

Landshuter Abgabe 1982 Niederaltaich B 32: Urbar geschrieben von Abt Kilian. 1515–1530.  
 Landshuter Abgabe 1982 Niederaltaich B 33: Urbar. 1551.  
 Landshuter Abgabe 1982 Niederaltaich B 39: Stift-, Sal-, Grund- und Kastenbuch. 1685.  
 Landshuter Abgabe 1982 Niederaltaich B 40: Stift-, Sal- und Grundbuch. 1728.  
 Landshuter Abgabe 1982 Niederaltaich R 24: Manuale zu den Bräuhausrechnungen. 1785.  
 Landshuter Abgabe 1982 Niederaltaich R 25–R 26: Geldrechnungen über Ökonomie, Hausmeisterei, Jagd- und Forstwesen, Kalk- und Ziegelofen. 1784, 1785.  
 Landshuter Abgabe 1982 Niederaltaich R 27–R29: Manuale über Ökonomie, Hausmeisterei, Jagd- und Forstwesen, Kalk- und Ziegelofen. 1784–1786.  
 Landshuter Abgabe 1982 Niederaltaich R 30–R39: Schaffnerei-Rechnungen. 1787/1788–1796/1797.  
 Landshuter Abgabe 1982 Niederaltaich R 41–R42: Schaffnerei-Rechnungen. 1797/1798 und 1799/1800.  
 Landshuter Abgabe 1982 Niederaltaich R 44–R45: Schaffnerei-Rechnungen. 1800/1801 und 1801/1802.  
 Landshuter Abgabe 1982 Niederaltaich R 46: Rechnungen der Administration des Klosters Niederaltaich. Abtei, Schaffnerei, Kellerei etc. 1803.

Landshuter Abgabe 1988 Hofkammer A 60: Wiedererhebung der Schwaige des Klosters Niederaltaich auf der Rusel. 1719-1758.

**Staatsarchiv Landshut (StAL)**

Forstamt Deggendorf, Rep. 159/4: R 28: Forstrechnungen sämtlicher Forstreviere des Forstamtes Deggendorf. 1812–1813.

Forstamt Deggendorf, Rep. 159/4: R 40: Designation über das abgegebene Brennholz aus den zum Forstrevier Rusel gehörigen Forstwartheien Hangerleiten und Reichertsried, dann Forstrevier Bischofsmais. 1805–1806.

Pfleggericht Deggendorf A 33: Stift und Kloster Niederaltaich gegen die Untertanen des Amtes Lalling, Landgericht Hengersberg wegen strittigen Holzschlags im Hoch- oder Leopoldswald. 1777–1786.

Pfleggericht Deggendorf A 44: Kloster Niederaltaich gegen Georg Pledl, Bauer zu Gneisting, dann die übrigen Untertanen der Dorfschaften zu Gneisting, Padling, Durchfurth, Dösing, Dattling und Ginn sämtl. zum Landgericht Hengersberg gehörig, wegen verweigerten Holzschlags in dem sogenannten Leopoldswald, dann den Vorbergen. 1777–1784 und 1795–1798, mit einem Vorakt von 1726.

Rentkastenamt Straubing A 339: Wiedererhebung der Schwaige des Klosters Niederaltaich an der Rusel. 1719–1720.

**Archiv der Forstdirektion Niederbayern/Oberpfalz in Regensburg (AfdR)**

Primitives Operat Revier Rusel 1846.

## Wachstumsanalysen von vier Schwarzkiefer-Provenienzen (*Pinus nigra*) auf trockenen Standorten in Baden-Württemberg

(Mit 6 Abbildungen und 5 Tabellen)

M. ŠEHO<sup>✉</sup>, U. KOHNLE, A. ALBRECHT und E. LENK

(Angenommen Januar 2010)

### SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

*Provenienzversuch; Schwarzkiefer; Waldkiefer; Wuchsleistung.*

*Provenance experiment; European Black Pine; Scots Pine; growth.*

### 1. EINLEITUNG

Die Schwarzkiefer (*Pinus nigra*) ist vor allem auf trockenen, steinigen und flachgründigen Standorten verbreitet. Das natürliche Verbreitungsareal der Schwarzkiefer erstreckt sich von Ostspanien über das südliche Frankreich, weite Teile Mittel- und Südtaliens, der Balkan-Halbinsel bis in die westliche Türkei einschließlich der Mittelmeer-Inseln Korsika, Sizilien und Zypern. Außerhalb des Mittelmeergebietes gibt es natürliche Schwarzkiefernbestände in Österreich (Wienerwald), Rumänien und auf der Krim. Die österreichische Schwarzkiefer bildet dabei das nördlichste natürliche Vorkommen dieser Baumart (MAYER, 1984). Aufgrund ihrer Genügsamkeit und ihres Pioniercharakters kann sie sich auf den genannten schwierigen Standorten wirkungsvoll gegenüber anderen Baumarten durchsetzen, deren Konkurrenzkraft sie unter günstigeren Standortverhältnissen deutlich unterlegen ist. Ihre ökologischen Eigenschaften prädestinieren sie dabei als Baumart, die sich gut für die Wiederaufforstung aufgelassener Weiden und Triften eignet. In größerem Umfang sind solche Wiederaufforstungen in

Baden-Württemberg insbesondere im östlichen und südöstlichen Nordbaden, im Odenwaldgebiet, Bauland und Taubergrund zu finden. Hier haben sich im Zuge solcher Aufforstungen beachtliche und leistungsfähige Schwarzkieferbestände entwickelt. Aus der Praxis liegen dort umfangreiche empirische Erfahrungen mit dem Schwarzkiefern-Anbau vor. Bei diesen Praxisanbauten wurde allerdings die Klärung der Eignung unterschiedlicher Herkünfte des Vermehrungsgutes (Provenienzen) nicht systematisch betrieben.

Weiterhin spielt die Schwarzkiefer in Südwestdeutschland auch in den aktuellen Diskussionen um Klimaveränderung eine Rolle. Sie erscheint hier unter spezifischen Verhältnissen als durchaus denkbare Alternative, sofern im Zuge weiter fortschreitenden Klimawandels gravierende Anpassungen des Baumartenspektrums erforderlich werden sollten. Die Schwarzkiefer könnte hier eine Alternative sein, wenn sich der Wasserhaushalt bestimmter Standorte durch deutliche Veränderungen in Richtung mediterraner Verhältnisse für heimische Baumarten zunehmend grenzwertig entwickelt (KOHLE et al., 2008).

Da aufgrund des zersplitterten natürlichen Areals bei der Schwarzkiefer räumlich klar abgegrenzte Provenienzen unter sehr unterschiedlichen Umweltbedingungen existieren, erscheint jedoch gerade bei dieser Baumart die Klärung der Frage nach der Eignung von Provenienzen von großer Bedeutung (z.B. WHEELER et al., 1976; RACHWA und OLEKSYN, 1987). Problematisch stellt sich in diesem Zusammenhang dar, dass bisher nur wenige systematische Provenienzversuche bei Schwarzkiefer bekannt sind. Die bekannten Auswertungen beziehen sich darüber hinaus auf überwiegend junge

✉) Korrespondierender Autor: MUHIDIN ŠEHO, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Postfach 708, D-79100 Freiburg, Deutschland. Tel. +49 761 4018 115, E-mail: muhidin.seho@forst.bwl.de

Bestände (STEPHAN, 1984; RÖHRIG, 1966). Dies ist unbefriedigend, da sich eine eindeutige Anbaubeurteilung auf der Basis junger Bestände häufig nicht sicher treffen lässt. Ein gutes Beispiel dafür bietet die Eignungsbeurteilung für den Anbau von Douglasie-Provenienzen (*Pseudotsuga menziesii*) in Südwestdeutschland: die längerfristige Beobachtung von Versuchsanbauten zeigt, dass die am besten zum Anbau geeigneten Provenienzen häufig in der Jugendphase noch nicht als solche erkennbar waren und sich ihre Wuchsüberlegenheit erst mit zunehmendem Alter herausstellte (KENK und THREN, 1984a, b).

Provenienzversuche bei Schwarzkiefer müssen berücksichtigen, dass das natürliche Areal dieser Baumart in Wirklichkeit aus einer Vielzahl größerer und kleinerer disjunkter Teilareale besteht, die teilweise durch erhebliche Entfernungen voneinander getrennt sind. In diesem natürlichen Areal haben sich verschiedene Formen ausgebildet, die taxonomisch sehr unterschiedlich als Unterarten, Varietäten oder Ökotypen bewertet und behandelt werden (DENGELER, 1992). Folgt man der Gliederung nach MAYER (1984), so treten bei den vier Subspezies drei bis fünf taxonomisch relevante Herkunftsgebiete auf: *clusiana* (3), *laricio* (3), *nigra* (3) und *pallasiana* (5). Um die Komplexität der unterschiedlichen taxonomischen Gliederungsprinzipien zu vereinfachen, wird in der vorliegenden Arbeit dem Vorschlag von RÖHRIG (1957) gefolgt. Die unterschiedlichen Formen werden der Einfachheit halber nach dem Ort der Herkunft beschrieben und synonym als Herkünfte oder Provenienzen bezeichnet (von lateinisch *provenire* = herkommen).

