BFW. Bundesforschungszentrum für Wald

Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union

Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Regionen und Wasserwirtschaft

LE 14-20
Entwicklung für den Ländlichen Raum

Europäischer Landwirtschaftsfonds für die Entwicklung des ländlichen Raums: Hier investiert Europa in die ländlichen Gebiete.

ASKFORGEN: ASK FOR GENETICS

Schwarzkiefer – Baumart mit Zukunftspotential

M. van Loo, J.P. George, F. Irauschek, Th. L. Cech, B. Eberhard, G. Frank, M. Grabner, E. Halmschlager, G. Hoch, R. Klumpp, S. Mottinger-Kroupa, W. Ruhm, S. Schüler, K. Schwanda, R.Ufimov, L. Weißenbacher, C. Trujillo-Moya

Impressum

ISBN 978-3-903258-69-3

Copyright 2023 by BFW, Juni 2023

Der Bericht „ASKFORGEN: ASK FOR GENETICS – Schwarzkiefer – Baumart mit Zukunft“ wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus erstellt (Projekt: LE 14-20/Antragsnr. 8.5.2-III4/02/18).
Nachdruck nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung seitens des Herausgebers gestattet.

Presserechtlich verantwortlich: DI Dr. Peter Mayer, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien, Österreich; Tel. +43-1-87838 0

Projektdurchführung: Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik, Abteilung für Herkunftsforschung und Züchtung, Seckendorff-Gudent-Weg 8, 1131 Wien

Inhaltlich verantwortlich für die einzelnen Kapitel sind die jeweiligen Erstautor*innen.

Layout: Gerald Schnabel, BFW

Bezugsquellen: Bibliothek des BFW; Tel.: 01-878 38 1216; Fax: 01-878 38 1250;

E-Mail: bibliothek@bfw.gv.at; Online-Bestellung und Download: bfw.ac.at/webshop

Zitierung: M. van Loo, J.P. George, F. Irauschek, Th. L. Cech,B. Eberhard, G. Frank, M. Grabner, E. Halmschlager, G. Hoch, R. Klumpp, S. Mottinger-Kroupa, W. Ruhm, S. Schüler, K. Schwanda, R.Ufimov, L. Weißenbacher, C. Trujillo-Moya (2023): ASKFORGEN: ASK FOR GENETICS – Schwarzkiefer – Baumart mit Zukunft. Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) , Wien, 80 Seiten, ISBN: 978-3-903258-69-3

Inhaltsverzeichnis

Einleitung 5

TEIL 1 - Praxiswissen Schwarzkiefer 8

1.1 Schwarzkiefer – Systematik und Unterscheidungsmerkmale..... 8
1.2 Schwarzkiefer in Österreich..... 15
1.3 Heimisches Saatgut und Erntebestände..... 22
1.4 Herkunftsversuche 26
1.5 Das Holz der Schwarzkiefer 31
1.6 Waldbauliche Bedeutung..... 35
1.7 Krankheiten und Schädlinge 42

TEIL 2: Ergebnisse des Forschungsprojekts `ASKFORGEN`..... 51

2.1 Untersuchung von derzeit zugelassenen Saatguternte-beständen in Österreich auf Diplodiabefall 51
2.2 Entwicklung und Anwendung eines Saatgutuntersuchungs-protokolls..... 55
2.3 Auswahl und Phänotypisierung von Schwarzkiefern auf Toleranz gegen Diplodia-Kieferntriebsterben 59
2.4 Anlage eines Schwarzkiefernherkunftsversuches der nächsten Generation 63
2.5 Vernetzung mit Parallelprojekten..... 66
2.6 Zusammenfassung und Ausblick 69

Danksagung 70

Weiterführende Informationen 72

Literatur 73

Einleitung

Marcela van Loo[1] & Jan-Peter George[2]
[1] Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik des BFW
[2] Natural Resources Institute Finland, Production Systems, 00720 Helsinki

Die Klimaerwärmung wird eine neuartige Zusammensetzung der Baumartenverteilung in Europa mit sich bringen. Welche Chancen hat die Schwarzkiefer?

Der Schwarzkiefer (*Pinus nigra* JF Arnold), aber auch anderen Baumarten mit mediterranem Charakter werden ein gewisser Wachstumsvorteil und höhere Überlebenschancen unter künftigen Klimabedingungen nachgesagt, jedoch werden dabei oft Wechselwirkungen zwischen klimatischen Stressfaktoren und Pathogenen außer Acht gelassen. Speziell im Fall der Schwarzkiefer sind diese Wechselwirkungen jedoch von zentraler Bedeutung, da diese Baumart mit dem endophytisch lebenden Pilz *Diplodia sapinea* (Fr.) Fuckel (dem sogenannten Diplodia-Kieferntriebsterben) eng assoziiert ist. Das Diplodia-Triebsterben tritt als sogenannter Wund- und Schwächeparasit auf und kann sich bei lang anhaltender Trockenheit rasch und epidemieartig ausbreiten. Die Symptome dieses Erregers treten vor allem nach der Sommertrockenheit auf und der epidemiologische Verlauf wird durch die Kombination von mild-feuchten Wintern und heiß-trockenen Sommern noch weiter begünstigt. Kleinräumig modellierte Klimaszenarien für die Hauptanbauregionen der Schwarzkiefer in Niederösterreich und Kärnten prognostizieren bis zum Jahr 2100 einen Anstieg der Jahresmitteltemperatur (um 1,3 °C bis 4,2 °C), eine Zunahme an Hitzetagen (1,5-29 Tage) und eine Abnahme an Eistagen pro Jahr (von 27 auf 16 bzw. 0). Es ist daher zukünftig mit einer weiteren Zunahme und mit großflächigem Auftreten des Kieferntriebsterbens zu rechnen.

Diese Broschüre soll einen kurzen Überblick über das praxisrelevante Wissen geben, welches wir am Bundesforschungszentrum für Wald (BFW) gemeinsam mit unseren Kooperationspartner:innen über diese Baumart gesammelt haben. Im Mittelpunkt stehen dabei die Wechselwirkungen der Schwarzkiefer mit dem Pathogen *Diplodia sapinea*, die forstliche Nutzung der Schwarzkiefer und die Rolle dieser Baumart für

die Waldbewirtschafter:innen, aber auch für das gesamte Waldökosystem. Wir haben versucht, Wiederholungen mit anderen praxisrelevanten Veröffentlichungen zu vermeiden, Überlappungen sind allerdings nicht auszuschließen.

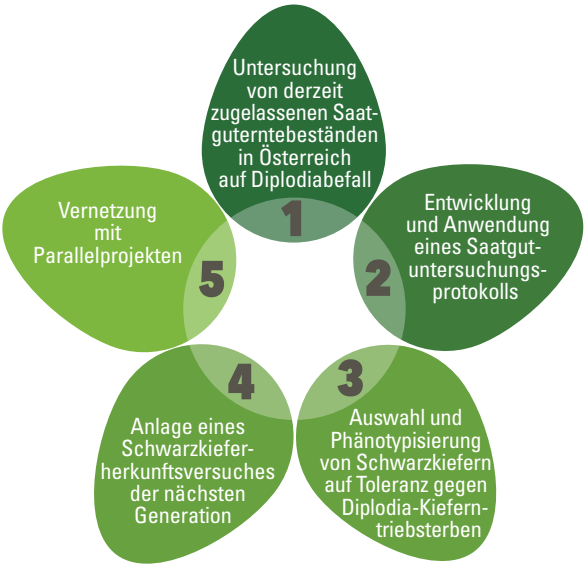
Im ersten Teil dieser Broschüre berichten Experten und Expertinnen über die neuesten Entwicklungen der Schwarzkiefer in den Bereichen Systematik, Ökologie, Verbreitung, Geschichte, Saatgut, Holzverwendung, Waldbau und Waldschutz.

Im zweiten Teil werden praxisrelevante Ergebnisse des Projekts „**ASKFORGEN**" vorgestellt. Ziel dieses Projektes war es, für die wertvollen und durch die Baumart Schwarzkiefer geprägten Waldökosysteme eine Grundlage zur langfristigen Anpassung an die zukünftigen Klimabedingungen zu erarbeiten. Dabei sollte die bereits bestehende innerartliche Variabilität dieser Baumart genutzt werden.

Das Projekt **ASKFORGEN** (**A**npassung autochthoner und kulturell wertvoller Schwarzkiefernwälder an zukünftige **K**limabedingungen unter spezieller Berücksichtigung **FOR**stpathologischer Probleme und innerartlicher **GEN**etischer Variation), gefördert vom Bund, den Ländern und der Europäischen Union, wurde im Oktober 2018 am BFW als dreijähriges Projekt gestartet. Dieses wurde mit dem Fokus auf Schwarzkiefer und *Diplodia* auf eine breite Basis gestellt, da in diesem Themengebiet noch vieles unbekannt ist.

Im Projekt sollten Fragen beantwortet werden wie: „Wie kann ich vermutlich resistente Bäume finden?", „Wie oft kommen diese vor?", „Wird die Schwarzkiefer auch noch in Zukunft in Niederösterreich weiter ihre führende Rolle behalten oder kommen hier andere Baumarten besser zurecht, und haben sie auch forstwirtschaftlichen Nutzen?", „Wie kann ich *Diplodia* methodisch nachweisen?", „Wie stark sind unsere Saatguterntebestände von *Diplodia* befallen?". Zudem soll auch eine Wissensbasis geschaffen werden, um diese Fragen in der Zukunft noch detaillierter beantworten zu können.

Im Rahmen des Projektes wurden folgende Vorhaben verwirklicht:



Phänotypisierung von zweijährigen Schwarzkiefern hinsichtlich ihrer Toleranz gegenüber dem Diplodia-Kiefernsterben (© Meisel, BFW)

1. TEIL 1 - Praxiswissen Schwarzkiefer

1.1 Schwarzkiefer – Systematik und Unterscheidungsmerkmale

Roman Ufimov
Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik des BFW

1.1.1 Beschreibung und Systematik

Die Kiefern (auch Föhren oder wissenschaftlich *Pinus*) bilden eine Pflanzengattung in der Familie der Kieferngewächse (*Pinaceae*), welche wiederum zur Ordnung der Nadelhölzer (Koniferen) gehören. Die Gattung *Pinus* umfasst rund 113 Arten und ist die größte und wohl bedeutendste Gattung innerhalb der Koniferen. Sie ist in der nördlichen Hemisphäre weit verbreitet und viele Arten sind für bestimmte Ökosysteme beschreibend.

Kiefern sind immergrüne, zapfentragende und harzreiche Bäume (oder selten Sträucher). Sie sind monözisch; männliche und weibliche Zapfen werden von einem Baum getragen. Die meisten Arten haben eine dicke, gefurchte Rinde und es wird zwischen zwei Sprossarten (Lang- und Kurztriebe) sowie zwischen drei Blattarten (primordial, schuppig oder adult) differenziert. Keimlinge haben lanzenförmige, spiralartig angeordnete Primordial-Blätter, während dreieckige oder auch lanzenförmige Schuppenblätter an Langtrieben älterer Bäume vorkommen. Sowohl Lang- als Kurztriebe werden in den Blattachseln abfallender Schuppenblätter entwickelt. Die nadelförmigen, photosynthetisch aktiven und adulten Blätter haben mindestens zwei Harzgänge und sind an der Spitze jedes Kurztriebes in Faszikeln gebündelt, mit meist zwei bis fünf Nadeln (selten acht oder solitär). Sie verbleiben 2 bis 17 Jahre am Baum. Männliche Zapfen sind klein und fallen nach einer kurzen Periode der Pollenabgabe wieder ab. Weibliche Zapfen benötigen nach erfolgreicher Bestäubung in Abhängigkeit der Baumart zwischen 1,5 und 3 Jahre zur Reifung. Jeder weibliche Zapfen hat spiralförmig angeordneten Schuppen mit je zwei Samen. Die Schuppen an der Basis und am Spitz der Zapfen sind klein, steril und samenlos. Die Samen sind vorwiegend klein, geflügelt und anemochor (windbestäubt), doch einige sind größer und haben nur einen rudimentären Flügel. Sie werden durch Vögel verbreitet.

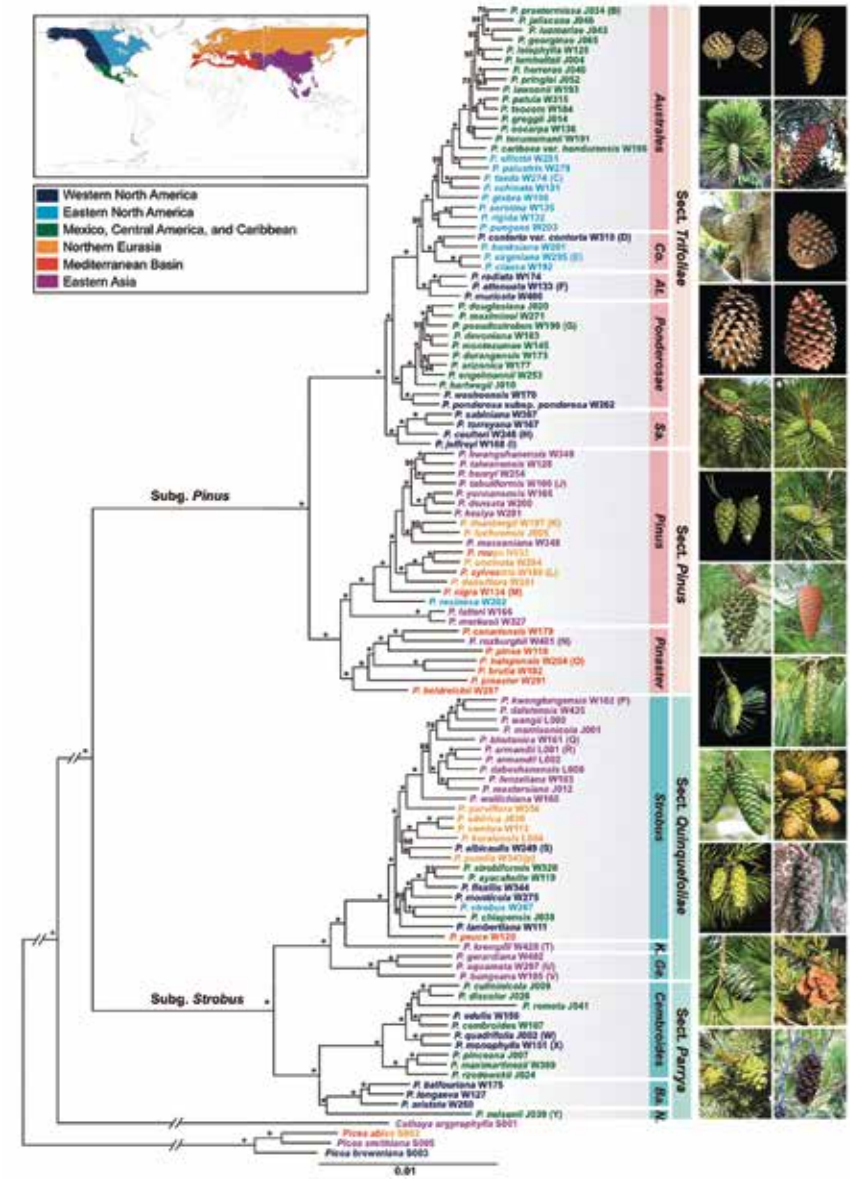
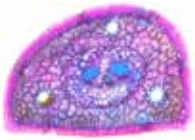
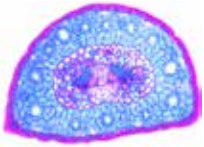


Abb. 1.1.1: Phylogenie der Gattung Kiefer (*Pinus*) (aus Jin et al. 2021)

Tab. 1.1.1: Vergleich zwischen *P. nigra*, *P. sylvestris* und *P. mugo/P. uncinata*

	Pinus sylvestris	***Pinus nigra***	***Pinus mugo*** ***Pinus uncinata***
Wuchsform	Baum mit (10)15 bis 30(40) Höhe	Baum mit 30 bis 40 m Höhe	Strauch oder kleiner Baum mit 1 bis 3 m Höhe (*P. mugo*) oder Bäume von bis zu 25 m Höhe (*P. uncinata).*
Rinde	Stamm (Rinde) älterer Bäume ist zweifärbig (unten schwarz-braun bis grau-braun, oben fuchsrot bis ocker-gelb [insbesondere die Krone])	Stamm (Rinde) entlang der gesamten Länge grau	Stamm/Stämme immer einfarbig hellgrau bis schwarz/braun
Nadeln	Maximallänge von 6 bis 8 mm	Nadeln 10 cm und länger	Maximallänge von 6 bis 8 mm
	3 bis 8 marginale Harzgänge, (1)2 bis 3 Hypodermis-Schichten	7 bis 13 mediale Harzgänge, 1 bis 5 Hypodermis-Schichten	2 bis 3 marginale Harzgänge, 1 Hypodermis-Schicht

	Pinus sylvestris	***Pinus nigra***	***Pinus mugo*** ***Pinus uncinata***
Nadeln			
Zapfen	Reife Zapfen von 3 bis 7 cm Länge, Stiellänge mindestens 5 mm, obere Schuppenkante rhombisch	Reife Zapfen von 6 bis 8 cm Länge, nahezu stängellos, obere Schuppenkante abgerundet	Reife Zapfen von 2 bis 5 cm Länge, (nahezu) stängellos (selten bis zu 5 mm Stiellänge)
Samen	Samenlänge 3 bis 5 mm, Flügellänge 10 bis 15 mm	Samenlänge (4-)6 bis 8 mm, Flügellänge 15 bis 25 mm	Samen klein, Länge 3 bis 4 mm, Flügellänge 10 bis 13 mm

Pinus hat eine lange evolutionäre Geschichte, die bis in das späte Jura oder in die frühe Kreide zurückdatiert. Es ist die einzige Koniferengattung, zu der es mehrere umfangreiche Studien der phylogenetischen Verwandtschaftsverhältnisse gibt, die auf genetischen, aber auch auf morphologischen Daten beruhen. Die moderne Klassifizierung der Gattung *Pinus* (basierend auf Jin et al. (2021) unterscheidet dabei zwei Subgattungen – *Pinus* und *Strobus* (Abb. 1.1.1).

1.1.2 Unterscheidung der heimischen Kiefernarten

Es gibt fünf Kiefernarten, die natürlicherweise in Österreich vorkommen. In die Subgattung *Pinus*, mit 2 Nadeln pro Faszikel, fallen die Schwarzkiefer (*Pinus nigra*), die Weißkiefer oder Waldkiefer (*Pinus sylvestris*), die Bergkiefer oder Latsche (*Pinus mugo* sensu stricto) und die Spirke (*Pinus uncinata*). Die Spirke wird oft als Unterart oder Varietät von *P. mugo* angesehen und unterscheidet sich von ihr hauptsächlich durch den aufrechten Wuchs. Die Zirbenkiefer oder Arve (*Pinus cembra*) der Subgattung Strobus hat fünf Nadeln pro Faszikel und ist dadurch leicht von den anderen Arten unterscheidbar (siehe Tabelle 1.1.1 für einen Vergleich von *P. nigra*, *P. sylvestri*s und *P. mugo*).

