Europa werden durch den Klimawandel, der die Umweltbedingungen wie Temperatur und Niederschlag verändert, erheblich beeinträchtigt. Die Klimabedingungen beeinflussen die Baumphysiologie, die Phänologie und die Reproduktion der Baumarten. Wir verwendeten Regressionsanalysen und multivariate Techniken, um herauszufinden, ob die Mast mit klimatischen Variablen assoziiert ist. Die Ergebnisse zeigen Veränderungen in der Häufigkeit der Mastereignisse, das Intervall zwischen den Mastjahren nahm für alle Arten ab. Die Ergebnisse der Vorhersagemodelle zeigen, dass die klimatischen Variablen die Unterschiede zwischen Arten und geographischen Gebieten beeinflussen. Weiterführende Studien sind notwendig, um die klimabedingten Veränderungen der österreichischen Waldökosysteme zu verstehen und um präzisere Anpassungsmaßnahmen der Waldbewirtschaftung und des Ressourcenmanagements zu setzen.

5.2. aktive Planungen für eine anpassungsfähige Waldbewirtschaftung

Die aktive Planung angemessener Maßnahmen für eine anpassungsfähige Waldbewirtschaftung durch die Untersuchung des in Zukunft benötigten Saat- und Pflanzgutes stellt die Weichen, um die Widerstandsfähigkeit aller beteiligten Zweige des Forstsektors sicherzustellen. Die Produktion von Saat- und Pflanzgut ist mit erheblichem finanziellen Aufwand und großen Risiken verbunden, da es sich um langfristige Maßnahmen handelt, die nicht auf kurzfristige Marktschwankungen reagieren können. Eine Anpassung des Forstsektors an klimatische Trends ist jedoch durchaus möglich, wenn die Abhängigkeiten und Bedürfnisse umfassend analysiert und definiert werden. Forstsaatgutproduzenten und Forstbaumschulen sind dabei Schlüsselakteure für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen zur zuverlässigen Deckung des Bedarfs an Forstsaatgut und Setzlingen.

5.3. Nachfrage und Angebot von lokal angepasstem genetischem Material

Die Verkaufsmengen zwischen 2012/13 und 2016/17 zeigten einen klaren Trend hin zu Laubholzarten - insbesondere Eichenarten - sowie zu Mischwaldarten. Die Korrelationen zwischen Saatguternte und (verzögerter) Forstpflanzenproduktion zeigen über alle Zeiträume hinweg einen höheren Korrelationskoeffizienten für Nadelholzarten als für Laubholzarten. Die überwiegende Mehrheit der Nadelholzsetzlinge ist österreichischer Herkunft (93%). Die Laubholz-Sämlinge sind jedoch mit einem Anteil von 52% überwiegend ausländischer Herkunft (Ausnahmen sind Schwarzerle und Pappel). Dieser hohe Anteil an ausländischen Setzlingen birgt das Risiko, ungeeignetes, nicht an die lokalen Klima- und

NF_3_KR16AC0K13339_Moreseeds__final_report_for_publication_Nachforderung_Jul
i2021 (209206843)

Bodenverhältnisse angepasstes genetisches Material zu importieren. Die Ergebnisse zeigen eine Verlagerung der Forstpflanzennachfrage mittelfristig (bis ca. 2050) zu mehr Eiche und Lärche. Langfristig ist eine massiv gesteigerte Bedeutung von Lärche, Eiche und Buche zu erwarten.

C) Projektdetails

6 Methodik

Die untersuchten Baumarten

Um die Beziehungen zwischen klimatischen Bedingungen und Saatgutproduktion und -qualität zu analysieren, wählten wir bestandsbildende Baumarten aus, die für die Waldbewirtschaftung innerhalb des Untersuchungsgebietes als wichtig erachtet wurden. Jede Baumart wurde einzeln analysiert, um die Identifizierung artspezifischer Reaktionen auf Klimafaktoren und Strategien bezüglich der zeitlichen Variation der quantitativen Saatgutproduktion zu erleichtern. Alle Analysen wurden für die Fichte (*Picea abies*), Weißtanne (*Abies alba*), Europäische Lärche (*Larix decidua*), Waldkiefer (*Pinus sylvestris*), Zirbelkiefer (*Pinus cembra*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*), Stieleiche und Traubeneiche (*Quercus robur*, *Quercus petraea*) durchgeführt.