Das Ziel dieser Arbeit ist die Dokumentation der aktuellen Auswertung eines zu Beginn der 1960er Jahre in Baden-Württemberg angelegten Vergleichsanbaus mit definierten Schwarzkiefer-Provenienzen. Dadurch soll auf der Basis längerfristiger Beobachtungen ein Beitrag zur Verbesserung der Grundlagen für die Eignungsbeurteilung dieser Baumart geleistet werden. Folgende Arbeitshypothesen wurden geprüft.

1. Schwarzkiefer-Provenienzvergleich
  - a) Die Provenienzen unterscheiden sich im Höhenwachstum.
  - b) Die Provenienzen unterscheiden sich im Durchmesserwachstum und im Ertragsniveau bezüglich der Gesamtwuchsleistung an Grundfläche.
2. Baumartenvergleich Schwarzkiefer – Waldkiefer
  - a) Die beiden Baumarten unterscheiden sich im Höhenwachstum.
  - b) Die beiden Baumarten unterscheiden sich im Durchmesserwachstum und im Ertragsniveau bezüglich der Gesamtwuchsleistung an Grundfläche.

## 2. MATERIAL UND METHODEN

### 2.1. Versuchsanlagen

Die Versuche wurden im April 1962 und März 1963 im Rahmen einer Versuchsreihe von Provenienzversuchen mit Schwarzkiefer in Baden-Württemberg angelegt. Die gesamte Versuchsreihe besteht aus Anbauten an drei verschiedenen Orten in den ehemaligen Forstbezirken Sinsheim (260 m ü. NN), Walldürn (430 m ü. NN) und Hechingen (520 m ü. NN) auf unterschiedlichen Standorten. Das Saatgut der angebauten vier Provenienzen stammt aus Marchfeld (var. *austriaca*; im Folgenden als „Österreich“ bezeichnet), Višegrad (var. *illyrica*; „Bosnien“), Sila di Calabria (var. *calabrica*; „Italien“) und Vizzarona (var. *poiretania*; „Korsika“/Frankreich). Die Bezeichnung der Provenienzen folgt dem Ansatz von MAYER (1984).

Die Versuchsflächen sowie die einzelnen Versuchsfelder weisen Unterschiede bzgl. Bodenart, Tiefgründigkeit und Wasserhaushalt auf. Die klimatischen Bedingungen der einzelnen Versuchsflächen unterscheiden sich ebenfalls deutlich voneinander. Dabei repräsentiert Walldürn die trocken-kühlsten und flachgründigsten Bedingungen (mäßig trockener Kalkverwitterungslehm, 20–35 cm tief), Sinsheim die feucht-wärmsten und tiefgründigsten (mäßig trockener bis mäßig frischer, flach- bis mittelgründiger Kalkverwitterungslehm, 40–80 cm tief). Die Hechinger Versuchsfläche liegt bezüglich der standörtlichen Eigenschaften zwischen den beiden vorgenannten (mäßig trockener Mergelton mit Tendenz zu mäßig frisch, 30–40 cm tief). Folgende standörtliche Aspekte charakterisieren alle drei Versuchsorte gemeinsam:

- Ausgangssubstrat Karbonatgestein,
- Karstdrainage,
- angespannter Wasserhaushalt.

Die *Tabelle 1* zeigt die Klimadaten für die Periode von 1961 bis 1990. Die Daten stammen aus dem Wasser- und Bodenatlas für Baden-Württemberg und wurden auf die einzelnen Versuchsflächen interpoliert.