Pinus nigra ist ein wichtiger Waldbaum der montanen Zone in europäischen, mediterranen Regionen. Das Art-Epitheton bedeutet „schwarz" und bezieht sich vermutlich auf die Rinde, die wesentlich dunkler als die der syntop vorkommenden *P. sylvestris* ist. Die Rinde ist grau bis gelb-braun und weitläufig durch Fissuren, die zur Bildung blättriger Schuppen führen, durchzogen. Diese Schuppenbildung nimmt mit dem Alter zu. Die Zapfen blühen zwischen April und Ende Mai (Abb. 1.4.1). Die reifen Samenzapfen haben abgerundete Schuppen und reifen nach rund 18 Monaten zwischen September bis November von grün nach blass grau- oder gelb-glänzend ab. Die Samen sind dunkelgrau und haben einen gelb-glänzenden Flügel; sie werden von Dezember bis April, wenn die Zapfen geöffnet sind, durch den Wind verbreitet. Bäume werden ab 15 bis 40 Jahren reproduktionsfähig; Mastjahre mit größeren Samenmengen treten im Abstand von zwei bis fünf Jahren ein. *Pinus nigra* hat einen mittelstarken Wuchs mit Höhenzuwächsen von 30 bis 70 cm pro Jahr. Sie hat gewöhnlich eine runde, konische Kronenform, die mit fortschreitendem Alter zunehmend unregelmäßig wird. Bäume können sehr langlebig sein und erreichen mitunter über 500 Jahre.

1.1.3 Verbreitung der Schwarzkiefer und ihrer Unterarten

Das Verbreitungsgebiet der Schwarzkiefer spannt sich in einem weiten Bogen über den nördlichen Rand des Mittelmeeres, von den Pyrenäen bis ins anatolische Taurusgebirge. Das mediterran-montane Areal ist in viele, oft isolierte Einzelvorkommen zersplittert, weshalb morphologische Merkmale oft großer geografischer Variation unterliegen. Wenige andere Arten haben eine mit *P. nigra* vergleichbar komplexe taxonomische Geschichte. Es gibt oft beschriebene Varietäten von Unterarten, die wiederum einzelnen Arten zugeordnet werden, insbesondere für Süd- und Südosteuropa. Die Flora Europaea unterscheidet 5 Unterarten in Hinblick auf die ursprüngliche Herkunft und die Länge sowie Flexibilität der Nadeln (siehe Tab. 1.1.2, Abb. 1.1.2). Zusätzlich werden Unterarten von *P. nigra* in zwei größeren Clustern zusammengefasst (Olsson et al. 2020), die jeweils westliche (ssp. *salzmannii* und *laricio*) und östliche Populationen (spp. *nigra*, *dalmatica*, *pallasiana*) beinhalten.

Tab. 1.1.2: Übersicht der fünf anerkannten Unterarten der Schwarzkiefer (*Pinus nigra*)

Unterart	Verbreitung	Morphologische Merkmale
ssp. *nigra* **Österreichische Schwarzkiefer**	Ost-Österreich; Balkanhalbinsel; Bulgarien; Rumänien; europäische Türkei	matt-gräuliche Zweige. Nadellänge 8 bis 13 cm, sehr starr, spitz und dunkelgrün. Bäume bis 40 m Höhe
ssp. *dalmatica* **Dalmatinische Schwarzkiefer**	Südost-Europa: Kroatien	matt gräuliche Zweige. Nadeln kurz, 4 bis 7 cm lang, sehr starr, spitz, dunkelgrün. Kleine Bäume, bis 15 m Höhe
ssp. *pallasiana* **Krim-Kiefer**	Zypern; Krim-Halbinsel über die Küstenregion des Schwarzen Meers nach Krasnodar; Türkei	glänzend ocker-braune Zweige. Lange Nadeln von 12 bis 17 cm Länge, schlank
ssp. *salzmannii* **Pyrenäen-Kiefer**	Südwest-Europa; Frankreich (Cevennen, Pyrenäen); Spanien; Algerien (Monts du Hodna); Marokko (Rif-Gebirge)	orange-braune Zweige mit nadelfreier Basis. Nadellänge 8 bis 16 cm, schlank, flexibel und hellgrün
ssp. *laricio* **Korsische Schwarzkiefer**	Mittelmeer-Region: Korsika, Italien	matt-braune Zweige. Nadel-länge 8 bis 15 cm, flexibel, dünn, gebogen, hellblau/-grün

Unterscheidungen sind allerdings nicht immer klar. Es herrscht starker Genfluss zwischen unterschiedlichen Abstammungslinien, sodass viele gegenwärtige Populationen durchmischt sind.

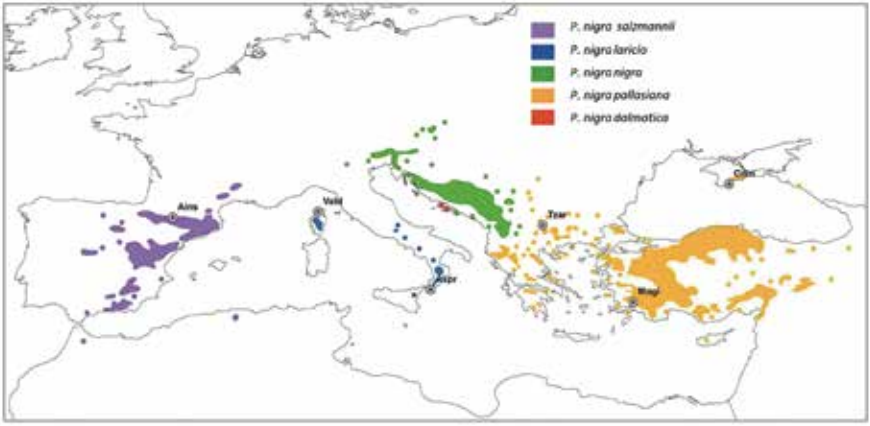


Abb. 1.1.2: Verbreitung der fünf *P. nigra*-Unterarten (aus Olsson et al. 2020)

1.2 Schwarzkiefer in Österreich

Georg Frank
Institut für Waldbiodiversität und Naturschutz des BFW

1.2.1 Verbreitung und Geschichte

Die Schwarzkiefer (auch Schwarzföhre, Schirmföhre oder wienerisch Parapluibaum) hat am österreichischen Alpenostrand ihr nördlichstes natürliches Vorkommen. Aber auch hier wäre die Schwarzkiefer von Natur aus nur auf schroffen Kalkfelsen (zum Beispiel Höllental, Öd im Piestingtal) oder auf sehr nährstoffarmen Dolomit-Standorten heimisch - überall dort, wo keine andere Baumart in der Lage ist, sich anzusiedeln und wo sie daher nicht durch Laubbäume überwachsen wird. Der weitaus größte Teil der Vorkommen in Niederösterreich wurde aber künstlich begründet und gefördert. Kleinere natürliche Vorkommen gibt es in Kärnten im Loibltal, in der Trögerner Klamm und am Südabfall des Dobratsch. Auch dort besiedelt die Schwarzkiefer entweder schroffe Kalkfelsen oder magere Dolomit-Standorte, wo sich die Illyrischen Buchenwälder nicht ansiedeln können.

Pinus nigra ssp. *nigra*, veraltet auch var. *austriaca* bezeichnet, kann mit Fug und Recht als ***die*** österreichische Baumart bezeichnet werden. Eine spezifische Nutzung ist die Gewinnung von Harz (auch „Pech“ genannt) durch gezieltes Entfernen der Baumrinde, welche im südlichen Niederösterreich vermutlich seit dem 17. Jahrhundert betrieben wird. Von der Harznutzung waren – bis zur Erfindung synthetischer Ersatzstoffe – ganze Industrien abhängig. Um 1960 war die Harznutzung dadurch schlagartig beendet und viele Harz-Raffinerien, welche die Destillationsprodukte Kolophonium und Terpentinöl herstellten, mussten aufgeben. Damit war auch die besondere Kultur der Pecher vom Verschwinden bedroht. Umso erfreulicher ist es, dass es heute wieder bäuerliche Betriebe gibt, die das Harz nach alten Techniken gewinnen und daraus bewährte und wieder gefragte Hausmittel erzeugen.

Die niederösterreichischen Schwarzkiefernwälder wurden aber auch weit über die Landesgrenzen hinaus bekannt. Bereits 1884 erkundete eine französische Delegation das Vorkommen in Niederösterreich, um

im großen Stil Samen-Ressourcen für die Aufforstung degradierter und von Erosion heimgesuchter Gebiete in Frankreich sicherzustellen. Wiener Neustadt entwickelte sich daraus zu einem Zentrum des Handels mit Forstsämereien. Heute, im Zeichen der Klimaerwärmung, ist die Schwarzkiefer auch außerhalb ihres natürlichen Areals, in ganz Europa als robuste, Trockenheit ertragende Baumart gefragt. Bereits in der Monarchie wurde die Schwarzkiefer bevorzugt für die Aufforstung des Karstes und des Küstenlandes im Adriagebiet verwendet. Viele der Aufforstungen, welche langfristig auch der Versorgung der Kriegs-Marine dienen sollten, gehen auf Josef Ressel zurück, der als k.k. Forstinspektor in Istrien ganz nebenbei auch die Schiffsschraube erfand.

1.2.2 **Standortsansprüche**

Die Schwarzkiefer ist eine Lichtbaumart, aber in der Jugend weniger lichtbedürftig als die Weißkiefer. Sie kann sich daher nachhaltig nur an Standorten behaupten, wo sie in der Verjüngung nicht von anderen, schattenertragenderen Baumarten, meist Laubbäumen, verdrängt wird. Außerhalb ihres mediterran-montanen Kernareals, in dem sie auch auf silikatischem Substrat vorkommt, müssen also Standortsbedingungen herrschen, die für ihre Konkurrenten weniger geeignet sind als für die Schwarzkiefer selbst. Solche Bedingungen herrschen am Alpenostrand und in den Südalpen auf sehr reinen Kalken, verbunden mit einem für den Wasserhaushalt der Böden ungünstigem Relief (steile Oberhänge, Rücken, felsdurchsetzte südexponierte Hänge), auf denen sich nur sehr flachgründige, oft jedoch spaltengründige Rendsinen entwickeln können. Für die Schwarzkiefer erträgliche, aber für ihre Konkurrenten ungünstige Verhältnisse herrschen auch auf Dolomit, welcher einen grusigen physikalischen Zerfall und einen für die meisten Baumarten ungünstigen Chemismus (Magnesiumüberangebot, enges Ca:Mg-Verhältnis) aufweist. Dies führt zu sehr flachgründigen Rendsinen als ausgesprochene Trockenböden, im Extremfall zur Protorendsina mit nur wenigen Zentimeter Mächtigkeit, direkt über dem anstehenden Felsen, ohne Regenwurmaktivität, weil diese nicht in tieferliegende Schichten ausweichen können.

Das ökologische Optimum der Schwarzkiefer, und damit ihr natürliches Areal, ist sowohl am Alpenostrand als auch in den Karawanken,

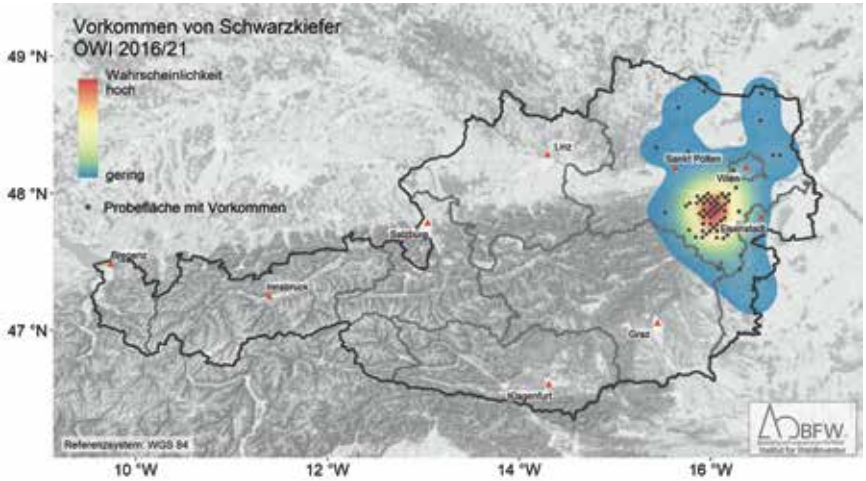


Abbildung 1.2.1: Verbreitung der Schwarzkiefer nach österreichischer Waldinventur (© BFW)

Gailtaler und Karnischen Alpen streng an die genannten Standortsbedingungen gebunden, die andere Baumarten ausschließen oder auf denen die Schwarzkiefer unter natürlichen Bedingungen zumindest einen Konkurrenzvorteil hat. Daraus resultieren auch die zersplitterten natürlichen Teilareale in Niederösterreich und Kärnten.

Das physiologische Optimum der Schwarzkiefer liegt jedoch außerhalb der edaphisch und lokalklimatisch bedingten Extremstandorte. Am besten gedeiht die Baumart auf tiefgründigen, frischen, lehmigen Böden, kann sich aber nur etablieren, wenn die Konkurrenz fehlt. Man kann – innerhalb des Rahmens der montanen Standorte am Alpenostrand - sagen, dass die Schwarzkiefer umso besser wächst, je weiter sie von ihrem ökologischen Optimum entfernt ist.

1.2.3 **Künstliche Vorkommen**

Bis zum Ende der industriellen Harznutzung um 1960 konnte die Schwarzkiefer in Niederösterreich ihr Areal durch menschliche Förderung stark ausdehnen. Nur etwa 10-20 % der Bestände sind natürliche Schwarz-

kiefernwälder, der weitaus überwiegende Teil stockt auf natürlichen Laubwaldstandorten. Die Arealausweitung ist einerseits auf Verschiebung der Konkurrenzverhältnisse durch Beweidung, Streunutzung und Kahlschlag zurückzuführen, andererseits auf bewusste Förderung für die Harznutzung. Die österreichische Waldstandsaufnahme 1952-1956, welche noch parzellenscharf wie eine klassische Forsteinrichtung durchgeführt wurde, ergab für Niederösterreich noch eine Fläche von 32.649 ha. Seit 1960 erobern die Laubwälder ihre Standorte wieder zurück. Derzeit liegt die Fläche in Niederösterreich bei zirka 17.000 ha (Österreichische Waldinventur, Periode 2016/21, www.waldinventur.at, Abb. 1.2.1).

Gemeinsame Kennzeichen der sekundären Bestände sind weniger extreme Standorte, tiefgründige und frische, oft lehmige Böden. Der Nebenbestand der Schlussbaumarten und die oft ausgeprägte Strauchschicht machen eine natürliche Verjüngung ohne Störungen (Kahlschlag, Bodenverwundung, Brand) unmöglich. Hier die Liste der sekundären Standorte der Schwarzkiefer in Österreich:

Flaumeichenwald-Standorte: meist auf trockenen, Kalkstein-Braunlehm-Kolluvien, nicht auf Dolomit; z.B. aufgelassene Weingärten, tiefe Lagen am Rande der Thermenalpen, Fischauer Vorberge; mäßige Wuchsleistung und Vitalität (selten über 15 m).
Standorte des subkontinentalen Eichen-Mischwaldes: warme Hanglagen mit wechseltrockenen bis wechselfrischen Braunlehmen, teilweise auf fluviomarinen Schottern oder Konglomeraten; die vielfach gepflanzten Bestände werden bei lichtem Schluss rasch von den Klimaxbaumarten (Eiche, kennzeichnend auch Elsbeere) unterwandert.
Standorte des Kalk-Eichen-Hainbuchenwaldes: auf Plateaulagen und sonnigen Kalkhängen mit Kalkstein-Braunlehm, verbreitet besonders auf Rohrbacher Konglomerat, reich entwickelte Strauchschicht, oft niederwaldartige Bestände mit gepflanzter Schwarzkiefer.
Standorte des Weißseggen-Buchenwaldes: in submontanen bis tiefmontanen Lagen in den humiden Randalpen; mittelgründige Rendsinen auf ausgeglichenem Relief über Kalk oder Dolomit; großflächige Degradationsstadien, aber vielfach im humiden Randbereich des Schwarzkiefernareals eine natürliche Durchdringungsgesellschaft; Schwarzkiefer bildet die Oberschicht, Buche beigemischt oder im Nebenbestand.
Standorte des Waldmeister-Buchenwaldes: auf tiefgründigen, frischen

Kalkstandorten und in der Grauwackenzone bei gleichzeitig humidem Klima, absolutes Wuchsoptimum der Schwarzkiefer mit Höhen bis 37 m (z.B. Thalhof bei Reichenau); ohne künstliche Wiederbegründung und Konkurrenzregelung entwickelt er sich zum Buchenwald.

1.2.4 **Naturwaldreservate**

Das österreichische Naturwaldreservate-Programm hat den Aufbau eines für alle in Österreich vorkommenden Waldgesellschaften repräsentativen Netzwerkes von Naturwaldreservaten (NWR) zum Ziel (www.naturwaldreservate.at). Darin sollen auch die natürlichen Waldgesellschaften des Schwarzkiefernwaldes mit ihren Übergängen zu Kontaktgesellschaften entsprechend abgebildet sein.

Die Schwarzkiefer kommt in den folgenden acht NWR vor:

Schöpfeben-Merkenstein: Das 20,6 ha große NWR wurde bereits 1992 auf Basis einer Vereinbarung zwischen Univ.-Prof. Kurt Zukrigl (BOKU) und den Österreichischen Bundesforsten eingerichtet und 1999 ins NWR-Programm übernommen. Das NWR enthält ein Mosaik von natürlichen Schwarzkiefernwäldern, eng verzahnt mit natürlichen Buchenwäldern, aber auch sekundären Schwarzkiefernbeständen.
Gaisberg-Merkenstein: In unmittelbarer Nähe zu Schöpfeben, aber von natürlichen Buchen- und Eichenwäldern dominiert, nur inselförmige Vorkommen von Schwarzkiefernwäldern auf exponierten Reliefteilen.
Mitterberg-Baden: großflächige, natürliche Schwarzkiefernwälder nach Südwesten exponiert auf Dolomit mit Übergängen zum viel artenärmeren Weißseggen-Buchenwald und dem seltenen kleinflächig ausgebildeten Linden-Kalkschutthalden-Wald (siehe Abb. 1.2.2).
Siebenbründlleiten-Helenental: Gegenüber von Mitterberg-Baden, nach Norden und Osten exponiert. Auf den schattseitigen Hängen zieht sich die Schwarzkiefer auf exponierte Dolomitrücken zurück, während der Weißseggen-Buchenwald die steilen Hänge und der Waldmeisterbuchenwald mit Bärlauch die frischen Unterhänge einnimmt.
Flatzer Wand-Neunkirchen: Extremes südexponiertes Gelände, durchsetzt von Felspartien und Felswänden aus Wettersteinkalk. Typisches reliefbedingtes Waldgesellschaftsmosaik aus natürlichem Schwarz-

kiefernwald, wechselnd mit Flaumeichenwald und Weißseggenbuchenwald.

Ledererkogel-Gutenstein: Wettersteinkalk und Wettersteindolomit, durchzogen von Felsrücken führen zu sehr unterschiedlichen Standortsbedingungen auf kleinstem Raum und zur Verzahnung natürlicher Schwarzkiefernwälder mit Weißseggen-Buchenwald.