Meteorologische Daten

Klimadaten wurden von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG, 2019) und dem BFW zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden homogenisierte Rasterdaten (CRU CL v. 2.1-Datensatz) zu Tages- und Monatsintervallen verwendet (Hiebl & Frei, 2016, 2018; Hofstätter, 2016; R Core Team, 2017; Switanek et al., 2017). Für jeden Bezirk (BFI) wurden die Variablen Tagestemperatur, Niederschlag und Globalstrahlung (rsds) für die Zeitspanne 1962 bis 1995 von lokalen Wetterstationen in einer Tagesauflösung zur Verfügung gestellt. Die Vorhersagemodelle wurden für zwei repräsentative Treibhausgasemissionsszenarien (RCP-Szenarien) unter Verwendung von Werten entwickelt, die die Höhe des Strahlungsantriebs zwischen der vorindustriellen Ära und 2100 vergleichen: die Szenarien RCP 4.5 (Clarke et al., 2007; Smith & Wigley, 2006; Wise et al., 2009) und RCP 8.5 (Riahi et al., 2007).

Ziel 1 (WP2) Potentielles Saat- und Pflanzgutangebot in CC

Quantitative Saatgut-Produktionsdaten-Analyse

Von 1961 bis 1996 wurde für jeden Bezirk jährlich über die Mastsaat berichtet. Die Jahre 1961 und 1996 wurden aufgrund inkohärenter Skalen ausgeschlossen. Die Schätzungen der Mastaussaat für jeden Bezirk wurden in vier Faktor-(Mast-)Klassen kategorisiert (Nather 1962). Alle Beobachtungen wurden nach der Waldbedeckung in der kleinsten geographischen Einheit gewichtet, wobei der Waldlayer der jeweiligen Zeitperiode verwendet wurde (BFW/ÖWI, 2019). Insgesamt verblieben 22.584 Beobachtungen für weitere statistische Analysen. Davon wurden 4.124 Beobachtungen als Zwischenklassen 1,5, 2,5 und 3,5 gemeldet. Diese Beobachtungen der Zwischenklassen wurden nach dem Zufallsprinzip der jeweils höheren (Wahrscheinlichkeit = 0,5) oder niedrigeren Klasse (Wahrscheinlichkeit = 0,5) zugeordnet. Um die zeitlichen Veränderungen in der Häufigkeit der Mastjahre zu beurteilen, berechneten wir die Wahrscheinlichkeit für eine volle Mast und eine mäßige Mast (Summe der Beobachtungen Mastkategorie < 3 / n aller Beobachtungen) für jedes Jahr und verwendeten eine Regressionsanalyse der Anzahl der Jahre zwischen den berichteten Mastjahren innerhalb jedes Datensatzes für alle acht Baumarten. Darüber hinaus wurde die Mastwahrscheinlichkeit nach Höhenklassen analysiert.

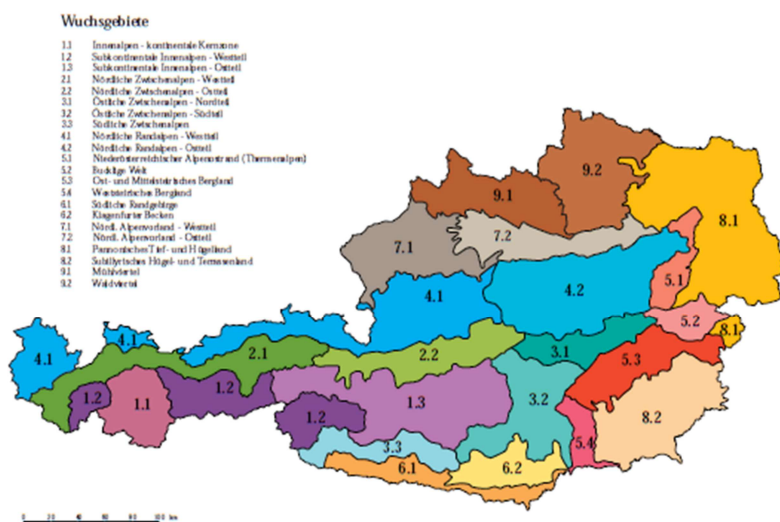


Abb. 12. Karte der forstlichen Wuchsgebiete, für welche die Mastereignisse prognostiziert wurden: die Wuchsgebiete umfassen Großlandschaften mit weitgehend einheitlichem Klimacharakter und sind durch eine typische Abfolge standortsbezogener Umweltfaktoren gekennzeichnet, die eine jeweils unterschiedliche Zusammensetzung der natürlichen Waldvegetation bedingen; Mehr Infos unter: <https://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=1144>