Potokkessel-Trögern: Das NWR deckt durch seine große Höhenerstreckung und die Kessellage die Abfolge zwischen dem Mannaeschen-Schwarzkiefernwald der Karawanken zum Illyrischen Buchenwald ab. In den höchsten Lagen wird der Schwarzkiefernwald vom Weißkiefernwald abgelöst. Das NWR war 1998 von einem großflächigen Waldbrand betroffen. Seither wird die Sukzession nach Waldbrand untersucht (siehe Abb. 1.2.3).

Unterbergner Wald-Loibltal: Mannaeschen-Schwarzkiefernwald auf Dolomit-Schuttkegel mit ausgeprägter Strauchschicht mit illyrischen Arten. Es ist nicht sicher, ob es sich um eine primäre Ausbildung der Waldgesellschaft handelt oder um ein Sukzessionsstadium nach Beweidung oder Kahlschlag hin zu wärmebegünstigten Ausbildungen des Illyrischen Buchenwaldes.

Abb. 1.2.2: Schwarzkiefern im Naturwaldreservat Mitterberg-Baden (NÖ) (© Frank, BFW)

Abb. 1.2.3: Schwarzkiefern im Naturwald-Reservat Potokkessel-Trögern (Kärnten)
(© Frank, BFW)

1.3 Heimisches Saatgut und Erntebestände

Marcela van Loo
Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik des BFW

Abb.1.3.1: links: weibliche Zapfen der Schwarzkiefer, rechts: männliche Blüten der Schwarzkiefer (© van Loo, BFW)

1.3.1 Saatgut – Herkunft und Qualitätskriterien

Für die Vitalität und Stabilität der Wälder sind viele Faktoren wichtig: Vielfalt an Genen, Arten und Strukturen sowie die jeweils geeignete Herkunft. Die Erhaltung dieser biologischen Vielfalt in den Wäldern ist eine Grundvoraussetzung, um deren Anpassung an den Klimawandel zu ermöglichen.

Der Begriff „Herkunft“ (Provenienz) bezieht sich nicht nur auf den Ort, aus dem das Vermehrungsgut (Saat- und Pflanzgut) ursprünglich gewonnen wurde. Es bezieht sich auch auf all die „Erfahrungen“ der vorangegangenen Baumgenerationen, die zur Anpassung an den Standort mit den dort herrschenden Umweltbedingungen beigetragen haben und welche in den Genen gespeichert wurden. Aufgrund der rasanten Klimaänderung müssen aber diese „Erfahrungen“ aus der Vergangenheit nicht immer zum zukünftigen Klima in dieser Region passen.

Der fortschreitende Klimawandel zwingt Waldbewirtschafter und Waldbewirtschafterinnen zu noch aktiverem Handeln. Das vermehrte Auftreten von Trockenperioden in den letzten Jahren, die auch das Blühverhalten beeinflussen (Abb. 1.3.1), und die darauffolgenden Borkenkäferkalamitäten sowie die verstärkte Ausbreitung von weiteren Schädlingen und Krankheitserregern zeigen, dass das Thema der Anpassung der Wälder an den Klimawandel aktueller denn je ist. Im Zuge von Aufforstungen oder Ergänzungspflanzungen sollten nicht beliebige Herkünfte verwendet werden, sondern solche, die mit dem zukünftigen Klima besser zurechtkommen. Und diese können auch aus einem anderen Wuchsgebiet oder aus dem Ausland kommen. Eine der möglichen Klimaanpassungsmaßnahmen ist die „unterstützte Migration". Darunter versteht man, dass der Mensch den Baumarten bei der Ausbreitung hilft, indem Saatgut und Forstpflanzen in neue Gebiete transferiert werden, da ihre natürlichen Mechanismen durch Pollen- und Samenausbreitung mit der raschen Klimaerwärmung nicht Schritt halten können. In einigen Ländern wie

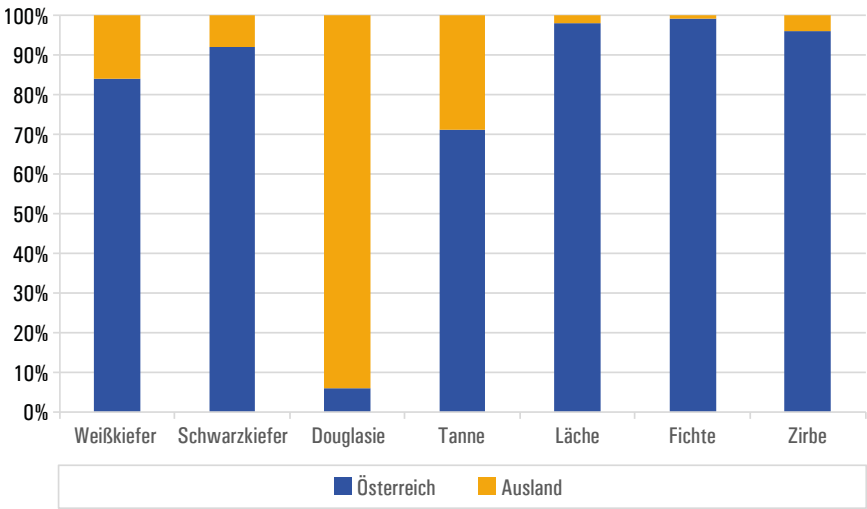


Abb. 1.3.2: Versorgung mit Pflanzgut aus Österreich und dem Ausland von sieben ausgewählten Nadelbaumarten, dargestellt als Mittel von 2012 - 2018.

(© Bundesamt für Wald)

Schweden, Kanada und den USA wird die unterstützte Migration in ihren verschiedenen Formen bereits praktiziert (Buchacher et al. 2020). In Österreich wurden im Jahr 2022 die ersten Demonstrationsflächen zum Testen dieser Klimaanpassungsmaßnahme angelegt. Hier werden heimische Herkünfte und nichtheimische, vermutlich besser klimaangepasste Herkünfte der Traubeneiche und Buche aus dem Ausland in der Praxis getestet (www.interreg-athu.eu/en/reinforest).

Bisher ist die Einfuhr von Vermehrungsmaterial aus dem Ausland hauptsächlich auf die Nichtverfügbarkeit von inländischem Material zurückzuführen, und noch nicht auf die unterstützte Migration. Bei Schwarzkiefer stammte zwischen 2012 und 2018 im Durchschnitt etwa 90 % des Saatguts für forstwirtschaftliche Zwecke aus inländischen Quellen (Abb.1.3.2). Das ausländische Saatgut stammte aus Slowenien und Ungarn.

1.3.2 **Saatgut-Erntebestände**

In Österreich kommt das Saatgut der Schwarzkiefer nur in der Kategorie „ausgewählt“ auf den Markt und stammt somit ausschließlich aus zugelassenen Erntebeständen. Derzeit gibt es hierzulande keine Samenplantagen der Schwarzkiefer. Die über 40 Erntebestände befinden sich ausschließlich in Niederösterreich, dem Hauptverbreitungsgebiet der Schwarzkiefer in Österreich, in Höhenlagen zwischen 280 und 1060 m (Abb. 2.1.1). Obwohl es eine hohe Anzahl von Erntebeständen gibt, wurden zwischen 2005 und 2021 nur 12 von ihnen beerntet, einige jedoch bis zu neun Mal. Bei den insgesamt 26 Beerntungen wurden etwa 9 Tonnen Zapfen gewonnen.

Erntebestände werden eigens von Experten des Bundesamts für Wald begutachtet und müssen eine Reihe von Kriterien hinsichtlich ihrer Vitalität und Qualität erfüllen, um als erntewürdig zu gelten. Bei der Schwarzkiefer müssen mindestens 20 Bäume, bei Saatgut mit der Zusatzbezeichnung “erhöhte genetische Vielfalt” mindestens 50 Bäume beerntet und die entsprechenden Einzelbaumproben an das BFW geschickt werden, wo sie ordnungsgemäß hinterlegt werden. Die Einzelbaumproben umfassen drei Zapfen pro beerntetem Baum. Die nationale Liste mit den registrierten Erntebeständen wird laufend erweitert und ist auf

Abb.1.3.3: keimendes Saatgut der Schwarzkiefer (© van Loo, BFW)

1.4 Herkunftsversuche

Raphael Thomas Klumpp
Institut für Waldbau, BOKU

1.4.1 Über Herkunftsversuche

Für die praktische Waldwirtschaft sind Herkunftsversuche (Provenienzversuche) von großer Bedeutung. Mittels derartiger Versuche werden unterschiedliche Herkünfte (Bestandes-Absaaten, deren Ursprung bekannt ist) oder Nachkommen ausgewählter Mutterbäume auf ihre Anbauwürdigkeit in bestimmten Regionen getestet. Dabei versucht man, die Bandbreite der möglichen Standorte und Klimabedingungen, unter welchen die getesteten Herkünfte optimal bzw. suboptimal oder gar nicht wachsen können, herauszufinden. Derartige Tests können in einer Baumschule, einem Labor oder im Freiland durchgeführt werden und geben letztlich Auskunft, wie eine Art oder Unterart in sogenannte „Ökotypen" oder „Herkünfte" (mit spezifischen Wuchs- und Standorteigenschaften) untergliedert werden können. Die Ökotypen einer Art teilen somit das gleiche Aussehen der Nadeln, Zapfen oder anderer Merkmale, sie unterscheiden sich aber deutlich hinsichtlich Eigenschaften wie beispielweise Frosttoleranz, Trockenresistenz, Höhenwachstum oder Krankheitsresistenz.

1.4.2 Schwarzkiefern-Herkunftsversuche

Provenienzversuche mit Schwarzkiefer wurden zur Mitte des 20. Jahrhunderts in Europa, den USA und Neuseeland angelegt (vgl. Röhrig 1966). Herkünfte aus Korsika und Kalabrien zeigten sich überall als raschwüchsig und mit ausgezeichneten Stammformen, besonders auf silikatischen Standorten. In vielen Fällen waren sie dabei auch resistent gegenüber Winter- oder Spätfrösten. Ausnahmen waren Versuche in den USA und Deutschland (Röhrig 1966), wo der extreme Winter 1962/63 zu zahlreichen Totalausfällen in norddeutschen Versuchsanlagen führte. Herkünfte aus Spanien und Südfrankreich zeigten erhebliche Frostschäden, während Herkünfte aus Österreich (Flatz bei Neunkirchen und Steinfeld bei Wiener Neustadt), Kalabrien, damaliges Jugoslawien, Griechenland und

Zypern überhaupt keine Schäden zeigten. Auch eine türkische Herkunft fiel bereits nach einem Jahr (1957) komplett aus (Röhrig 1966). Unterschiedliche Versuchsergebnisse aus Europa deuten auf eine geringe Kalktoleranz der Unterart *laricio* (vgl. Isajev et al. 2003), die in den norddeutschen Versuchen jedoch nicht bestätigt werden konnten (Röhrig 1966). Neue Versuche wurden vom Bayerischen Amt für Saat und Pflanzenzucht (Teisendorf, Bayern) ab dem Jahr 2009 und 2010 in Bayern, Brandenburg, Hessen und Kroatien angelegt (Huber 2011). Der Verfasser bzw. das Institut für Waldbau der Universität für Bodenkultur (BOKU) unterstützte diesen Versuch mit Saatgutsammlungen aus Österreich und der Türkei sowie mit der Anlage und Betreuung von Versuchsanlagen in Österreich (s.u.). Erste Ergebnisse aus den deutschen Bundesländern Bayern und Brandenburg (Fischer et al. 2019) zeigen ein ähnliches Bild wie frühe Versuche der Preußischen Versuchsanstalt im 19. Jahrhundert (vgl. Röhrig 1966). Die Ausfälle auf den brandenburgischen Flächen (Nordost-Deutschland) liegen zwischen 50 % und 75 %, wobei besonders die Unterarten *laricio* und *salzmannii* eine hohe Mortalität mit über 60 % aufweisen (Fischer et al. 2019). Dagegen liegen die Ausfälle auf den bayerischen Versuchsflächen (Süddeutschland) im Mittel lediglich bei 10 % bzw. 15 %.

1.4.3 **Schwarzkiefern-Herkunftsversuche in Österreich**

In Österreich werden vom Institut für Waldbau der BOKU aktuell drei Versuchsanlagen mit Schwarzkiefern betreut: ein Kleinversuch mit korsischer Schwarzkiefer (Anlage 1955), eine Pilotstudie zum internationalen Schwarzkiefern-Herkunftsversuch 2009/2010 (s.o. Huber 2011) mit fünf Herkünften (Anlage 2010) sowie eine kürzlich angelegte Fläche bei Wiener Neustadt (2019), bei welcher Pflanzmaterial aus dem genannten internationalen Schwarzkiefern-Versuch erneut getestet wird.

Wie oben erwähnt, wurden im forstlichen Versuchsgarten der Universität für Bodenkultur (BOKU) in Wien von Prof. Schreiber zwei Kleinversuche mit korsischer und kalabrischer Schwarzkiefer im Jahr 1955 mit zweijährigen Sämlingen angelegt. Während die korsische Schwarzkiefer sich auf dem schweren Standort (Pseudogley aus Wienerwald-Flysch) sehr gut entwickelt, musste die kalabrische Herkunft 1993 aufgegeben

werden. Bei der korsischen Schwarzkiefer wurde eine Stammzahl von 656 Stämme/ha und ein mittlerer BHD von 27,6 cm nach der letzten Durchforstung (2011) ermittelt. Während der extrem trockenen Jahre 2018 und 2019 wurden keine Ausfälle beobachtet (Abb. 1.4.1). Die korsische Schwarzkiefer zeigt folglich auf diesem Standort am Rande des Wienerbeckens nicht nur eine beachtliche Wuchsleistung, sondern auch eine gewisse Toleranz gegenüber Trockenperioden, die übrigens auch in ihrer korsischen Heimat im Sommer regelmäßig auftreten.

Eine im forstlichen Versuchsgarten der BOKU im Jahr 2010 vom Verfasser angelegte Pilotstudie (vgl. Abb. 1.4.2) zur internationalen Versuchsreihe 2009/2010 enthält neben der österreichischen Herkunft „Dreistetten" eine französische Plantagenherkunft „Lanuejols" (*P.n. nigra*), eine bayerische Herkunft „Leinach 1", eine bulgarische (*Z. Rhodopi*) sowie eine

Abb. 1.4.1: Versuchsbestand mit *Pinus nigra* ssp *laricio* (veraltet: *corsicana*) im forstlichen Versuchsgarten der Universität für Bodenkultur. Versuchsanlage 1955 durch Prof. Schreiber. (© Klumpp, BOKU, 2021)

Abb. 1.4.2: Pilotstudie zum internationalen Schwarzkiefer-Provenienzversuch (Anlage 2009/2010) im forstlichen Versuchsgarten der Universität für Bodenkultur. (© Klumpp, BOKU, 2021)

türkische Herkunft (B. Camurlu). Bei einer Zwischenauswertung im Jahr 2018 zeigte die heimische Herkunft „Dreistetten" sehr gute Wuchsleistungen (mittlere Höhe 152 cm) und eine Mortalitätsrate von 24 %, während die türkische Herkunft die höchste Ausfallsrate (43 %) und nur eine mittlere Höhe von 122 cm aufweist. Die Gruppe der Herkünfte aus der Unterart *nigra* liegen alle über dem Versuchsmittel von 142 cm bezüglich der mittleren Sprosshöhe, während die französische Herkunft über die beste Höhenwuchsleistung (161 cm) verfügt. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die heimische Herkunft zwar sehr gute Leistungen bringt und an die Standortsbedingungen am Rande des Wiener Beckens gut angepasst ist, aber andere Herkünfte fallweise noch bessere Leistungen erbringen können.

Der im November 2019 neu angelegte Herkunftsversuch im großen Föhrenwald von Wiener Neustadt (Abb. 1.4.3), der mit Herkünften und mit identischem Saatgut der internationalen Versuchsreihe 2009/2010 begründet wurde, geht der Frage nach, ob es weitere Ökotypen gibt, die besser an den trockenen und schwierigen Standort angepasst sind als die

heimischen Herkünfte. Der Versuch ist mit 34 Herkünften aus beinahe dem gesamten Verbreitungsareal der Schwarzkiefer und einer Fläche von zirka 3 ha der aktuell größte Schwarzkiefern-Herkunftsversuch Europas. Die Versuchsdauer ist auf 50 Jahre angelegt, wobei die Forschungsarbeiten von der Stadt Wiener Neustadt und der Wiener Neustädter Stadtwerke und Kommunal Service GmbH (WNSKS) dankenswerterweise unterstützt werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Schwarzkiefer aus Niederösterreich besonders frosttolerant ist, im Gegensatz zu den Herkünften der Unterarten *laricio* und *salzmannii*. Auf Grund ihrer geringen Nährstoffansprüche und weitgehenden Trockentoleranz ist die Schwarzkiefer eine wertvolle Alternative bzw. Ergänzung für den forstlichen Anbau in Mitteleuropa unter Berücksichtigung des laufenden Klimawandels.

Abb. 1.4.3: Schwarzkiefern-Provenienzversuch im Großen Föhrenwald von Wiener Neustadt, angelegt im November 2019. (© Fischer, 2019)

1.5 Das Holz der Schwarzkiefer

Michael Grabner
Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe, BOKU

1.5.1 Holzeigenschaften

Die Schwarzkiefer (*Pinus nigra* Arnold) gehört in die Familie der Kieferngewächse – und zwar der zweinadeligen Subgattung *Pinus*. Das Holz ist auf Grund der holzanatomischen Merkmale von dem der fünfnadeligen Zirbe (*P. cembra*) gut unterscheidbar (Schweingruber 1993). Die Unterscheidung von Schwarzkiefern- und Weißkiefernholz (*P. sylvestris*) ist schwierig. Einen Ansatzpunkt liefert der Splintanteil (= äußeres, helleres Holz). Dieser ist bei der Schwarzkiefer zumeist deutlich größer als bei der Weißkiefer (Grabner et al. 2022). Das Kernholz der Schwarzkiefer nimmt die Hälfte bis zwei Drittel des Radius ein. Bei der Weißkiefer liegt dieses Verhältnis oft bei drei Viertel.

Die Schwarzkiefer bildet ein Kernholz aus. Der Splint ist weißlich bzw. weiß-gelblich, der Kern rost-gelb bis rot-braun (siehe Abb. 1.5.1). Das deutlich dunklere Spätholz ist gegenüber dem Frühholz scharf abgesetzt. Dadurch ergibt sich eine deutliche Musterung im Radial- und Tangentialschnitt (d.h. eine schlichte bis dekorative Textur). Die Harzkanäle sind deutlich zu erkennen und zahlreich.

Abb. 1.5.1: Das Holz der Schwarzkiefer. Es ist der rotbraune Kern und das weißlich-gelbliche Splintholz zu erkennen. (© Grabner, BOKU)

Die Schwarzkiefer wird ähnlich der Weißkiefer als vollholzig und als das harzreichste Nadelholz Europas beschrieben (Grabner et al. 2022). Dies bedingt einige besondere Nutzungsmöglichkeiten wie die Pecherei (die Harznutzung, Abb.1.5.2); aber auch einige spezielle Eigenschaften und somit Anwendungsmöglichkeiten. Bestimmungen des Harzgehaltes haben jedoch gezeigt, dass dieser nur unwesentlich höher als bei der Weißkiefer ist – mit der Ausnahme von verkienten Bereichen. Unter Verkienung des Holzes versteht man, dass Harz in die Zellhohlräume (Lumina der Tracheiden) eintritt und diese ausfüllt. Die Dichte des verkienten Holzes steigt somit über 1 g/cm³ - d.h. verkiente Holzstücke schwimmen nicht mehr. Verkienung ist häufig im Bereich der Verwundungen der Harzernte (Lachten), aber auch natürlich vorkommend (auch bei Weißkiefer) zu finden. Neben der biologischen Funktion des Harzes im lebenden Baum und die angesprochene Nutzung des Harzes über die Pecherei und Harzverwertung ist der Harzgehalt auch in der Holzverarbeitung und im fertigen Endprodukt von Bedeutung.