Quantitative Variation in der Saatgutproduktion

Wir betrachteten 82 mögliche erklärende klima- und mastbezogene Merkmale, um die Auswirkungen auf die quantitative Saatgutproduktion zu modellieren. Zuerst führten wir eine Überprüfung auf Multikollinearität durch. Wenn die Korrelation zwischen zwei Variablen $>0,75$ war, verblieb nur eine Variable im Modell, basierend auf der höchsten Korrelation mit dem Mast ($mc < 3$). Zweitens führten wir eine einfache lineare Regression für einzelne Parameter durch. Modelle wurden auf Basis des p-Wert (wenn $>0,05$) und der Bestimmtheitsmaßes R^2 (wenn niedrig) verworfen. Drittens wurde eine lineare Regression durch Aufspaltung in Test- und Trainingsdaten und 5-fache Kreuzvalidierung durchgeführt. Schließlich verwendeten wir die Rekursive Feature Elimination (RFE), um Rauschen zu entfernen.

Anwendung von Saatmengen- (Mast-)Modellen für zukünftiges Klima

Wir verwendeten verschiedene kontinuierliche Modelle: Multiple Lineare Regression, Random Forest, Gradientenverstärkung und Support Vector Regressor und bewerteten die Beziehung zwischen vorhergesagter und beobachteter Mastsaat. Da sich die Modellleistung zwischen den vier Modelltypen nicht signifikant unterschied, wählten wir für die weitere Analyse die multiple lineare Regression. Nach der Modellbildung im vorhergehenden Schritt verwendeten wir die oben beschriebenen Klimadaten zur Vorhersage einer möglichen Mastsaat in Österreich bis 2100. Es ist wichtig zu beachten, dass die Vorhersagen für jede Region eine Darstellung der potenziellen Mastsaat sind, da keine Landnutzungsdaten mit den Klimadaten geschnitten wurden. Es wurde daher nicht ermittelt, ob für jede Region Waldflächen vorherrschend sind. Wir verglichen die potentielle jährliche Mastsaat für zwei Klimaperioden, nämlich die Jahre 1962-1992 und 2070-2100, um eine Schätzung zu erhalten, ob die potentielle Mastsaat zu- oder abnimmt.

Analyse der Saatgutqualität (Keimfähigkeitsdaten)

Die Saatgutqualität wurde für die Daten der Keimfähigkeit (GC) in den Jahren 1957 bis 2011 analysiert. Ziel dieses Ansatzes war es, die Abhängigkeit der Keimfähigkeit (GC) von Umweltfaktoren, insbesondere den klimatischen Bedingungen, zu untersuchen. Zu diesem Zweck verwendeten wir die monatlichen Durchschnitts-, Minimal- und Maximaltemperaturen sowie die monatliche Niederschlagssumme. Für jeden Beobachtungspunkt des Datensatzes des aktuellen Jahres (bis Oktober) und der letzten 5 Jahre wurde auch untersucht, wie sich vergangene Wetterbedingungen auf die GC auswirken könnten. Mit dem endlichen Satz von Merkmalen begannen wir mit der Modellbildung. Wir verwendeten vier verschiedene kontinuierliche Modelltypen, nämlich Multiple lineare Regression, Random Forest, Support-Vektor-Regressor und Gradientenverstärkung. Nach dem Modellaufbau mit trainierten Daten verwendeten wir Testdaten, um die Leistung der einzelnen Modelle zu bewerten. Dazu verglichen wir die Verteilungen von Beobachtungen und Vorhersagen. Für einige Arten wurde keine gute lineare Korrelation gefunden, der Grund dafür könnte jedoch eine zugrunde liegende schiefe Verteilung der GC sein. Um einen Kompromiss zu finden, verwendeten wir die Arcsin-Transformation der Originaldaten und führten die Analyse erneut durch. Es wurden jedoch keine bemerkenswerten Verbesserungen gefunden. Schließlich verwendeten wir RCP 4,5 und RCP 8,5, um die GC für zukünftige Szenarien vorherzusagen.