Das Holz der Schwarzkiefer ist harzig, grob und langfaserig. Es ist sehr gut zu trocknen und zu bearbeiten (sehr ähnlich der Weißkiefer). Es wird als zäher und fester als Weißkiefer beschrieben (Grabner et al. 2022). Die verschiedenen Kennwerte sind jedoch recht ähnlich und liegen innerhalb der natürlich vorkommenden Variabilität der beiden Kiefernarten. Das tangentiale Schwindmaß liegt bei rund 8 %. Das Splintholz der Schwarzkiefer neigt zur Verblauung (blau bis grauschwarze Färbung durch Pilze am Rundholz) und muss daher bei entsprechenden geringen Temperaturen oder recht rasch verarbeitet (eingeschnitten und gestapelt) werden. Die Dauerhaftigkeit des Kernholzes gegen Pilze und Insekten ist gering und mit der der Weißkiefer vergleichbar. Der Hausbock (*Hylotrupes bajulus*) befällt nur das Splintholz. Auch die Imprägnierbarkeit mit Salzlösungen oder Teeröl ist mit der von Weißkiefer vergleichbar. Bei Verkienung ist die Imprägnierung jedoch deutlich reduziert. Der bereits erwähnte höhere Harzgehalt kann zu Harzaustritt an den Oberflächen führen. Die Verleimbarkeit ist trotzdem relativ gut - so lange das Holz nicht verkient ist. Als Brennholz gibt die Schwarzkiefer eine schnelle, andauernde Hitze, brennt mit ungemein heftiger Flamme, erzeugt aber sehr viel Russ. Aus den gepechten Stämmen der Schwarzkiefer kann Holzkohle vergleichbarer Güte der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) hergestellt werden.

1.5.2 **Die historische Holzverwendung**

Da das Holz der Schwarzkiefer dem der Weißkiefer sehr ähnlich ist und auch die Eigenschaften vergleichbar sind, wurde in der älteren Literatur in erster Linie ein Vergleich zwischen diesen Holzarten gezogen.

Da es zäher und fester als Weißkiefer ist, wurde es als Bauholz im Trockenen, besonders aber im Wasserbau eingesetzt. Zum Teil hat man es der Lärche vorgezogen (Grabner et al. 2022).

Neben der Verwendung als Bauholz wurden folgende Bereiche erwähnt: Fenster, Möbel, Verkleidungen, Masten, Grubenholz, Wasserradschaufeln, Industrieholz, Bodenbeläge, Schwellen, Wagenbau. Uçkull-Gylleubaud (1843) erwähnt eine besondere Anwendung: „Insbesondere ist sie ein unschätzbares Material als Deichel (Brunnenrohre), wo sie 30 bis 50 Jahre gesund erhalten bleibt." Dies wird von mehreren Autoren und von archäologischen Funden aus Wien bestätigt. Der oft verkiente Stock wurde ebenso vor allem zum Teer schwelen, Holzkohle brennen und als Lichtquelle (Keanbreckerl; Ast und Winner 2011) genutzt.

Abb.1.5.2: Schwarzkiefer mit Rindenverwundung zur Harzgewinnung
(© Lorenschitz, BFW, 2021)

1.5.3 **Die moderne Holzverwendung**

Gute Ware findet Einsatz im Bühnenbau und anderen Bautischlerarbeiten (z.B. Stiegenbau). Dies ist auf die hohe Verschleißfestigkeit inklusive der Härte des Holzes zurückzuführen. Durch den vergleichsweisen hohen Harzgehalt wird dabei das für Holz typische Knarren bei sich aneinanderreibenden Holzteilen vermieden. Beim mehrmaligen Schrauben und Nageln im selben Bereich, wie es im Bühnenbau immer wieder der Fall ist, werden Beschädigungen an der Oberfläche des Bodens durch ein entsprechendes plastisches Verhalten beim Nageln und Schrauben immer wieder ausgeglichen.

Es gibt wenig Tischlerware. Eine häufige Verwendung findet es als Dachstuhlholz bzw. Bauholz verschiedenster Art, als Profilholz im Innenbereich und für Außenschalungen, Einsatz für Kabeltrommel, Paletten und als Rundholz für Masten etc.

1.6 Waldbauliche Bedeutung

Werner Ruhm und Silvio Schüler
Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik des BFW

1.6.1 Waldbau mit der Schwarzkiefer

Der Verbreitungsschwerpunkt der Schwarzkiefer liegt in der montanen Stufe der europäischen Mittelmeerländer, wobei sich am österreichischen Alpenostrand das nördlichste natürliche Vorkommen befindet. Hier gibt es sowohl autochthone als auch vielerorts aufgeforstete Bestände. Die Schwarzkiefer ist heute entlang der Thermenlinie die einzige in diesem Klima nutzbare Nadelbaumart und bildet hier oftmals auf nährstoffarmen Standorten mit schlechter Wasserversorgung die untere Waldgrenze. Die von Schwarzkiefer dominierten Bestände im südöstlichen Teil des Wienerwaldes (Kalk-Wienerwald) sind hier vor allem wegen ihrer Schutz-, Wohlfahrts- und Erholungswirkung von entscheidender Bedeutung. Konkurrenzfähig ist die Pionierbaumart auf extremen Standorten auf Kalk, Dolomit, trockenen Südseiten und initialen Rendsinen (Standortschutzwald). Im Gegensatz zu typischen Pionierbaumarten wie Birken, Pappeln und Weiden ist die Schwarzkiefer jedoch langlebig und dadurch für längere Umtriebszeiten geeignet (Überhalt). In ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet kommt sie allerdings nicht nur auf Kalkböden vor (hier ist sie besonders erfolgreich), sondern besiedelt auch andere Substrate. Die Ansprüche an die Nährstoffversorgung sind sehr gering, die Wasserversorgung ist der entscheidende, wachstumsbegrenzende Faktor. Optimales Wachstum hat sie auf tiefgründigen, mäßig frischen Buchenstandorten; hier allerdings besitzt die Schwarzkiefer gegenüber anderen Baumarten wenig Konkurrenzkraft. Geringwüchsige Kalkbuchenwälder mit reduzierter Konkurrenzkraft können durch die Beimischung von Schwarzkiefer ökonomisch aufgewertet werden (Abb.1.6.1).

Im mediterranen Bergmischwald bildet die Schwarzkiefer je nach Standort Mischbestände mit unterschiedlichen Baumarten (Tanne, Buche, Aspe, Birke…), kann aber auch als Reinbestand vorkommen. Die Bewirtschaftung der Schwarzkiefer erfolgt in Österreich fast ausschließlich über verschiedene Betriebsformen des schlagweisen Hochwaldes mit

Abb. 1.6.1: Schwarzkiefer eingesprengt in Buchen-Grundbestand. Kalk-Wienerwald.
(© Schönauer, BFW)

Umtriebszeiten von 80-140 Jahren. Die Schwarzkiefer ist sehr sturmfest und besitzt auch auf skelettreichen Böden eine gute Tiefenenergie. Ihr Wurzelsystem ist an die jeweiligen Standortsverhältnisse angepasst und kann als Tiefwurzler mit kräftiger Pfahlwurzel bis flach streichend mit Senkerwurzeln ausgeprägt sein. Zudem ist die Schwarzkiefer Unterart *nigra* nicht winter- und spätfrostempfindlich (siehe Kapitel 5.3) und sehr trocken- und dürreresistent. Bis zum Auftreten starker Schäden durch den Pilz *Diplodia sapinea* in den 1990er-Jahren galt die Schwarzkiefer als ziemlich krankheitsresistent.

Auf trockenen, schlechtwüchsigen Eichenstandorten im pannonisch geprägten Osten sowie auf seichtgründigen Kalkstandorten und auf Sandböden hat sich die Beimischung von Schwarzkiefer bewährt. Bei der Umwandlung schlechtwüchsiger Weißkiefernbestände und der

Erstaufforstung von Rohböden durch die Schwarzkiefer konnten ebenfalls Erfolge erzielt werden; lediglich nasse sowie stauwassergeprägte Standorte sollten gemieden werden. Aufgrund ihrer Geradwüchsigkeit und ihrer höheren Volumenleistung ist sie auf solchen Standorten häufig auch der Weißkiefer überlegen. Bezüglich ihrer Höhenwuchsdynamik gibt es Ergebnisse von vergleichenden Versuchsanbauten mit der Weißkiefer, die vermuten lassen, dass das Höhenwachstum der Schwarzkiefer zu einem späteren Zeitpunkt kulminiert. Andere Untersuchungen ergeben zwar eine sehr frühe Kulmination von Höhen- und Durchmesserzuwachs ähnlich der Weißkiefer, aber dafür ein wesentlich längeres Anhalten beider Zuwachsgrößen auf höherem Niveau. Auch beim zeitlichen Ablauf des Volumenzuwachses unterscheiden sich beide Kiefernarten. Sowohl der laufende Volumenzuwachs als auch der durchschnittliche Gesamtzuwachs kulminieren bei der Schwarzkiefer wesentlich später. Aus den angeführten Gründen ist daher von einer sehr kleinflächigen Mischungsform oder einer Einzelmischung mit der Weißkiefer eher abzuraten. Im Vergleich zur Weißkiefer nimmt die Schwarzkiefer ein wesentlich kleineres Verbreitungsgebiet ein. Kommen beide Arten im Verbreitungsgebiet natürlich vor, so ist sehr häufig ein nach Höhenlage differenziertes Auftreten erkennbar. Die Schwarzkiefer besiedelt die trockenen und wärmeren Tieflagen, höhere und kühlere Lagen werden von der Weißkiefer eingenommen. Unter natürlichen Bedingungen wurde eine Hybridisierung der beiden Baumarten bisher kaum (selten) beobachtet.

Waldbauliche Ziele

- Sowohl für die Schwarz- als auch für die Weißkiefer soll in erster Linie ein möglichst hoher Anteil an Sägerundholz in den Qualitätsstufen B/C produziert werden. Kiefernwertholz (geradschaftig, astfrei, gut verkernt, ab Stärkeklasse 4) stellt in kleinerem Umfang eine zusätzliche Produktionsmöglichkeit dar. Hierzu soll eine überschaubare Anzahl an qualitativ geeigneten Kiefern längerfristig ausreifen (Überhalt), um Mindestdurchmesser von 5560 cm BHD zu erreichen. Da es sich bei der Schwarzkiefer um einen „Totasterhalter“ handelt, wird man auf Astungsmaßnahmen für die Wertholzerziehung kaum verzichten können (Abb. 1.6.2).
- In den auch künftig für die Schwarzkiefer geeigneten Bereichen (vor allem nährstoffarme, trockene Standorte) sollte zusätzlich ein

Abb. 1.6.2: Dichte Schwarzkiefern-Naturverjüngung. Kalk-Wienerwald.
(© Schönauer, BFW)

entsprechender Anteil an standörtlich geeigneten Mischbaumarten erhalten bzw. eingebracht werden.

1.6.2 **Allgemeine waldbauliche Behandlung**

Bestände, die heute begründet werden, müssen sowohl das heutige als auch das künftige Klima aushalten können. Mit der Wahl der Baumart für den jeweiligen Standort wird das Fundament für die Zukunft eines Bestandes gelegt. Mit der weiterführenden waldbaulichen Behandlung sollen einerseits Stabilität und Vitalität, andererseits die Erreichung wirtschaftlicher Ziele gewährleistet werden.

Die Schwarzkiefer verjüngt sich natürlich, ist aber nicht invasiv und produziert eine leichter abbaubare Streu als die Weißkiefer. Als Halblichtbaumart verjüngt sie sich grundsätzlich gut unter lichtem Schirm und ist daher für Verjüngungsverfahren wie den Femel- oder den Schirmschlag gut eignet (Abb. 1.6.3). Voraussetzung für ein erfolgreiches Arbeiten mit Naturverjüngung sind möglichst vegetationsfreie Standorte, da sie wie die Weißkiefer ein Mineralbodenkeimer ist. Auf stark verkrauteten Standorten ist eine Bodenverwundung für entsprechende Naturverjüngung bzw. Pflanzung unerlässlich.

Bei der Kultur können Pflanzenzahlen von 3000 bis 4000 Stück pro Hektar (zweijährige Sämlinge oder dreijährig verschulte Pflanzen) im Verband 1,5 x 1,5 bis 2,0 m als ausreichend erachtet werden; sofern keine größeren Ausfälle auftreten. Bis in die 1970er-Jahre wurde die Schwarzkiefer, ähnlich der Weißkiefer, sehr stammzahlreich begründet. Diese traditionellen Konzepte erhöhen nicht nur die Begründungskosten, sondern verursachen auch zusätzliche Pflegeaufwendungen, ohne dabei die Qualität wesentlich zu steigern. Zudem begünstigt der Dichtstand die Bildung eines feuchten, Pilzinfektionen fördernden Bestandesinnenklimas. Extreme Frühjahrstrockenheit im Jahr der Pflanzung und hohe Populationsdichten bei Mäusen und beim Rehwild können zu starken Ausfällen führen.

Bei einer Oberhöhe von 10 - 12 m erfolgt die Auswahl und Freistellung der Z-Bäume. Die Anzahl der Z-Bäume pro Hektar richtet sich einerseits nach der erreichbaren Kronenschirmfläche und dem angestrebten Zieldurchmesser des Endbestandes. Wenn Starkholz (60 cm) als Produktionszielziel angestrebt wird, genügen 120 - 150 Z-Bäume, bei schwächerem Zieldurchmesser sollte mit maximal 200 Z-Bäumen pro Hektar das Auslangen gefunden werden.

1.6.3 Waldbau für von *Diplodia* befallene Bestände und Klimawandel

Unser Klima verändert sich: Hitze und Trockenheit nehmen zu und werden unseren Wäldern noch viel abverlangen. Dieser Wandel wird unweigerlich Auswirkungen auf den Wald haben, besonders auf Stand-

orten, die jetzt schon Probleme mit den klimatischen Bedingungen haben. Mancherorts werden bislang bewährte Baumarten verschwinden (ihre ökologische Anbaugrenze wird erreicht) und neue Baumarten sollen deren Lücken füllen; eine davon könnte die Schwarzkiefer sein. Ihr mediterraner Charakter und die daraus resultierende Hitze- und Dürreresistenz, ihre Widerstandsfähigkeit gegen Immissionen und ihre trotz allem beachtliche Wuchsleistung lassen die Schwarzkiefer als mögliche Alternative erscheinen. Doch mahnt der aktuelle Zustand der Schwarzkiefer speziell in der Thermenregion wiederum zur Vorsicht. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass sowohl die Schwarz- als auch die Weißkiefer kein Fichtenersatz im Klimawandel sind.

Seit den 1990er-Jahren konnte sowohl auf primären, aber vor allem auf sekundären Schwarzkieferstandorten ein Befall mit dem wärmeliebenden Pilz *Diplodia sapinea* beobachtet werden. Milde Winter, feuchte Witterung im Frühjahr und sehr trockene Sommer begünstigen dessen Verbreitung. Bei langanhaltender Trockenheit sterben zunächst Triebe und Zweige, später ganze Kronenteile ab; von vorübergehenden

Abb. 1.6.3: Einzelne Schwarzkiefern im Überhalt (Starkholzproduktion, Naturverjüngung). Kalk-Wienerwald.
(© Schönauer, BFW)

Zuwachseinbußen bis zum teilweise flächigen Ausfall reichen die Konsequenzen dieser Pilzinfektion.

Für die EU-LEADER Region Niederösterreich Süd wurden durch ein Expertenteam Bewirtschaftungsempfehlungen für Kiefernbestände mit *Diplodia* Befall ausgearbeitet („Waldbauliche Empfehlungen für die Behandlung der Schwarzkiefernbestände im Industrieviertel/Niederösterreich",http://www.leader-noe-sued.at/files/download/schwarzfoehre_kiefern-triebsterben/Broschuere_A5_Leader-Schwarzkiefern_DRUCK.pdf. Die Maßnahmen orientieren sich dabei am Befallsgrad und betreffen die Bestandesbegründung, Pflegeeingriffe und Bestandesumwandlungen, wodurch die Resistenz und Resilienz der Bestände erhöht werden soll, um dort, wo es möglich ist, die Schwarzkiefer zu erhalten. Eine rasche Entnahme stark befallener Bäume samt den Ästen soll dabei helfen, eine Infektion von benachbarten Bäumen und der sich unter Schirm befindlichen Naturverjüngung möglichst zu minimieren. Wo immer es möglich ist und sinnvoll erscheint, sollten bewährte Laubhölzer aus dem Vorbestand und als Naturverjüngung in die Kultur mit übernommen werden. Ist keine brauchbare Naturverjüngung vorhanden, können Laubholzgruppen in einen Schwarzkieferngrundbestand eingebracht werden. Die Förderung eines den Standortsverhältnissen entsprechenden Laubholzanteils kann wesentlich zur Stabilisierung beitragen. Potenziell mögliche Baumarten sind: Traubeneiche, Rotbuche, Feldahorn, Spitzahorn, Elsbeere, Wildbirne, Speierling und Flaumeiche.

Außer auf Extremstandorten spielt die Schwarzkiefer bis jetzt in den mitteleuropäischen Wäldern eine eher untergeordnete Rolle. Wir wissen zwar schon einiges über die anspruchslose Südländerin, aber ihre zunehmende Bedeutung für die Forstwirtschaft steigert auch den Forschungsbedarf, etwa bezüglich der Auswirkungen unterschiedlich starker Durchforstungseingriffe auf die Zuwachssteuerung, Eingriffszeitpunkte, unterschiedliche Herkünfte und deren Eignung im Klimawandel und ihre Verwendung im Mischbestand (Mischungsform, Mischungsart, Mischungsgrad). Bisherige Erfahrungen rechtfertigen allerdings ihren verstärkten Einsatz, um auf geeigneten Standorten eine stabile und nachhaltige Bestandesentwicklung zu gewährleisten und die Schwarzkiefer als regional landschaftsprägendes Element zu erhalten.

1.7 Krankheiten und Schädlinge

Katharina Schwanda, Thomas L. Cech & Gernot Hoch
Fachinstitut für Waldschutz des BFW

1.7.1 Krankheitserreger und Klimawandel

Die Klimaänderungen verändern auch das Spektrum der Krankheitserreger unserer Waldbäume. Dies betrifft in erster Linie die Bedeutung der bereits etablierten invasiven und der heimischen Arten für die Gesundheit der Bäume. Zusätzlich ist die Ausbreitung neuer (invasiver) Arten, die früher an das mitteleuropäische Klima nicht angepasst waren, nunmehr aber geeignete Bedingungen vorfinden, zu erwarten. Vor allem Arten, die an höhere Temperaturen angepasst sind, und solche, die in milden Wintern nicht durch Frost absterben, gehören zu den Profiteuren des Klimawandels. Umgekehrt kann auch mit dem Rückgang kältelieben-der Pathogene gerechnet werden. Zu diesen „Klimawandel-Verlierern" gehört bei Kiefern beispielsweise der Erreger des Scleroderris-Triebsterbens, *Gremmeniella abietina*, eine Pilzart, die nicht nur in alpinen Hochlagen der für die Verjüngung von Zirben entscheidender Begrenzungsfaktor war, sondern auch an Schwarzkiefern in Tieflagen in Folge kalter und schneereicher Winter immer wieder zu großflächigen Ausfällen geführt hat (Donaubauer 1974). Die Auswirkungen des Klimawandels auf invasive Arten sind schwer abschätzbar, da die Etablierung neuer Arten oft mit einer Änderung des Wirtsspektrums einhergeht. Für die Schwarzkiefer ist, unter dem Szenario einer fortschreitenden Klimaerwärmung, auf jeden Fall mit einer Erhöhung der zu erwarteten Schäden zu rechnen.

1.7.2 Tierische Schadfaktoren

Bei den tierischen Faktoren zählen rindenbrütende Käfer wie zum Beispiel der Zwölfzähnige Kiefernborkenkäfer (*Ips sexdentatus*) zu den heimischen „Klimawandel-Gewinnern". Seit etwa zwanzig Jahren treten immer wieder Massenvermehrungen auf, die zu großen Ausfällen in Kiefernbeständen führten (Steyrer et al. 2022). Bislang wiesen gemeldete Schadflächen immer eine Vorschädigung durch abiotische Faktoren auf. Besonders gefährdet sind Gebiete, an denen die Kiefer bereits heute aufgrund der dort herrschenden Standortfaktoren an ihren physiologischen

Abb. 1.7.1: *Ips sexdentatus:* Fraßbild an der Schwarzkiefer.
(© Hoch, BFW)

Limits wächst. Langanhaltende Trockenheit und hohe Sommertemperaturen machen die Kiefern für den Käferbefall anfällig (Abb. 1.7.1). Die rechtzeitige Entnahme von Schadholz aus dem Wald wird als Gegenmaßnahme empfohlen.

Der Pinien-Prozessionsspinner (*Thaumetopoea pityocampa*) ist ein im mediterranen Raum an Schwarzkiefern weit verbreiteter Schädling, der durch massiven Nadelfraß sowie durch seine charakteristischen Raupennester während der kalten Jahreszeit recht auffällig und an das mediterrane Klima optimal angepasst ist. Nach dem Falterflug im Sommer erfolgt die Eiablage an den Kiefernnadeln. Die Raupen produzieren seidige, weiß glänzende watteartige Gespinste an den Zweigen und überdauern dort gesellig die kalte Jahreszeit. Gegen Ende des Winters verpuppen sich die erwachsenen Raupen im Boden. Entscheidend für das Überleben und die Entwicklung der Raupen sind Temperatur und Sonneneinstrahlung, wobei zur Aktivierung der Raupen im Nest Tagestemperaturen über 9 °C notwendig sind. Sinken die darauffolgenden Nachttemperaturen nicht mehr unter 0 °C, beginnen die Raupen zu fressen. Für die Etablierung von

T. pityocampa ist die Anzahl der Tage mit diesen Bedingungen im Winterhalbjahr entscheidend. Die Fraßtätigkeit führt seltener zum Absterben, beeinträchtigt jedoch den Zuwachs der Kiefer. In Österreich wurde *T. pityocampa* erstmals 2017 als etablierter Kiefernschädling nachgewiesen, wobei sich das Vorkommen bislang auf Südhänge des Dobratsch in Kärnten beschränkt (Abb. 1.7.2) (Hoch et al. 2017).

Abb.1.7.2: Pinien-Prozessionsspinner: Geschädigte Schwarzkiefer-Bestände am Hang des Dobratsch (Pfeil), Kärnten. (© Cech, BFW)

1.7.3 **Pilze als Schadfaktoren**

Der aktuell bedeutendste biotische Schadfaktor der Schwarzkiefer ist in Österreich das Diplodia-Kieferntriebsterben, verursacht durch den Pilz *Diplodia sapinea* (Schwanda et al. 2022). Diese Art kann an einer Vielzahl von Kiefernarten eine Vielfalt von Symptomen (Nadelverlust, Triebsterben, Stammkrebs, Bläue, Absterben des Baumes) verursachen (Abb. 1.7.3). In Österreich ist sie seit etwa 1990 ein häufiger und bedeutender Krankheitserreger der Schwarzkieferbestände im sommerwarmen Osten. Infektionen werden durch Hagel-, Astungs- und Insektenwunden begünstigt, diese sind jedoch für eine erfolgreiche Infektion nicht immer notwendig.

Der Pilz ist als Endophyt symptomlos in Pflanzengeweben sowie als Saprobiont auf abgestorbenem pflanzlichem Material vorhanden und wechselt bei günstigen Bedingungen und/oder Schadereignissen zu einer pathogenen Lebensweise. Warme und feuchte Frühjahrswitterung fördert Infektionen und damit die Ausbreitung. Kommt es nachfolgend im Sommer zu Trockenstress, steigt die Krankheitsintensität sprunghaft an. Abhängig vom Schwächungsgrad des Baumes bleibt die Schädigung auf das Zurücksterben von Trieben und Zweigen beschränkt oder erfasst ganze Kronenteile infolge von Infektionen an der Basis von Starkästen. *Diplodia sapinea* profitiert vom Klimawandel, die Art breitet sich in Europa nach Norden aus und kann vor allem nach wiederkehrenden Trockenjahren die Existenz von Beständen bedrohen. Eine Erholung von Schwarzkiefern ist möglich, wenn über mehrere Jahre hinweg ungünstige Bedingungen für die Sporenbildung und Infektion des Pilzes herrschen. Als Gegenmaßnahmen empfehlen sich das Vermeiden von

Abb. 1.7.3: *Diplodia sapinea:* Schwarzkiefernjugend mit Triebsterben. (© Cech, BFW)

extrem trockenen Standorten und von Dichtstand, die Verwendung von geeignetem Pflanzgut, eine schonende Bewirtschaftung (Vermeidung von Wunden) sowie die Entnahme von Schadholz (Hygiene). Langfristig sollte eine Bestandesumwandlung in Kiefern-Mischbestände in Betracht gezogen werden.

Eine weitere Triebsterben auslösende Pilzart ist *Cenangium ferruginosum*, Erreger der Triebschwinden-Krankheit (Donaubauer 1974). Dieser von

Abb. 1.7.4: *Cenangium ferruginosum:* Schwarzkiefernzweig mit Fruchtkörpern.
(© Cech, BFW)

zahlreichen Kiefernarten bekannte Pilz ist eine ubiquitäre Art abgestorbener Kiefernzweige, die nach Witterungsextremen zu parasitischer Lebensweise wechselt. Auslöser ist vorwiegend starker Winterfrost, kann aber auch Trockenstress sein. Die Folgen sind meist regional auftretender epidemischer Befall ganzer Kronen von Kiefern aller Altersklassen. Cenangium ferruginosum ist aufgrund der scheibenförmigen, mehrere Millimeter großen Schlauchpilzfruchtkörper, die bei Feuchtigkeit aufquellen und eine schmutziggelbe Oberfläche aufweisen und massenhaft absterbende Rindenpartien bedecken, auch im Feld leicht erkennbar (Abb. 1.7.4). Bis 1991 hat diese Krankheit häufig regional epidemisches Zurücksterben in den sekundären Schwarz- und Weißkiefernbeständen des sommerwarmen Ostens Österreichs verursacht.
Crumenulopsis sororia verursacht Läsionen und mehrjährige irregulär geformte krebsige Wucherungen an Kiefernzweigen, -ästen und

-stämmen (Abb. 1.7.5) (Cech 2012). Äußere Merkmale sind Harzfluss im Bereich der Läsionen und eine schwärzliche Verfärbung der Rinde. Darunter ist auch das Holz dunkel verfärbt. Gehäuftes Auftreten dieser Krankheit wurde einerseits an verschiedentlich anthropogen gestörten Standorten, andererseits aber auch an Standorten mit überreicher Nährstoffversorgung beobachtet. Im letzteren Fall reagieren die Bäume auf das hohe Nährstoffangebot mit gesteigertem Xylemwachstum, das Rissbildungen in der Borke zur Folge hat. Wenn sich der Bestand zu schließen beginnt, kommt es zunehmend zu stagnierender Luftfeuchtigkeit, wodurch sich optimale Bedingungen für die Ausbreitung von *C. sororia* ergeben, die über die Rindenrisse, über Risse im Bereich der Nodien sowie andere kleine Wunden infiziert. Die Folgen für den Baum reichen von messbaren Zuwachsverlusten bis zum Absterben.

Abb. 1.7.5: *Crumenulopsis sororia:* Schwarzkiefernzweig mit Läsion (canker). (© Cech, BFW)

An Kiefernnadeln treten zwei invasive Pilzkrankheiten in zunehmender Häufigkeit auf. Für die erste, die Dothistroma-Nadelbräune, sind zwei morphologisch und von der Pathogenität her weitgehend identische Pilzarten verantwortlich: *Dothistroma septosporum* und die noch nicht in Österreich nachgewiesene *D. pini*. *Dothistroma septosporum* ist in Österreich an allen Kiefernarten seit den 1990iger Jahren weit verbreitet (Kirisits & Cech 2006). An Schwarzkiefern ist sie seit vielen Jahrzehnten ein auffälliger Krankheitserreger, der vor allem in Dickungen starke

Nadelverluste zur Folge hat. Unter optimalen Infektionsbedingungen, wie anhaltend hoher Luftfeuchtigkeit, mildem Klima und Dichtstand, kann die Art junge Bestände auch existentiell bedrohen.

Die zweite Krankheit ist die Lecanosticta-Nadelbräune (*Lecanosticta acicola*). Sie ist in Nordamerika beheimatet und wurde vermutlich über Pflanzgut nach Europa eingeschleppt (Tubby et al. 2023). Der Erstnachweis in Österreich stammt aus dem Jahr 1996 (Brandstetter & Cech 2003). Probleme bereitet dieser Pilz vor allem in sensiblen Ökosystemen wie in alpinen Schutzwäldern und in Latschen- bzw. Spirken-Mooren (*P. mugo* und *P. uncinata*), wo er bestandesweites Absterben von Bäumen verursacht. Beispiele aus dem slowenischen Soča-Tal veranschaulichen die unmittelbare Gefahr durch diesen Nadelpilz auch für die Schwarzkiefer (Abb. 1.7.6): *Lecanosticta*-Befall führt dort aufgrund optimaler Bedingungen (reichliche Niederschläge und milde Temperaturen) zum Absterben von Schwarzkiefernbeständen. Auch wenn im Zuge des Klimawandels für die beiden Krankheiten dauerhaft günstige Infektions- und Ausbreitungs-Bedingungen eintreten sollten, ist eine genaue Prognose der Folgen derzeit noch nicht möglich.

Abb. 1.7.6: Absterben von Schwarzkiefern als Folge von Befall durch *Lecanosticta acicola* in Slowenien. (© Cech, BFW)

1.7.4 Schaderreger mit besonderen Quarantänebestimmungen

Unter den EU-geregelten Quarantäneorganismen sind zwei Arten noch nicht in Österreich nachgewiesen. Der Pechkrebs der Kiefern wurde erst Mitte des 20. Jahrhunderts in Nordamerika entdeckt, 2005 erfolgte der Erstnachweis in Europa. Symptome sind massiver Harzfluss am Stamm und ausgedehnte Rindennekrosen bzw. Trieb- und Kronensterben (Abb. 1.7.7). Der Erreger, der Pilz *Fusarium circinatum*, befällt zahlreiche Kiefernarten sowie Douglasien. Das Auftreten ist bislang auf Südeuropa beschränkt, doch werden das Risiko einer Ausbreitung und die in Folge erwarteten Schäden aufgrund der sich verändernden ökologisch-klimatischen Bedingungen für weite Teile Europas als hoch eingeschätzt. Aus diesem Grund ist *F. circinatum* als EU-Quarantäneschädling eingestuft, der einer strengen gesetzlichen Überwachung unterliegt, um die weitere Ausbreitung zu verhindern (EPPO Link: https://gd.eppo.int/taxon/GIBBCI).

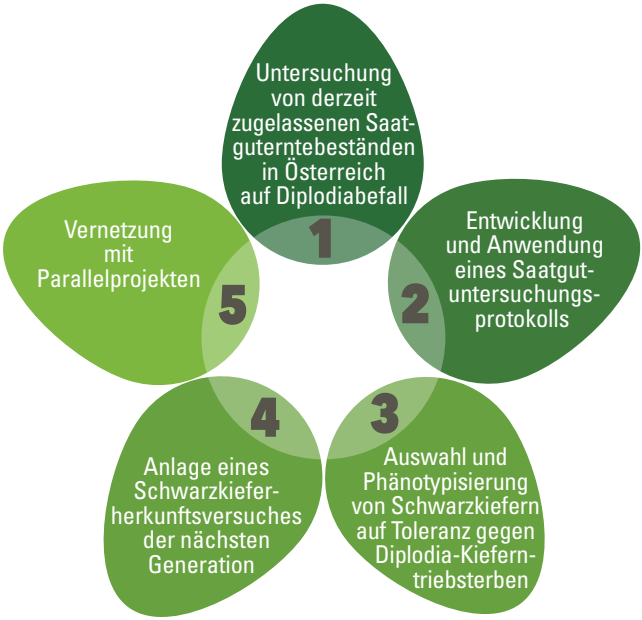
Abb. 1.7.7: Die Pechkrebserkrankung (*Fusarium circinatum*) einer Monterey-Kiefer (*Pinus radiata*) als Ursache für massiven Harzfluss.
(© Schwanda, BFW)

Die Kiefernwelke wird durch den Fadenwurm *Bursaphelenchus xylophilus* (Kiefernholz-Nematode) ausgelöst (Hinterstoisser & Brandstetter 2023). Die Art stammt ursprünglich aus Nordamerika und ist in den dortigen Kiefern- und Koniferenwäldern weit verbreitet. In der EU wurde sie erstmals 1999 in Portugal nachgewiesen. Seit 2008 tritt sie auch lokal in Spanien auf, nachfolgende konsequente Ausrottungsprogramme konnten eine weitere Ausbreitung bisher verhindern. Bei Vermehrung der Nematoden kommt es durch Toxinausscheidung zu „Vergiftungserscheinungen" (Welke) und zum Absterben der befallenen Bäume. In kurzer Zeit kann das Absterben ganze Kiefernbestände erfassen und damit Waldökosysteme gefährden. Zur Ausbreitung benötigen die Nematoden Käfer als Vektoren. In Europa sind dies heimische Vertreter der Bockkäfer-Gattung *Monochamus*. Die Käfer übertragen beim Reifungsfraß an neuen Bäumen die Nematoden, die über Fraßwunden in den Holzkörper eindringen. Der Nematode kann seinen Lebenszyklus auch in anderen Nadelholzbäumen vervollständigen, ohne ein Absterben der Bäume hervorzurufen. Der Kiefernholznematode zählt zu den weltweit gefürchtetsten Forst-Schadorganismen und ist in der EU als prioritärer Schadorganismus gelistet. In Österreich sind alle heimischen und exotischen Nadelhölzer gefährdet, besonders aber Weiß- und Schwarzkiefer. Die Verbreitung erfolgt typischerweise über den Holztransport. Das Risiko einer Einschleppung und Etablierung in Mitteleuropa wird, vor allem angesichts der Klimaerwärmung, als hoch beurteilt (EPPO: https://gd.eppo.int/taxon/BURSXY).

1.7.5 **Fazit**

Auch bei der robusten und an Extremstandorte angepassten Schwarzkiefer ist zukünftig mit einer Zunahme und neuen Schäden durch heimische Schadorganismen zu rechnen. Dazu kommt die Bedrohung durch invasive Schadorganismen; eine Einschleppung und Etablierung dieser soll durch EU-weit geregelte phytosanitäre Maßnahmen verhindert werden. Maßnahmen der Waldhygiene (Borkenkäfermanagement, Besucherlenkung, etc.) und des Waldbaus (Kiefer in Mischbeständen) sollen die Kiefernbestände in Österreich nachhaltig sichern.

2. TEIL 2: Ergebnisse des Forschungsprojekts `ASKFORGEN`



2.1 Untersuchung von derzeit zugelassenen Saatgut-erntebeständen in Österreich auf Diplodiabefall

Benno Eberhard & Florian Irauschek
Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik des BFW

Der Klimawandel stellt unsere heimischen Wälder vor große Herausforderungen. Insbesondere für Standorte mit schlechter Wasserhaltekapazität und ungünstiger Nährstoffversorgung wird deshalb nach alternativen Baumarten gesucht, die mit den höheren Temperaturen und längeren Trockenheit im Klimawandel gut umgehen können. Die Schwarzkiefer stellt aufgrund ihrer geringen Ansprüche hinsichtlich der Wasser- und Nährstoffversorgung eine interessante Alternative für Mischbestände dar.

Für die Aufforstung von Kahlflächen und die Beimischung in schlechtwüchsigen Laubwandstandorten ist dafür hochwertiges Pflanzmaterial gesucht, wofür auf die heimischen Saatgutquellen zurückgegriffen werden kann.

Hier haben wir systematisch untersucht, in welchem Zustand sich die österreichischen Saatguterntebestände der Schwarzkiefer befinden und wie stark sie von *Diplodia sapinea* betroffen sind. Insgesamt wurden 22 Saatguterntebestände ausgewählt: Zunächst wurden die zehn in der näheren Vergangenheit beernteten Bestände mit einbezogen, und die restlichen Flächen wurden möglichst gleichmäßig über alle Höhenstufen (zwischen 330 und 995 m Seehöhe) und forstlichen Wuchsgebiete verteilt, um ein repräsentatives Gesamtbild vom Befall durch *D. sapinea* zu erhalten (Abb. 2.1.1).