Objective 2 (WP3) Impacts on forest plant production and demand

Ziel 2 (WP3) Auswirkungen auf die Produktion und Nachfrage von Forstpflanzen

Ziel von WP3 war es, eine Datenbank zu erstellen, um die wichtigsten Faktoren zu erklären, die das Angebot/die Nachfrage von Sämlingen bestimmen. Die Datenerfassung wurde für den Zeitraum 1991-2016 durchgeführt und umfasst jährliche Daten für 26 Jahre. Das BFW hat in den letzten Jahrzehnten Daten zur Forstpflanzenproduktion und -nachfrage gesammelt. Bis zum Jahr 2011/12 wurden die Produktionsmengen von den Forstpflanzenproduzenten auf der Grundlage von Schätzungen ihrer aktuellen Produktionsmengen gemeldet. Dies bedeutet, dass eine einzige Pflanze in den Produktionskonten über aufeinanderfolgende Jahre hinweg, abhängig von der Produktionsdauer, auftaucht. Darüber hinaus wurde auch die Überproduktion in die Produktionsmengen einbezogen, wozu auch mglw. entsorgte Forstpflanzen gehören. Seit dem Jahr 2012/13 wurde die Erhebung dieses Datensatzes eingestellt. Die Produktionsdaten für die Jahre 2012/13-2016/17 wurden jedoch im März 2018 auf der Grundlage einer neuen Methodik vervollständigt. Die Produzenten geben die Verkaufszahlen der Forstpflanzen in Bezug auf ihre Samenherkunft an, was zu wesentlich präziseren Daten führt. Die Verkaufszahlen sind niedriger als frühere Produktionsdaten, da die Datenerfassung auf realen Daten basiert. Außerdem mussten alte Daten über Saatguternteberichte (vor 1997) jährlich digitalisiert und aggregiert werden. Dieser Teil wurde im März 2018 für den jeweiligen Zeitraum abgeschlossen.

Objective 3 (WP4) Modelling plant demand due to CC

Ziel 3 (WP4) Modellierung der Pflanzennachfrage aufgrund von Klimawandel

Für jede Art wurde der Verlust und Gewinn an Waldfläche berechnet. Zur Abschätzung des Regenerationsbedarfs wurden klimaanalytische Modelle angewandt und verwendet. Der jährliche Verjüngungsbedarf und der Setzlingsbedarf wurden berechnet. Das österreichische Waldproduktmodell FOHOW wurde einbezogen:

- 1. Allgemeine Wirtschaft:** beinhaltet exogene Markttreiber (Bruttoinlandsprodukt, Bevölkerung). Produktmärkte interagieren zwischen der allgemeinen Wirtschaft und dem forstbasierten Sektor
- 2. Märkte für Forstprodukte:** umfasst Angebot, Nachfrage, Preise und Handel für jedes Halbfertigprodukt
- 3. Forstwirtschaft:** Umfasst das Holzangebot aus drei Besitzkategorien: kleine private Waldbesitzer (<200ha), große private Waldbesitzer (≥200ha) und Österreichische Bundesforste
- 4. Waldressourcen:** umfasst die Waldfläche, den wachsenden Bestand und die Zuwächse, unterteilt in Nadel- und Nichtnadelwälder sowie in zwei Altersklassen und die drei oben genannten Eigentumskategorien
- 5. Kohlenstoffvorräte und -dynamik** für Zwischenprodukte und Halbfertigprodukte (Schnittholz, Platten, Papier und Pappe), Verteilung der Endprodukte (nach ÖPRODCOM Produktionsstatistik)

Die Entwicklung der Holzverwendung in der österreichischen Forstwirtschaft wurde für zwei Szenarien berechnet: Waldbewirtschaftung "business as usual" und Waldbewirtschaftung mit Baumartenwechsel (Orientierung an der natürlichen Waldvegetation mit Anpassung an den Klimawandel). Generell wird davon ausgegangen, dass keine Anpassung der österreichischen Holzverarbeitenden Industrie an Laubholz stattfindet.