In den 22 Beständen wurden mit dem Transektverfahren jeweils etwa 5-10 % der Bäume ausgewählt und der Befall durch *D. sapinea* anhand des Bewertungsschemas nach Kirisits et al. (2009) beurteilt. Hierbei erfolgt eine Ansprache des Befalls für drei Bereiche der Krone (Oben/Mitte/Unten), der dann zu einer Gesamtbewertung je Baum führt (kein/gering/mittel/starker Befall). Dieselben Bäume wurden jeweils im Frühling und Herbst 2021 beurteilt, um eine Veränderung des Befalls im Jahresverlauf zu beurteilen. Bei den Aufnahmen wurden auch Bestandesvariablen (Stand Density Index (SDI), Bodenbedeckung) und Einzelbaum-

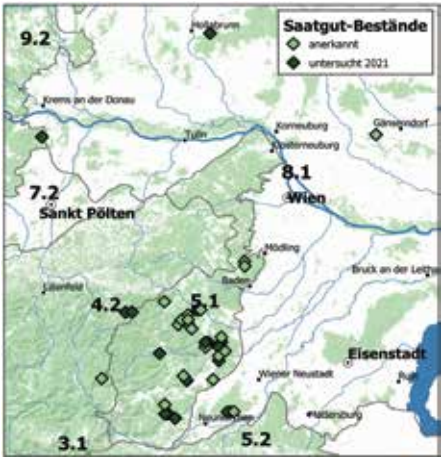


Abbildung 2.1.1: Übersicht der 43 anerkannten und der 22 im Projekt untersuchten Saatgut-Erntebestände. Im Hintergrund (grün) die Waldmaske der ÖWI (Bauerhansl, 2007) und die forstlichen Herkunftsgebiete (Kilian, 1994)

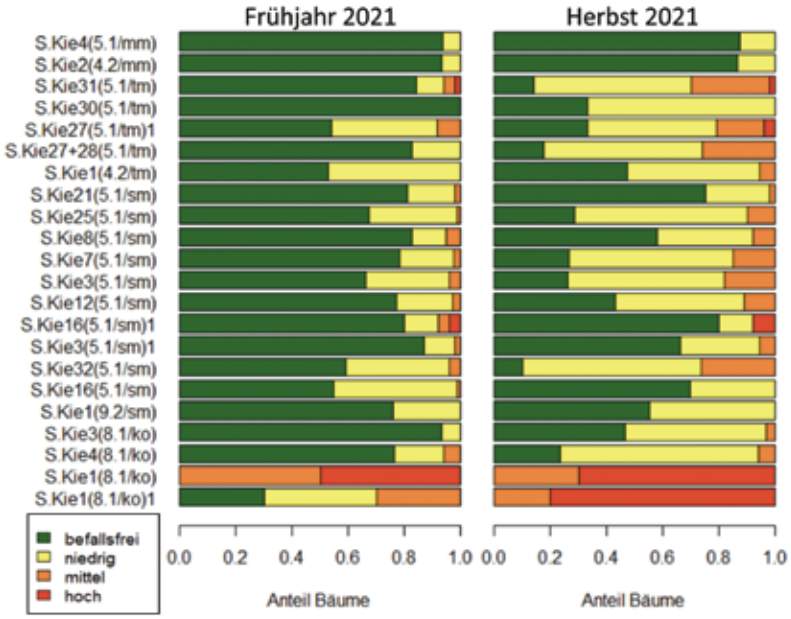


Abbildung 2.1.2: Diplodiabefall in den 22 Saatgut-Erntebeständen zu den zwei Aufnahmezeitpunkten. Anteil der Bäume in den Befallsstufen. Die Bestände sind von unten nach oben aufsteigend nach Seehöhe (330 - 995 m) geordnet.

merkmale (z.B. soziale Stellung, Kronenabstand zu den Nachbarbäumen, Schlankheitsgrad, Aufgabelungsgrad der Hauptäste, Vitalität, sekundäre Schadpilze, Mistelbefall, Nadellänge, Stammschäden) aufgenommen.

- In allen untersuchten Saatguterntebeständen ist (nach visueller Beurteilung) ein Befall durch *Diplodia sapinea* festgestellt worden (Abb.2.1.2). Der Befall ist dabei jeweils im unteren Kronendrittel am stärksten, und nimmt mit zunehmender Baumhöhe ab.
- Die Befallsintensität hat (im Aufnahmejahr 2021) von Frühjahr bis Herbst in allen Beständen merklich zugenommen, wobei insbesondere die beiden höchstgelegenen Bestände (Seehöhe von 930-995 m) als besonders wenig und die beiden am tiefsten gelegenen Bestände (Seehöhe von 330 m) als besonders stark von *D. sapinea* betroffen

hervorstechen. Während für die Frühjahrsaufnahmen eine graduelle Tendenz zu weniger Schäden mit steigender Seehöhe der Bestände festgestellt wurde, war dieser Trend in der Herbstaufnahme nicht mehr festzustellen. Folglich sind die Schäden auf größerer Seehöhe erst später im Jahr eingetreten.

- Es wurde eine (statistisch nicht eindeutige) Tendenz zu mehr Nadelschäden durch *D. sapinea* bei höherer Bestandesdichte (im Sinne des Stand Density Index/SDI) festgestellt.
- Bei Bäumen mit sekundären Schäden (andere Pilze, Insekten, generell schlechtere Vitalität) sowie bei größerer Konkurrenz (im Sinne des Kronenabstandes zu den Nachbarn) und schlechterer sozialer Stellung im Bestand wurde durchschnittlich mehr Befall von *D. sapinea* festgestellt.

Die stichprobenartige Untersuchung der Schwarzkiefernbestände zeigt, dass *D. sapinea* weit verbreitet ist und in allen Erntebeständen vorhanden ist. Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass sich die Saatguterntebestände hinsichtlich Bestandesgröße, Dichtstand, Befall mit Krankheitserregern etc. in einem sehr unterschiedlichen Erhaltungszustand befinden. Die Ergebnisse bestätigen die praktischen Handlungsempfehlungen zur Bekämpfung der Krankheit wie Vermeidung von Dichtstand, Entfernung von geschädigten Bäumen, Vermeidung von Verletzungen. Somit machen die Ergebnisse deutlich, dass für die gesunde Erhaltung der Saatgutquellen entsprechende phytosanitäre Maßnahmen gesetzt werden sollten.

In diesem Vorhaben des Projektes ASKFORGEN konnte lediglich eine erste Befallsdiagnose ausgesuchter Erntebestände hinsichtlich *D. sapinea* erstellt werden. Um fundierte waldbauliche und phytosanitäre Maßnahmenempfehlungen für einzelne Bestände ausarbeiten zu können, sind detailliertere Bestandeskennwerte mit zeitlich wiederholten Aufnahmen und Fernerkundungsdaten nötig. Zu solcher Evaluierung aller bestehender Saatguterntebestände gehört auch ihre digitale Erfassung als Fläche, Evaluierung des Zustandes der Saatguterntebestände im Hinblick auf deren Vitalität und Erntewürdigkeit sowie Erfassung ihrer Authochtonie. In einem weiteren Schritt ist es außerdem wichtig zu ergründen, welche Erntebestände mit besonders wertvollen genetischen Ressourcen, aufgrund ihres Standorts und der erwarteten Klimaänderungen, einem hohen Risiko ausgesetzt sind und zur Erhaltung in anderen Wuchsgebieten oder Höhenstufen gepflanzt werden sollten.

2.2 Entwicklung und Anwendung eines Saatgutuntersuchungsprotokolls

C. Trujillo Moya[1], R. Ertl, S[2], Mottinger-Kroupa[3], E. Halmschlager[3], M. van Loo[1]
[1] Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik, BFW
[2] VetCORE, VedMed Universität Wien
[3] Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, BOKU

Diplodia sapinea ist einer der weltweit am meisten verbreiteten Krankheitserreger von Nadelbäumen (Decourcelle et al., 2015). Wie viele andere Pilze kann auch *D. sapinea* durch die Samen seines Wirtes weiterverbreitet werden. Der Hauptinfektionsweg des Schadpilzes *D. sapinea* ist im Normalfall die horizontale Übertagung zwischen adulten Bäumen oder auch von abgestorbenem pflanzlichem Material (siehe Teil 1.7.3). Dabei dringt der Pilz durch kleine Wunden in das Pflanzengewebe ein, verursacht die beschriebenen Schadsymptome und führt im Extremfall auch zum Absterben des Baumes. Als zusätzlicher Infektionsweg gilt die vertikale Übertragung, über die Samen von infizierten Mutterpflanzen. Obwohl diese nur selten vorkommt, besteht generell ein hohes Potenzial für die Besiedlung von Samen, was dazu beiträgt, dass durch den Handel mit Saatgut, *D. sapinea* sich weiterverbreitet (Decourcelle et al., 2015). Um dies in Zukunft prüfen zu können, wurde ein Saatgut-Untersuchungsprotokoll entwickelt, welches auch bei standardmäßigen Saatgutuntersuchungen zur Anwendung kommen kann. Bisher beschriebene

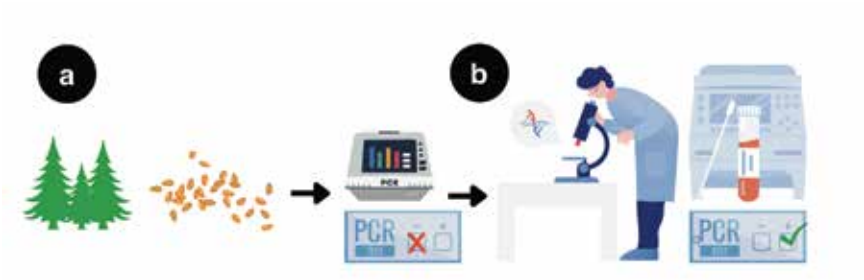


Abb 2.2.1: Molekulare Methodik zum Nachweis von *D. sapinea* auf Samen von Schwarzkiefern. (a) traditionell by PCR (b) mittels qPCR (© Trujillo-Moya, BFW)

molekulare Verfahren zum Nachweis des Erregers basieren auf PCR-Testverfahren (PCR: Polymerase Chain Reaction), wobei eine hohe Anzahl an Samen (200 lose Samen) zur DNA-Isolierung benötigt werden (Smith und Stanosz, 2006).

In diesem Projektvorhaben, aufbauend auf einer Literaturrecherche, wurde ein neues Protokoll für die DNA-Extraktion aus Schwarzkiefern-Samen zusammen mit einer innovativen *D. sapinea*-Nachweismethode auf qPCR-Basis (Quantitative Polymerase Chain Reaction) entwickelt, die im Vergleich zur herkömmlichen PCR empfindlicher ist, und so auch niedrigere Konzentrationen des Pathogens nachweisen kann. (Abb. 2.2.1.a-b). Die Anzahl der benötigten Samen pro Saatgutpartie konnte von 200 auf nur 6 verringert werden. Durch dreifache Wiederholungen der DNA-Extraktion konnte außerdem die Wahrscheinlichkeit von falsch negativen Ergebnissen stark reduziert werden (Abb. 2.2.2.c). Es wurde außerdem beobachtet, dass durch eine Sterilisierung der Saatgutoberfläche die Konzentration des Erregers auf positiven Proben um ein Vielfaches ansteigt (im Durchschnitt das 9,62-fache) (Abb. 2.2.2.d). Warum dies der Fall ist, muss noch untersucht werden. Bei der Anwendung dieses Protokolls zur Prüfung des Vorkommens von *D. sapinea* mittels qPCR in 14 Saatgutpartien (10 aus Österreich und 4 aus Spanien, der Türkei, Griechenland und Korsika) wurden alle außer einer österreichischen Saatgutpartie positiv getestet.

Einige Saatgutpartien wurden tiefergehend untersucht, indem Samen von einzelnen Mutterbäumen unabhängig voneinander untersucht wurden (anstelle von gepoolten Saatgutproben), und auch hier wurde eine dreifache Wiederholung angewandt, um falsch negative Ergebnisse zu vermeiden (Abb. 2.2.3.e). Im Allgemeinen stimmten die Ergebnisse mit den vorhergehenden Untersuchungen überein: Wenn hohe Konzentrationen von *D. sapinea* in den gepoolten Proben gefunden wurden, waren mehr Mutterbäume positiv und die Menge an *D. sapinea* in ihren Samen war höher.

In einem weiteren Schritt tiefergehender Analyse wurden dann Bäume ausgewählt, bei denen nur sehr geringe Konzentrationen von *D. sapinea* an den Samen nachgewiesen wurden, aber ein positives Signal in mindestens einer der drei Wiederholungen auftrat. Für diese Proben wurde dann

Abb 2.2.2: Graduelle Optimierung der Methodik zum Nachweis *Diplodia sapinea* auf Samen von Schwarzkiefern. (c) Wiederholung es qPCR-Tests. (d) Oberflächensterilisation der Samen. (© Trujillo-Moya, BFW)

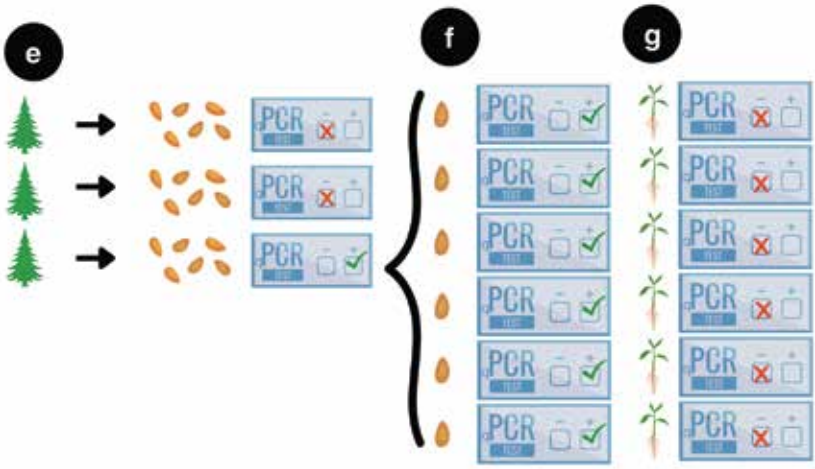


Abb. 2.2.3: Weiterführende Nachweisprüfungen von *Diplodia sapinea* (e) auf Ebene der Einzelbäume (f) für einzelne Samen und (g) für Sämlinge (© Trujillo-Moya, BFW)

jeweils eine DNA-Isolierungen aus einzelnen Samen durchgeführt, woraufhin erneut *D. sapinea* mittels qPCR nachgewiesen wurde (Abb. 2.2.3.f). Auch hier stimmten die Ergebnisse mit den vorherigen Ergebnissen überein: Wenn bei Einzelbäumen große Mengen an *D. sapinea* nachgewiesen wurden, waren auch die einzelnen Samen positiv und die Menge an *D.*

sapinea war vergleichsweise höher. Somit gelang es zum ersten Mal, dass *D. sapinea* auf der Ebene eines einzelnen Samens nachgewiesen wurde. Schließlich wurden Sämlinge, die aus positiven Saatgutpartien gekeimt waren, auf *D. sapinea* getestet. Ihr Vorkommen wurde aber nicht nachgewiesen (Abb. 2.2.3.g), was auf drei Ursachen hindeuten kann: Erstens, dass keine vertikale Übertragung von Samen auf die keimenden Sämlinge stattfindet, oder zweitens, dass eine Infektion, wie in der Literatur beschrieben, nur selten vorkommt, oder drittens, dass die Empfindlichkeit dieser Methode (qPCR) für den Nachweis nicht ausreicht.

2.3 Auswahl und Phänotypisierung von Schwarzkiefern auf Toleranz gegen Diplodia-Kieferntriebsterben

Carlos Trujillo Moya[1], S. Mottinger-Kroupa[2], E. Halmschlager[2], Marcela van Loo[1]
[1] Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik des BFW
[2] Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, BOKU

Die Schwarzkiefer (*Pinus nigr*a JF Arnold) ist ein Nadelbaum mit wirtschaftlicher und ökologischer Bedeutung, der in Mitteleuropa unter zukünftigen Klimaszenarien als potenzieller Ersatz für trockenheitsempfindliche Nadelbaumarten angesehen wird (Vallauri et al., 2002; Enescu et al., 2016). Jedoch verursacht der Pilz *Diplodia sapinea* bei Schwarzkiefern und anderen Kiefern-Wirtsarten weltweit Schäden und führt zu wirtschaftlichen Verlusten (Roy et al. 2022).

Eine Strategie dagegen ist die Züchtung und gezielte Auslese von einzelnen Bäumen, die eine besonders hohe Resistenz gegen den Schadpilz aufweisen. Aus züchterischer Sicht ist es erstens sehr wichtig, die aktuelle genetische Vielfalt der Schwarzkiefer als Quelle der Variation zu erhalten, um die Resistenz gegen diesen Krankheitserreger erforschen zu können. Zweitens ist es dringend erforderlich, Grundlagenwissen bei Schwarzkiefern durch eine Entschlüsselung des Genoms der Kiefer und über die induzierten molekularen Abwehrreaktionen nach einer Pilzinfektion zu verbessern. Wie bei allen Nadelbaumarten ist das Genom der Schwarzkiefer im Vergleich zu anderen Arten unglaublich groß (Abb. 2.3.1). Bis heute wurde keine vollständige Sequenzierung des Gesamtgenoms durchgeführt, was es unmöglich macht, die gesamte genetische Variation zu erforschen.

Um diese Limitierung im Projekt ASKFORGEN zu umgehen, wurde ein verstärkter Fokus auf die Erforschung des exprimierten Teils des Genoms, das sog. Transkriptom gesetzt (Olsson et al., 2020), und Schlüsselgene und Stoffwechselwege identifiziert, die an der Abwehrreaktion der Schwarzkiefer gegen *D. sapinea* beteiligt sind. Die Größe des untersuchten Transkriptoms entsprach 5% der Genomgröße. Mit diesem Grundlagenwissen kann die genetische Komponente der Abwehrreaktion für zukünftige Züchtungsvorhaben besser nutzbar gemacht werden.

Das Wissen dieser Zusammenhänge ermöglicht erst die Durchführung von Assoziationsstudien, die das Auftreten eines bestimmten Phänotyps (z.B. Infektionsresistenz) mit bestimmten Genotypen assoziieren und dadurch Resistenzmechanismen erklären können. Solange jedoch nicht das gesamte Genom (zu 100%) der Schwarzkiefer entschlüsselt ist, ist die Forschung dennoch stark limitiert, da dies auch die Züchtungspraktiken und die Genauigkeit aller Erkenntnisse erheblich beeinflusst.