Objective 4 (WP5): Scenarios for future plant production

Ziel 4 (WP5): Szenarien für die zukünftige Pflanzenproduktion

Das Hauptziel von WP 5 war die Entwicklung von Szenarien für die zukünftige Produktion von Forstpflanzen auf der Grundlage des potentiellen Saatgutangebots und der prognostizierten Saatgutnachfrage. Auf der Grundlage der in WP4 entwickelten waldbaulichen Strategien sowie langfristiger sozialer und wirtschaftlicher Überlegungen werden verschiedene Szenarien entwickelt, um ihre möglichen Auswirkungen auf den Forstsektor in der Zukunft zu simulieren. dabei wurden zwei Szenarien unter Verwendung von EURO-CORDEX-Daten für RCP8.5 (MPI-ESM-LR / RCA) und RCP4.5 (MPI-ESM-LR / RCA) verwendet. Die Daten für die Definition der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen wurden aus den langfristigen BIP-Prognosen der OECD, der jährlichen Energieprognose der EIA und nationalen Daten abgeleitet. Daten zur Holznutzung wurden in einem Modellverbund in iterativem Austausch zwischen BOKU und BFW über eine Cloud-Lösung gewonnen. Die in WP3 formulierten Regressionsmodelle wurden in das Modell FOHOW integriert. Somit konnten in jedem Simulationsschritt Daten aus verzögerten endogen berechneten und exogen vorgegebenen Variablen „mitberechnet“ werden.

7 Arbeits- und Zeitplan

	Year1												Year2												Year3												extension period			
													Months																											
	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A		
WP1: Project coordination and management																																								
M1.1	Kick off meeting																																							
M1.2	Project website																																							
M1.3	Interim meetings																																							
D1.1	Interim reports																																							
D1.2	Final project reports & dissemination activity																																							
WP2: Potential seed and seedling supply in CC																																								
M2.1	Transformation of fructification and seed harvest data into electronic form completed																																							
M2.2	Most important climate parameters for seed quality and quantity of 7 tree species																																							
M2.3	Predictive models applied for Austrian regions																																							
WP3: Impacts on forest plant production and demand																																								
M3.1	Development of the consistent time-series data base																																							
M3.2	Correlation analysis and econometric estimations – identifying the drivers																																							
M3.3	Construction of econometric models																																							
WP4: Modelling plant demand due to CC																																								
M4.1	Loss and gain of forest area for each species calculated (Strat. 1)																																							
M4.2	Climate-analogy models applied and used to estimate regeneration requirement																																							
M4.3	Annual regeneration requirement and seedling demand calculated																																							
WP5: Scenarios for future plant production																																								
M5.1	Adaptation of forest sector model to project requirements																																							
M5.2	Iterative simulations with WP4																																							
M5.3	Analyse critical drivers and feedbacks																																							
D5.1	Simulation results																																							
D5.2	Uncertainty-mode and effects analysis																																							
M	milestone reached																																							
	deliverable reached																																							

8 Publikationen und Disseminationsaktivitäten

Die Ergebnisse des Projektes wurden in unterschiedlichem Format in der wissenschaftlichen Szene, und vor politischen Entscheidungsträgern als auch der allgemeinen Öffentlichkeit präsentiert. Mitte 2021 erscheint eine Schriftreihe im Springer Verlag mit Beiträgen des Projektteams und von Fachexperten.

- Schüler S., Braun M., Dobes, C., Hesser F., Kindermann G., Koller t., Schwarzbauer M., MoreSeedsAdapt - Bedarf und Angebot an Forstsaat- und Pflanzgut im Klimawandel. Poster presented at the 19. Österreichischer Klimatag. Salzburg, Österreich, 24.04.2018
- Presentation of the Project at the working group „Klimafittes Pflanz- und Saatgut“ at the Austrian Ministry for Agriculture, Forestry, Environment and Water Management on 18.04.2018
- Katharina Lapin , Georg Kindermann , Martin Braun , Peter Schwarzbauer, Theo Koller, Franziska Hesser , Christoph Dobeš , Silvio Schueler (2019): Spatial And Temporal Changes In Mast Seeding Of Stand-Forming Temperate Tree Species In Austria, In: Klimatske Promjene I Novi Izazovi U Proizvodnji Kvalitetnog I Staništu Prilagođenog Šumskog Reprodukcijskog Materijala Climate Change And New Challenges In The Production Of High Quality And Adapted Forest Reproductive Material Svi su cvjetovi budućnosti u sjemenu sadašnjosti (kineska poslovice) „All the flowers of all the tomorrows are in the seeds of today“, 3rd and 4th December 2019.
- Lapin K., Braun M., Schwarzbauer P., Koller T., Hesser F., Dobeš Ch., Schüler S. , 2019:
Implications of forest mast seeding for the projected supply of forest seeds and seedlings of the Austrian forest-based sector. Tagungsband 20. Klimatag, Facetten der österreichischen Klimaforschung, 24.–26. April 2019, Wien: 86-87
- Lapin K., Braun M., Schwarzbauer P., Koller T., Hesser F., Dobeš Ch., Schüler S. , 2019:
Is climate change adaptation in alpine mountain forests constrained by forest seed production and its climatic triggers? Forest Research and Cooperation for Sustainable Development XXV IUFRO World Congress, 29 Sept - 5 October 2019: Abstracts, Pesquisa Florestal Brasileira, Brazil, 39(Special issue, e201902043): 179.
- Braun M., Lapin K., Schwarzbauer P., Koller T., Hesser F., Dobeš Ch., Schüler S. , 2019:
Modelling Austrian forest seedling demand under different adaptation management strategies.
Geophysical Research Abstracts, 21(8764-1):
<https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2019/EGU2019-8764-1.pdf>
- Braun M., Lapin K., Hesser F., Schüler S., Schwarzbauer P. (in review):
Impacts of a tree species shift on the Austrian forest-based sector. 9th Hardwood Conference, 21st-22nd October, Sopron.