Bei der traditionellen Pflanzenzüchtung wird eine Auswahl von krankheitsresistentem Pflanzenmaterial im Wald vorgenommen, indem man mehrere Jahre lang Bestände mit hohem natürlichem Infektionsdruck aufsucht und den Verlauf der Infektion von ausgewählten Bäumen verfolgt. Obwohl diese Methode für das Pathosystem *Pinus nigra - D. sapinea* angewendet werden könnte, ist diese aufgrund des schwierigen Zugangs zu einigen Waldgebieten aber vor allem wegen der schwierigen Erfas-

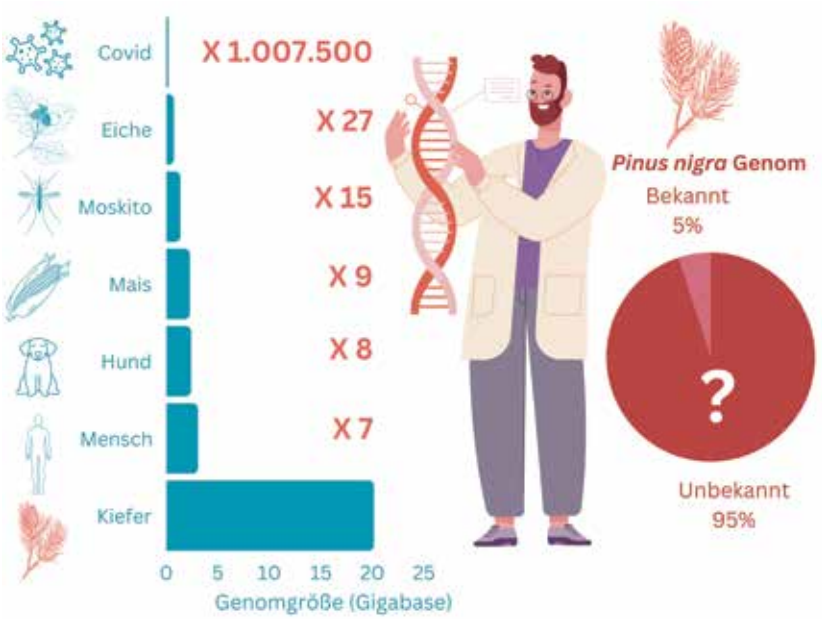


Abb. 2.3.1: Vergleich der Genomgrößen verschiedener Arten (© Trujillo-Moya, BFW)

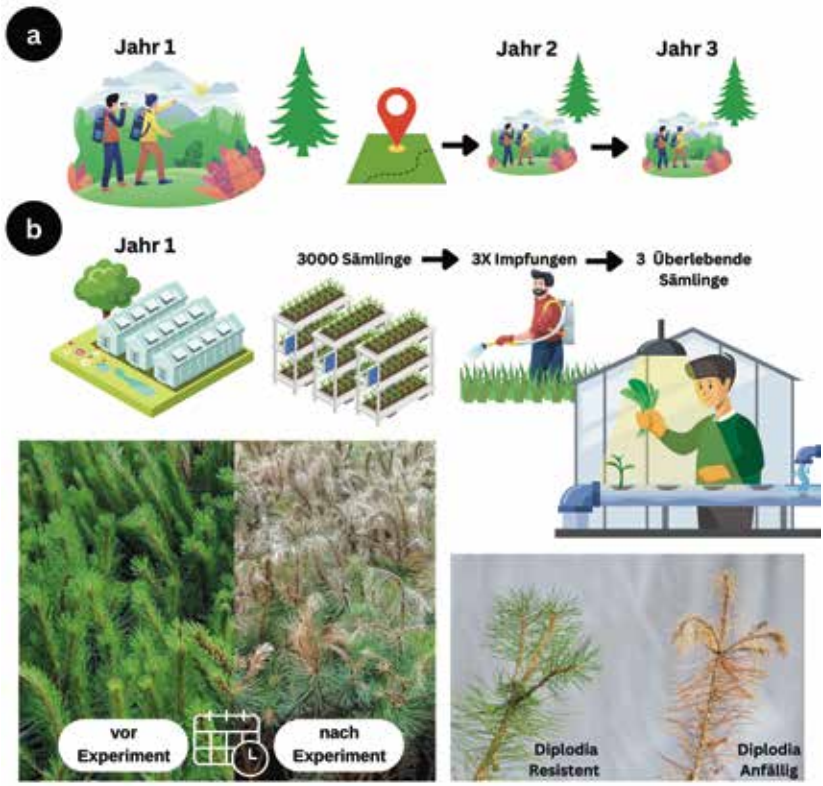


Abb 2.3.2: Traditionelles (a) und neues (b) Protokoll zum Screening von *P. nigra*-Pflanzen zur Selektion von resistentem Material gegen *D. sapinea* (© Trujillo-Moya, BFW)

sung des Resistenz-, Toleranz- oder Anfälligkeitsgrads der einzelnen Bäume in der Praxis begrenzt. Zusätzlich muss eine potentielle Resistenz bestätigt werden, indem dieselben Bäume in mindestens drei nachfolgenden Jahren erneut begutachtet werden (Abb. 2.3.2a). Diese traditionelle Selektionsmethode weist einen hohen Personalaufwand, eine lange Dauer und die Unsicherheiten bei der Untersuchung der Bäume im Wald auf (Abb. 2.3.2a).

Als eine alternative Selektionsmethode wurde ein neuer, innovativer Ansatz entwickelt, bei dem eine große Anzahl getopfter zweijähriger

Schwarzkiefern in einem Kontrollinfektionsexperiment (Screening) dem Pilzerreger *D. sapinea* ausgesetzt werden (Abb. 2.3.2b). Das Hauptziel dieses Versuchs war es, eine Screening-Methode zu entwickeln, um besonders vitale Individuen zu finden, die eine natürliche Resistenz gegenüber dem Pilz aufweisen. Von etwa 3.000 getesteten Schwarzkiefern (österreichischer Herkunft S.Kie7, WG 5.1/sm:350-600m) zeigten fast alle Pflanzen deutliche Symptome. Sie vertrockneten allmählich und starben ab. Nur drei Individuen überlebten die drei durchgeführten Inokulationen (Besprühen mit hohen Konzentrationen des Pathogens *D. sapinea*). Dies zeigt, wie wahrscheinlich es ist, tolerante Pflanzen gegenüber D.sapinea zu finden, und deutet darauf hin, dass dafür eine große Anzahl von Pflanzen erforderlich ist. Neben der Pflanzenzahl muss auch die Methodik standardisiert werden, damit mehrere Inokulationen in einem einzigen Jahr durchführt werden können, um eine angemessene Selektion vorzunehmen. Als Alternative dazu wurde eine neue Methode in einer Klimakammer mit 60 Tage alten Sämlingen etabliert (Abb. 2.3.3c), wodurch der Ablauf zusätzlich beschleunigt und der Platzbedarf stark reduziert werden konnte. Es können in einer 8 m² großen Klimakammer, unabhängig von Außenklima und Jahreszeit, 27.000 Sämlinge in einem Durchgang von 80 Tagen getestet werden.

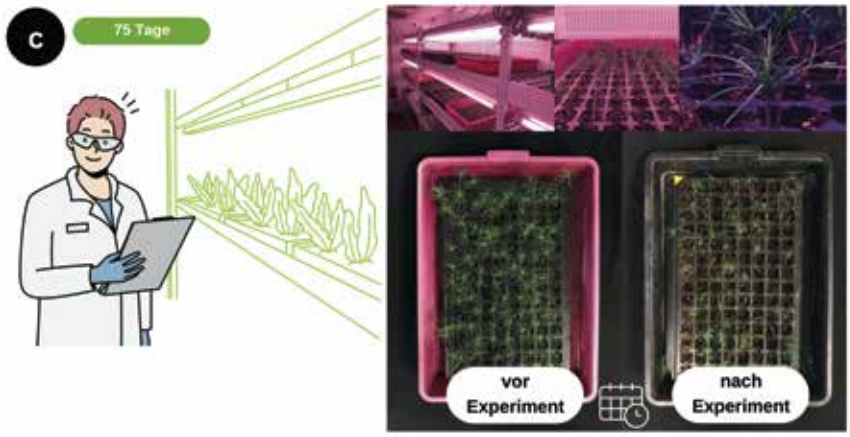


Abb 2.3.3: Labormethode (c) zum Screening von *P. nigra*-Pflanzen zur Selektion von resistentem Material gegen *D. sapinea* (© Trujillo-Moya, BFW)

2.4 Anlage eines Schwarzkiefernherkunftsversuches der nächsten Generation

Marcela van Loo & Lambert Weißenbacher
Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik des BFW

Im Klimawandel ist eine standortangepasste, aktive und nachhaltige Bewirtschaftung unabdingbar. Die Wahl von geeignetem forstlichem Saat- und Pflanzgut ist eine wesentliche Voraussetzung für die Begründung klimafitter und resilienter Wälder. Somit soll die Genetik, die sich auf die Wahl standortsgemäßer Baumarten sowie auch auf die Herkunftsfrage bezieht, noch stärker als bisher berücksichtigt werden.

Das BFW bietet den Waldbesitzer:innen in Österreich fachliche Unterstützung und Entscheidungshilfen bei der Wahl der Baumarten und Herkünfte. Diese stützen sich in erster Linie auf solide Forschungsergebnisse, basierend auf den Erfahrungen langjähriger Feldversuche in Österreich und dem Ausland. Naturgemäß weisen diese Lücken auf, da sich die Prioritäten und Möglichkeiten der Waldbesitzer:innen und der Gesellschaft mit der Zeit ändern. Trotz der Dringlichkeit, schnelle Lösungen zu finden, um adäquate Lösungsansätze für die Waldbesitzer:innen anbieten zu können, z.B. in Bezug auf die aktuelle Problematik des Klimawandels, müssen die abgegebenen Empfehlungen, die laufend überarbeitet und adaptiert werden, weiterhin auf soliden Forschungsergebnissen beruhen. Neueste Forschungsergebnisse erlangt das BFW neben den Versuchen unter kontrollierten Klimabedingungen im Labor vor allem aus zahlreich neu angelegten Feldversuchen. Der Schwerpunkt der „Generation Herkunftsversuche neu“ liegt auf der Testung einer Vielzahl an Baumarten und Herkünften aus warmen und trockenen Regionen, welche auf einem breiten Spektrum optimaler und wenig optimaler Standorte im In- und Ausland ausgepflanzt und langfristig getestet werden. Ein Beispiel für einen derartigen Freilandversuch ist der soeben etablierte Schwarzkiefern-Herkunftsversuch im Rahmen des ASKFORGEN-Projektes, in dem verschiedene nationale und internationale Schwarzkiefernherkünfte auf deren Anbaueignung an einem Extremstandort im Klimawandel wissenschaftlich begleitet werden.

Schwarzkiefer 2/0-er Pflanzen, Topfpflanzen			Parzellen Nr.			Stk. je
Pr. Nr.	Herkunft	Stk.	WH 1	WH 2	WH 3	WH
1	Korsika	300	17	11	6	100
2	Türkei	300	10	5	14	100
3	Spanien	300	3	13	23	100
4	Griechenland	150	16	20	7	50
5	Österreich, Skie 12(5.1/sm)	300	18	4	15	100
6	Österreich, Skie 27(5.1/tm)	300	2	12	22	100
7	Korsika (1-jährig)	300	1	19	21	100
8	BOKU (ID 73, Skie 3/NÖ) 1-jährig	150	9	24	8	50
	Summe	2100				

Tabelle 2.4: Liste der Herkünfte am Standort Saubersdorf

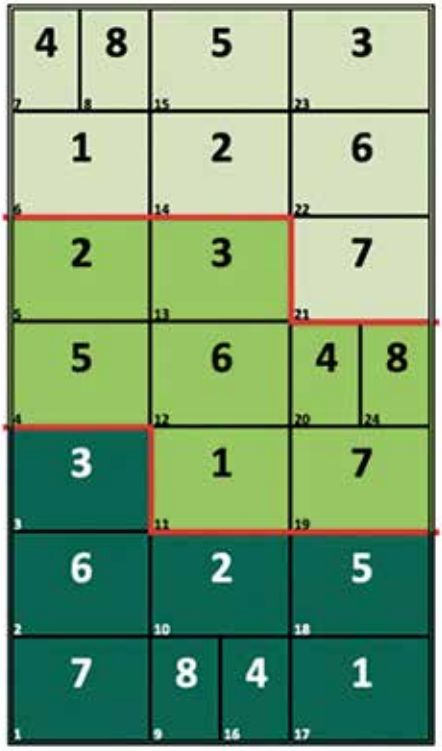


Abb. 2.4.1: Versuchsdesign in Saubersdorf (© Weißenbacher, BFW)

Der Startschuss für die Anlage erfolgte Frühjahr 2019 und 2020 mit der Aussaat von sieben Schwarzkiefernherkünften aus fünf Ländern: Österreich (ssp. *nigra*), Korsika (ssp. *laricio*), Spanien (ssp. *salzmannii*), Türkei (ssp. *pallasiana*) und Griechenland (ssp. *pallasiana*) - im Versuchsgarten des BFW in Tulln (Details siehe Tabelle 2.4). Die Versuchsanlage am Standort Saubersdorf (47,777592° N, 16,158839° E, Seehöhe ~ 317 m ü. A.) erfolgte im Herbst 2021 (3.-5.11.2021) mittels tatkräftiger Unterstützung der Bezirksforstinspektion Neunkirchen im Bezirk Neunkirchen/NÖ. Die Versuchsanlage erfolgte auf einer ebenen, 0,63 Hektar großen Fläche mitten im Steinfeld. Den geologischen Untergrund bildet sogenannter Steinfeldschotter. Der Boden baut sich aus einer seichtgründigen Pararendzina auf Schotter auf (Abb. 2.4.2).

Als Versuchsdesign wurde ein randomisierter Blockversuch mit drei Wiederholungen gewählt. Der Pflanzverband der sechs im Herbst 2021 ausgepflanzten Schwarzkiefernherkünfte beträgt 2,0 m x 1,5 m. In Summe wurden im ersten Jahr 2.100 Schwarzkiefern (im Exaktversuch) ausgebracht. Im darauffolgenden Jahr, im Herbst 2022, wurden die ausgefallenen Pflanzen nachgebessert und plangemäß zwei weitere zweijährige Herkünfte ausgebracht. Eine dieser beiden Herkünfte wurde uns von Ass.-Prof. Dr. Raphael Klumpp (BOKU, Institut für Waldbau) bereitgestellt. Dabei handelt es sich um eine österreichische Herkunft, die bereits auf einer Versuchsfläche der BOKU im Wiener Neustädter Raum getestet wird (siehe Kapitel 1.4.3). Die andere zweite zweijährige Herkunft ist die Herkunft aus Korsika, die hier auch im Jahr 2021 gepflanzt wurde. Die voraussichtliche Versuchsdauer beträgt 15 Jahre. Der gesamte Versuch wurde mit zwei Reihen Hainbuche (insgesamt 856 Stück) ummantelt um Randreinwirkungen und -Einflüsse zu verhindern.

2.5 Vernetzung mit Parallelprojekten

Marcela van Loo & Lambert Weißenbacher
Institut für Waldwachstum, Waldbau und Genetik des BFW

Unter dem Motto „Gemeinsam können wir mehr erreichen" wurden Synergien mit anderen Schwarzkiefernprojekten initiiert. Diese beschäftigen sich ebenfalls mit der Anlage von neuen Arten- und Herkunftsversuchen. Es gilt neue Erkenntnisse über eine rasche und langfristige Alternative für die Wiederherstellung der Wirkungen des Waldes zu suchen, insbesondere auf extrem trockenen Standorten und/oder Schadflächen.

So konnte auch die Anlage der Herkunftsversuchsfläche in Saubersdorf (siehe Kapitel 2.4) um eine zusätzliche österreichische Herkunft der Schwarzkiefer (ID 73, Skie 3/NÖ) aus dem Projekt „Versuche mit Herkünften der Schwarzkiefer im Föhrenwald von Wiener-Neustadt (NÖ)" der Universität für Bodenkultur (BOKU), Institut für Waldbau (Projektleiter: Dr. R. Klumpp) ergänzt werden. Im Herkunftsversuch der BOKU wurde im November 2019 eine Versuchsfläche mit 34 Herkünften der Schwarzkiefer angelegt (siehe Kapitel 1.4.3).

Unmittelbar neben dem ASKFORGEN-Herkunftsversuch Saubersdorf wurden ebenfalls im Herbst 2021 im Rahmen des von der Niederösterreichischen Landesregierung in Auftrag gegebenen Wiederbewaldungsprojektes gemäß §18 (3) FG 1975. idg.F. 13, zweijährige Setzlinge von 13 heimischen und nichtheimischen Baumarten verschiedener Herkünfte mit Klimaperspektive gepflanzt. Ziel dieses vom Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft geförderten Projektes ist es, standortsrelevante heimische und nichtheimische Baumarten und Herkünfte zu identifizieren, die mit den Bedingungen im Steinfeld bei Wiener Neustadt (NÖ), das vor allem durch Trockenheit geprägt ist, zurechtkommen. Eine Wiederholung dieses Versuchs, die vom selben Auftraggeber und Geldgeber wie in Saubersdorf unterstützt wird, befindet sich nur etwa 10 Kilometer Luftlinie entfernt, auf einer Fläche von 1,4 ha, am Standort Würflach (47,77685° N, 16,02592° E), umgeben von Kahlflächen als Folge der Borkenkäferkalamität.

Auf beiden Flächen (Saubersdorf und Würflach) wird zusätzlich untersucht, welches Wiederbewaldungspotenzial die Natur selbst aufbringen kann. Dazu wird beobachtet, welche Baumarten als Naturverjüngung von selbst aufkommen und in natürlicher Sukzession wieder für eine geschlossene Waldlandschaft sorgen. Dies könnte eine kostengünstige Alternative zur künstlichen Bestandesbegründung sein, vor allem wenn, wie im Steinfeld aufgrund der standörtlichen und klimatischen Gegebenheiten, die Wiederbewaldung über Forstpflanzen eine eher langwierige und schwierige Angelegenheit ist und die erwarteten zukünftigen Holzerlöse gering sind.

Baumarten mit Klimaperspektive, 2-jährig, wurzelnackt			Parzellen Nr.			Stk. je
Pr. Nr.	Herkunft	Stk.	WH 1	WH 2	WH 3	WH
1	*Cedrus atlantica* (Atlaszeder)	150	1	33	22	50
2	*Cedrus libani* (Libanonzeder)	150	12	18	40	50
3	*Prunus avium* (Vogelkirsche)	150	2	17	29	50
4	*Sorbus domestica* (Speierling)	150	13	32	41	50
5	*Sorbus torminalis* (Elsbeere)	150	3	19	10	50
6	*Quercus pubescens* (Flaumeiche)	150	14	27	37	50
7	*Juglans regia* (Walnuß)	150	23	7	20	50
8	*Tilia cordata* (Winterlinde)	150	4	26	35	50
9	*Acer platanoides* (Spitzahorn)	150	15	8	11	50
10	*Corylus colurna* (Baumhasel)	150	24	38	36	50
11	*Liquidambar styraciflua* (Amberbaum)	150	5	9	31	50
12	*Celtis occidentalis* (Zürgelbaum)	150	16	28	42	50
13	*Sophora japonica* (Schnurbaum)	150	25	39	21	50
14	Sukzession, Freiparzelle		6	34	30	
	Summe	**1950**				

Tabelle 2.5: Liste der heimischen und nichtheimischen Baumarten mit Klimaperspektive, gepflanzt am Standort Saubersdorf

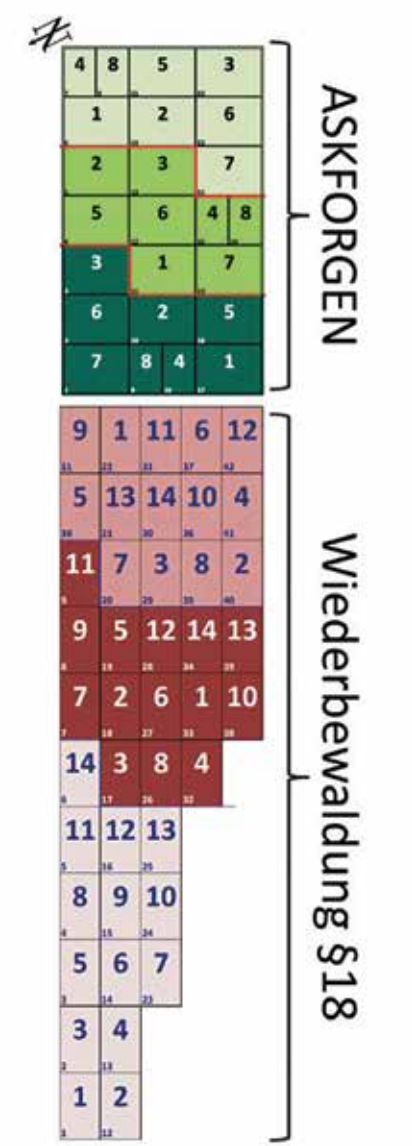


Abb. 2.5.1: Versuchsdesign: Randomisierter Blockversuch mit 3 Wiederholungen, gesamte Versuchsfläche Saubersdorf (© Weißenbacher, BFW)

2.6 Zusammenfassung und Ausblick

Im ASKFORGEN-Projekt wurden folgende Fortschritte und Ergebnisse erzielt:

- Untersuchung der Schwarzkiefernsaatguterntebestände: Es wurde festgestellt, dass das Pathogen *Diplodia sapinea* weit verbreitet ist und in allen untersuchten Saatgutbeständen vorhanden ist. Die Ergebnisse bestätigen die praktischen Empfehlungen zur Bekämpfung der Krankheit, wie die Vermeidung von dichtem Baumbestand, die Entfernung von geschädigten Bäumen und die Vermeidung von Verletzungen.
- Entwicklung eines Saatgutuntersuchungsprotokolls: Ein neues Protokoll wurde entwickelt, um die Verbreitung von *D. sapinea* über Samen zu untersuchen. Es kombiniert die DNA-Extraktion mit quantitativer PCR (qPCR) und ermöglicht den Nachweis von *D. sapinea* auf der Ebene einzelner Samen. Bei der Untersuchung von 14 Saatgutpartien wurde, bis auf eine österreichische Partie, alle positiv auf *D. sapinea* getestet.
- Erforschung der Resistenz gegenüber *D. sapinea*: Im Fokus des Projekts stand das Transkriptom der Schwarzkiefer, um die Abwehrreaktion gegen *D. sapinea* zu verstehen. Schlüsselgene und Stoffwechselwege wurden identifiziert. Ein innovativer Züchtungsansatz wurde entwickelt, bei dem eine große Anzahl von Schwarzkiefern einem Kontrollinfektionsexperiment ausgesetzt wurde, um resistente Individuen zu identifizieren. Zudem wurden Tests mit Sämlingen in einer Klimakammer durchgeführt, um den Selektionsprozess zu beschleunigen und den Platzbedarf zu reduzieren.
- Schwarzkiefern-Herkunftsversuch: Es wurde ein Exaktversuch mit sieben Herkünften der Schwarzkiefer aus fünf Ländern angelegt. Parallel dazu wurde in direkter Nachbarschaft ein Exaktversuch mit 13 heimischen und nichtheimischen Baumarten mit Klimaperspektive erstellt.