Im Druck:

Sonderheft der Springer-Reihe: "Marketing natürlicher Ressourcen mit dem Titel: "Klimafitte Waldbewirtschaftung: Herausforderung für die Forstpflanzenproduktion und die Holzwirtschaft" mit folgenden Beiträgen des MoreSeedsAdapt Teams

1) Schüler S, Chakraborty D, Lapin K. Baumartenwechsel und Herkunftswahl im Klimawandel

2) Lapin K, Zolles A, Schüler S. Das Mastverhalten von Bäumen im Wandel.

3) Braun M. Forstpflanzenbedarf im Klimawandel

4) Konrad H, Wurzer C, Schüler S. Status quo und Zukunft der Versorgung mit forstlichem Saatgut in Österreich

Tabelle 2. Chronologie der Disseminationsaktivitäten.

When	Where	Description	Comments (who was reached?) Zielgruppe
06.07.2017	BfW	internal kick off meeting	project partners
21.02.2018	BOKU	internal project meeting (project coordination meeting, presentation of preliminary WP3 results and WP5 test run)	project partners
18.04.2018	meeting "Klimafittes Pflanz- und Saatgut" at BMNT	presentation of MSA project and preliminary results from WP3	scientific community, policy makers, business representatives
24.04.2018	19. Österreichischer Klimatag, Universität Salzburg	poster presentation of MSA project and preliminary results from WP3	policy makers, scientific community, (business representatives)
Apr.18	Wood News Article	report about the MSA and CareForParis poster presentations at Klimatag	stakeholders, interested public
03.08.2018	BOKU	internal presentation of WP3 results	project partners
17.09.2018	Cool Forests Conference at IIASA, Laxenburg	presentation "Utilising forestry data to explain and forecast forest seedling demand" (results from WP3), incl. book of abstracts	scientific community, policy makers, NGOs
Okt.18	Wood News Article	report about the MSA presentation at Cool Forests Conference	stakeholders, interested public
12.03.2018	BOKU	internal project meeting (data from WP2 to WP3 and WP5)	project partners

24-25.04.2019	20. Österreichischer Klimatag, BOKU Wien	Klimatag	policy makers, scientific community, (business representatives)
3.-4. 12. 2019	Seed Symposium – Croatia, Jartebasko, Croatia	CLIMATE CHANGE AND NEW CHALLENGES IN THE PRODUCTION OF HIGH QUALITY AND WELL ADAPTED FOREST REPRODUCTIVE MATERIAL	policy makers, scientific community
09.2019	XXV IUFRO World, Congress 2019	"Forest Research and Cooperation for Sustainable Development"	policy makers, scientific community

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte sowie die barrierefreie Gestaltung der Projektbeschreibung, übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

Die Fördernehmerin/der Fördernehmer erklärt mit Übermittlung der Projektbeschreibung ausdrücklich über die Rechte am bereitgestellten Bildmaterial frei zu verfügen und dem Klima- und Energiefonds das unentgeltliche, nicht exklusive, zeitlich und örtlich unbeschränkte sowie unwiderrufliche Recht einräumen zu können, das Bildmaterial auf jede bekannte und zukünftig bekanntwerdende Verwertungsart zu nutzen. Für den Fall einer Inanspruchnahme des Klima- und Energiefonds durch Dritte, die die Rechteinhaberschaft am Bildmaterial behaupten, verpflichtet sich die Fördernehmerin/der Fördernehmer den Klima- und Energiefonds vollumfänglich schad- und klaglos zu halten.