Diese Maßnahmen und Untersuchungen des Projektes zielten darauf ab, die Schwarzkiefer langfristig an die zukünftigen Klimabedingungen anzupassen und die Auswirkungen der Wechselwirkungen zwischen Schwarzkiefer und Pathogen *D. sapinea* zu verstehen.
Angesichts des Klimawandels wird ein langfristiges Monitoring der Feldversuche, die Einrichtung einer Samenplantage, die vollständige Genomsequenzierung der Schwarzkiefer sowie eine verstärkte Forschung zu biotischen und abiotischen Toleranzen, wie beispielsweise Trockentoleranz, und zur Resistenzzüchtung dieser Baumart dringend empfohlen.

Danksagung

Der erfolgreiche Abschluss des ASKFORGEN-Projekts wäre ohne den Fleiß und die Begeisterung eines umfangreichen Teams nicht möglich gewesen. Die ursprüngliche Projektidee entstand unter der Federführung von Dr. Jan Peter George, der auch im ersten Jahr die Projektleitung innehatte, gefolgt von Dr. Marcela van Loo bis zum Projektabschluss. Ein besonderer Dank gebührt den Projektpartnern der BOKU, den Diplodia-Experten Mag. Susanne Mottinger-Kroupa und Dr. Erhard Halmschlager, die einen unschätzbaren Beitrag zum Projekt, insbesondere bei der kontrollierten Infektion der Versuchspflanzen mit Diplodia, geleistet haben.

Die Außenaufnahmen in den Saatguterntebeständen wurden von Dr. Benno Eberhard, Dominik Lorenschitz, Ing. Gerald Golesch und Martin Gollobich, MSc durchgeführt. Das Team im Versuchsgarten (VG) Tulln rund um Franz Henninger hat eine maßgebliche Rolle beim erfolgreichen Aufziehen und sorgfältigen Pflegen der Schwarzkiefernsämlinge übernommen.

Die Planung und Umsetzung des Schwarzkiefernherkunftsversuchs oblag Ing. Lambert Weißenbacher, der von einem engagierten Team, bestehend aus Ing. Michael Kober-Eberhardt, Franz Henninger, Florian Henninger, Vasile Moholea, Marian Klich, Erik Szamosvari, MSc, Michaela Breuer, BSc, Ing. Wernfried Zainer, Ing. Roland Mahr, Jasmin Jaganac, Dr. Florian Irauschek und DI Anton Aigner tatkräftig unterstützt wurde. Die Realisierung der Flächen wäre ohne die Hilfe von DI Stefan Spinka und Förster Ing. Georg Heinz aus der Bezirksforstinspektion Neunkirchen nicht möglich gewesen.

Die molekularbiologischen und genetischen Analysen des Saatguts sowie die Untersuchungen zur Diplodia-Toleranz wurden vorrangig von Dr. Carlos Trujillo-Moya geplant und geleitet. Auch bei diesen Untersuchungen leisteten zahlreiche bereits erwähnte Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des BFW sowie Reinhard Ertl, MSc aus der VetMed Universität Wien wertvolle Unterstützung.

Ein besonderer Dank gilt auch DI Christian Lackner für das Korrekturlesen dieser Broschüre sowie Dr. Andrea Kodym und Viktoria Valenta, MSc für ihre bedeutenden Beiträge zum Inhalt der Broschüre, ebenso Gerald Schnabel für das Erstellen des Layouts. Dr. Heino Konrad verdient Anerkennung für seine Unterstützung bei allen administrativen Angelegenheiten und allen offenen Fragen und Eszter Buchert für ihre Hilfe bei der Projektabrechnung. Abschließend möchten wir uns bei allen Mitautoren dieser Broschüre bedanken, ebenso wie bei all jenen, deren Namen wir hier möglicherweise versehentlich nicht erwähnt haben.

Weiterführende Informationen

Klimastatusbericht 2020 vom Climate Change Center Austria.
https://ccca.ac.at/wissenstransfer/klimastatusbericht/klimastatusbericht-2021

Die Zukunft der Kiefernarten (BFW, Praxisinformation)
https://www.bfw.gv.at/wp-content/uploads/BFW_Praxisinformation54_2022_Kiefern.pdf

Detaillierte Beratersuche zu forstlichen Themen
https://www.klimafitterwald.at/beratersuche/

Waldbauliche Empfehlungen für die Behandlung der Schwarzkiefernbestände
https://www.leader-noe-sued.at/files/download/schwarzfoehre_kieferntriebsterben/Broschuere_A5_Leader-Schwarzkiefern_DRUCK.pdf

Baumartenampel, welche die Eignung verschiedener Baumarten in Österreich im Klima der Zukunft (von 2080 - 2100) zeigt.
https://www.klimafitterwald.at/baumarten/

Die unabhängige Informationsplattform für forstliches Saat- und Pflanzgut in Österreich.
www.herkunftsberatung.at

Zulassung und Kategorien des forstlichen Vermehrungsgutes
https://www.bundesamt-wald.at/forstliches-vermehrungsgut/zulassung-und-kategorien.html

Nationale Liste mit den registrierten Saatguterntebeständen.
https://www.bundesamt-wald.at/forstliches-vermehrungsgut/nationale-listen/nationale-liste---saatguterntebestände.html
https://www.bundesamt-wald.at/forstliches-vermehrungsgut/natreg/natreg.html

Naturwaldreservate
http://www.naturwaldreservate.at

Die Schwarzföhre in Österreich (Ihre außergewöhnliche Bedeutung für Natur, Wirtschaft und Kultur), Kohlross H. (Hrsg.), 2022, (1.Aufl.)
Verlag Kral, ISBN 978-3-99103-035-5

Literatur

Kapitel Information zur Schwarzkiefer inkl. Unterscheidungsmerkmale im Vergleich zu anderen Pinus-Arten, Phylogenomik und Phylogeographie

Jin WT, Gernandt DS, Wehenkel C, Xia XM, Wei XX, Wang XQ. 2021. *Phylogenomic and ecological analyses reveal the spatiotemporal evolution of global pines.* Proc Natl Acad Sci U S A 18:118(20):e2022302118. doi: 10.1073/pnas.2022302118. PMID: 33941644; PMCID: PMC8157994.

Olsson, S., Grivet, D., Cattonaro, F. et al. 2020. *Evolutionary relevance of lineages in the European black pine (Pinus nigra) in the transcriptomic era.* Tree Genetics & Genomes 16:30. https://doi.org/10.1007/s11295-020-1424-8

Scotti-Saintagne, C., Giovannelli, G., Scotti, I. et al. 2019. *Recent, Late Pleistocene fragmentation shaped the phylogeographic structure of the European black pine (Pinus nigra* Arnold*)*. Tree Genetics & Genomes 15:76. https://doi.org/10.1007/s11295-019-1381-2

Kapitel Heimisches Saatgut inkl. Erntebestände

Buchacher, R., Chakraborty, D., Schüler, S. 2020. *"Assisted Migration" und neue Baumarten: ein Beitrag für klimafitte Wälder.* BFW Praxisinformation Nr. 52: 3-7.

Kapitel Herkunftsversuche

Fischer, F., Šeho, M., Götz, B., 2019. *Die Schwarzkiefer - eine Alternative für Brandenburg?* AFZ-Der Wald 16/2019: 26-30.

Huber, G., 2011. *Neue Tests für Schwarzkiefern-Herkünfte in Bayern im Hinblick auf den Klimawandel*. Forstarchiv 82: 134-141.

Isajev, V., B. Fady, H. Semerci and V. Andonovski 2004. EUFORGEN *Technical Guidelines for genetic conservation and use for European black pine (Pinus nigra).* International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. 6 pages.

Röhrig, E. 1966. *Die Schwarzkiefer (Pinus nigra Arnold) und ihre Formen, 2. Teil: Erste Ergebnisse von Provenienzversuchen.* Silvae Genetica 15: 21-26.

Kapitel Das Holz von Schwarzkiefer

Ast, H., Winner G. 2011. *Kienholz.* In: *Historische Holzverwendung und Waldnutzung in der Schneebergregion – Brennholz*. http://holzverwendung.boku.ac.at/refbase/files/ast/2011/203_Ast2011.pdf

Grabner, M., Teischinger, A., Stingl, R. 2022. *Das Holz der Schwarzföhre. Eigenschaften und technologische Umsetzung. In:* Kohlross, H. *(Hrsg.). Die Schwarzföhre in Österreich. Ihre außergewöhnliche Bedeutung für Natur, Wirtschaft und Kultur.* Berndorf, Kral Verlag: 96-102.

Schweingruber, F.H. 1993. *Trees and Wood in Dendrochronology.* Springer, Heidelberg, 402 S.

Uçkull – Gylleubaud, K.D. 1843. *Kurze Beschreibung der österreichischen Schwarzkiefer und ihres großen Nutzens für die Forst und Landwirthschaft.* Sauerländer, Frankfurt.

Kapitel Waldbauliche Bedeutung

Dengler, A. 1992. *Der Wald als Vegetationsform und seine Bedeutung für den Menschen.* Erster Band, 6. Auflage, neubearbeitet von E. Röhrig und N. Bartsch. Verlag Paul Parey, 244-246.

Huber, G. 2011. *Neue Tests für Schwarzkiefern-Herkünfte in Bayern im Hinblick auf den Klimawandel.* Forstarchiv 82:134-141.

Huber, G., Seho, M. 2016. *Die Schwarzkiefer – eine Alternative für warmtrockene Regionen.* LWF aktuell 3:17-20.

Klemment, H.-J., Falk, W., Bickel, E. 2012. *Wie wächst die Schwarzkiefer?* LFW aktuell 89:41-45.

Leitgeb, E., Starlinger, F. 2022. *Rolle der Kiefern im Klimawandel.* BFW-Praxisinformation 54:3-6

Mayer, H. 1984. *Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage.* Gustav Fischer Verlag-Stuttgart-New York, 121-123.

Reichert, F., Ertle, C., Spathelf, P. 2011. *Was können Schwarzkiefer und Kiefer auf einem Kippenstandort leisten?* AFZ-Der Wald 14:19-22.

Rohl, M. (Projektleiter). 2019. *Waldbauliche Empfehlungen für die Behandlung der Schwarzkiefernbestände im Industrieviertel/Niederösterreich.* LEADER-Region NÖ-Süd
https://www.leader-noe-sued.at › files › download › schwarzfoehre_…

Ruhm, W., Schüler, S. 2022. *Kiefernbewirtschaftung als Hoffnungsträger oder Problemfall: alles eine Frage des Waldbaus!?* BFW- Praxisinformation 54:12-15.

Schwarzbauer, P. 2016. *Die Märkte von Kiefern-Sägerundholz und Kiefern-Schnittholz in Österreich.* In: Teischinger A. (Hrsg.), *Die FEHRA. Die Kiefer (Pinus sylvestris* L.*) und ihre Bedeutung für Natur, Technik, Wirtschaft und Kultur.* Lignovisionen 31:139-134.

Seho, M., Tubes, M., Faust, K. 2020. *Kurzportrait Schwarzkiefer* (*Pinus nigra Arnold)*. http//www.waldwissen.net

Kapitel **Krankheiten und Schädlinge**

Brandstetter, M., Cech, T. 2003. *Lecanosticta-Kiefernnadelbräune (Mycosphaerella dearnessii Barr) in Niederösterreich*. Centralblatt für das gesamte Forstwesen, Wien, 120(3/4): 163-175.

Cech, T.L. 2012. *Kieferntriebsterben - nicht immer Diplodia pinea.* In Steyrer G., Tomiczek Ch., Lackner Ch. [Red.]. BFW, Wien. Forstschutz Aktuell. Nr. 53: 26-27.

Donaubauer, E. 1974. *Über das Kiefernsterben in. Österreich.* Sonderdruck aus „100 Jahre Forstliche. Bundesversuchsanstalt“. FBVA Wien, 67-98.

Hinterstoisser, W., Brandstetter, M. (2023): *Überwachung der Kiefernholznematode in Österreich 2021.* In Forstschutz Aktuell Steyrer G., Hoch, G., Lackner, Ch. [Red.]. BFW, Wien. Forstschutz Aktuell 68: 48-54.

Hoch, G., Putz, J., Connell, J. 2017. *Erste Massenvermehrung des Pinienprozessionsspinners (Thaumetopoea pityocampa) in Österreich.* In Steyrer G., Hoch G., Lackner Ch. [Red.]. BFW, Wien. Forstschutz Aktuell Nr. 62: 4-8.

Kirisits, T., Cech, T.L. 2006. *Entwickelt sich die Dothistroma-Nadelbräune zu einem Forstschutzproblem in Österreich?* In Steyrer G., Tomiczek, Ch., Lackner, Ch. [Red.]. BFW, Wien. Forstschutz Aktuell Nr.36: 20-26.

Schwanda, K., Cech, T.L., Hoch, G. 2022. *Vorhandene und neue Schadorganismen an Kiefern.* In BFW-Praxisinfo 54/2022 Lackner Ch. [Red.] Die Zukunft der Kiefernarten. S. 7-11.

Steyrer, G., Cech, T.L., Fürst, A., Perny, B., Hoch, G. 2022. *Waldschutzsituation 2020 in Österreich: Schäden durch Borkenkäfer weiter überdurchschnittlich.* In Steyrer, G., Hoch, G., Lackner, Ch. [Red.]. BFW, Wien. Forstschutz Aktuell Nr. 67: 3-14.

Tubby, K., Adamčikova, K., Adamson, K., Akiba, M., Barnes, I., Boroń, P., Bragança, H., Bulgakov, T., Burgdorf, N., Capretti, P., Cech, T., Cleary, M., Davydenko, K., Drenkhan, R., Elvira-Recuenco, M., Enderle, R., Gardner, J., Georgieva, M., Ghelardini, L., Husson, C., Iturritxa, E., Markovskaja, S., Mesanza, N., Ogris, N., Oskay, F., Piškur, B., Queloz, V., Raitelaitytė, K., Raposo, R., Soukainen, M., Strasser, L., Vahalík, P., Vester, M., Mullett, M. 2023. *The increasing threat to European forests from the invasive foliar pine pathogen,* Lecanosticta acicola, Forest Ecology and Management, Volume 536, 120847, ISSN 0378-1127, https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.120847.

Waldschutzsituation 2020 bis 2021 in Österreich: Erhebungen und Diagnose des BFW und Dokumentation der Waldschädigungsfaktoren 2020 bis 2021. BFW, Wien: 103 S.

Links:
EPPO Link https://gd.eppo.int/taxon/GIBBCI
EPPO https://gd.eppo.int/taxon/BURSXY

Kapitel Untersuchung von derzeit zugelassenen Saatguterntebeständen in Österreich auf Diplodiabefall

Bauerhansl, C.; Koukal, T.; Schadauer, K. 2007. *Erste österreichweite Waldkarte.* Forstzeitung 12:26 – 27

Kilian W., Müller F., Starlinger F., 1994. *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs.* FBVA-Berichte 82, Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien

Kirisits, K., Unger, G., Cech, T.L. 2009. *Schadfaktoren in Kiefernwäldern Niederösterreichs. Präsentation im Rahmen des Projekts "Waldbauliche Empfehlungen für die Bewirtschaftung der Kiefernwäldern in Niederösterreich unter besonderer Berücksichtigung forstschutzrelevanter Aspekte"*, Projekt-Arbeitssitzung, Seminarhotel Schwartz, Breitenau, 14. September 2009.

Kapitel Entwicklung und Anwendung eines Saatgutuntersuchungsprotokolls

Decourcelle, T., Piou, D. and Desprez-Loustau, M.L. 2015. *Detection of Diplodia sapinea in Corsican pine seeds.* Plant Pathol 64:442–449.

Smith, D.R. and Stanosz, G.R. 2006. *A Species-Specific PCR Assay for Detection of Diplodia pinea and D. scrobiculata in Dead Red and Jack Pines with Collar Rot Symptoms.* Plant Dis 90:307–313. Available at: https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PD-90-0307.

Kapitel Auswahl und Phänotypisierung von gegen *Diplodia sapinea* resistenten Bäumen

Vallauri, D.R., Aronson, J. and Barbero, M. 2002. *An Analysis of Forest Restoration 120 Years after Reforestation on Badlands in the Southwestern Alps.* Restor Ecol 10:16–26. Available at: http://doi.wiley.com/10.1046/j.1526-100X.2002.10102.x.

Enescu, C. M., de Rigo, D., Caudullo, G., Mauri, A., Houston Durrant, T. 2016. *Pinus nigra in Europe: distribution, habitat, usage and threats.* In: *San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., Mauri, A.* (Eds.), *European Atlas of Forest Tree Species.* Publ. Off. EU, Luxembourg, pp. e015138+

Olsson, S., Grivet, D., Cattonaro, F., Vendramin, V., Giovannelli, G., Scotti-Saintagne, C., Vendramin, G.G. and Fady, B. 2020. *Evolutionary relevance of lineages in the European black pine (Pinus nigra) in the transcriptomic era.* Tree Genet Genomes 16:30. Available at: https://link.springer.com/10.1007/s11295-020-1424-8.

Roy, J., Kyritsi, I., Reinwarth, N., Bachelier, J.B., Rillig, M.C., Lücking, R. 2022. *Host and abiotic constraints on the distribution of the pine fungal pathogen Sphaeropsis sapinea (= Diplodia sapinea).* Front. For. Glob. Change 5:971916. doi: 10.3389/ffgc.2022.971916

Blüte einer Schwarzkiefer (© Klemens Schmiedbauer, BFW)