Die Pflanzung der Sinsheimer und Walldürner Versuchsfläche erfolgte im 1,3 x 0,4 m Verband mit 1+1 Pflanzen bzw. 1+2 Pflanzen (rd. 19.000 Stück/ha). Die Pflanzung auf der Hechinger Versuchsfläche erfolgte im Verband 1,3 x 0,3 m mit 1+1 Pflanzen (rd. 25.000 Stück/ha). Die einzelnen Versuchsfelder sind 0,10 ha groß, und an jedem der drei Versuchsorte wurden jeweils zwei Felder je Provenienz angelegt. Zudem erfolgte an allen drei Standorten die Anlage eines Vergleichsfeldes mit Waldkiefer (*Pinus sylvestris*). Am Standort Walldürn ist ein Feld mit der Provenienz „Italien“ durch Schadereignisse zwischenzeitlich so stark in Mitlei-

Tab. 1

**Temperatur- und Niederschlagsdaten aus dem Wasser- und Bodenatlas für Baden-Württemberg.  
Temperature and precipitation data from the Water and Soil Atlas of Baden-Württemberg.**

Versuchsfläche (Gauß-Krüger-Koordinaten)	Jahr °C	Temperatur		Niederschlag	
		Anzahl Sommertage (> 25 °C Temp. Tagesmaximum)	Jahr [mm]	Hydrolog. Sommer (Mai-Okt./ Hydrolog. Winter (Nov.-April) [mm]	
Walldürn (3530691/5493958)	7 - 8	25 - 30	700 - 800	400 - 500/ 300 - 400	
Hechingen (3494062/5356142)	8 - 9	30 - 35	800 - 900	400 - 500/ 400 - 500	
Sinsheim (3498986/5461937)	9 - 10	40 - 45	800 - 900	400 - 500/ 400 - 500	

denschaft gezogen worden, dass zwar noch orientierende Auswertungen zur Oberhöhenentwicklung möglich sind, flächenbezogene Aussagen dagegen nicht. Dasselbe gilt für das Waldkiefern-Vergleichsfeld der Versuchsanlage in Walldürn.

Bei einer Bestandeshöhe von etwa 4 m wurde eine Jungbestandspflege durchgeführt. Danach erfolgte die Steuerung der Baumzahl auf den einzelnen Feldern in Abhängigkeit der erreichten Höhe des Grundflächenmittelstammes der 100 dickster Bäume je Hektar ( $h_{100}$ ; „Oberhöhe“), also anhand einer für Versuche mit dieser Baumart an der FVA seinerzeit von ALTHERR speziell entwickelten Baumzahlleitkurve („BLK SKie 1975“; *Abbildung 1*).

Die Durchforstungsstärke bestimmt sich dabei nach der für die vom jeweiligen Feld erreichten  $h_{100}$  korrespondierenden Soll-Baumzahl der jeweiligen Baumzahlleitkurve. Bei einer Oberhöhe von 9–11 m (im Mittel 7 m) erfolgte die Auswahl, dauerhafte Markierung und Ästung (auf 5 m Höhe) von 25 Z-Bäumen je Feld (250 pro ha). Die Durchforstungen erfolgten als Z-Baum-orientierte Auslesedurchforstungen zur gezielten Förderung dieser ausgewählten Z-Bäume. Der Turnus der Durchforstungswiederkehr fiel mit der periodischen Aufnahme der Versuchsfelder zusammen und betrug im Regelfall 5 Jahre. Hiervon sind die von 1991 bis 2008 durchgeführten vier turnusmäßigen Aufnahmen (BHD, Höhe) in die Auswertung einbezogen. Die vorherigen Aufnahmen sind zwar dokumentiert, konnten jedoch aufgrund einer abweichenden Aufnahmemethode nicht in dieser Auswertung verwendet werden. Bei der Waldkiefer wurde die von ABETZ (1972) entwickelte „BLK Kie 1972“ angewendet.

## 2.2. Vergleich des Wachstums der Schwarzkiefer-Provenienzen

### Vergleich bei identischem Alter

In einem ersten Auswertungsschritt wurde das Wachstum der vier Schwarzkiefer-Provenienzen auf der Basis von Bestandeskennwerten verglichen, die bei den periodischen Aufnahmen ermittelt wurden. Verwendet wurden hierzu neben der  $h_{100}$  auch der Brusthöhendurchmesser (gemessen in 1,30 m Höhe; BHD) des Grundflächenmittelstammes der 100 dicksten Schwarzkiefern je

Hektar ( $d_{100}$ ), die gesamte Baumzahl je Hektar sowie die bis zum jeweiligen Zeitpunkt erzielte Gesamtwuchsleistung an Grundfläche (GWL\_G).

Bei der Auswertung musste dabei das zwischen den drei Versuchsanlagen deutlich verschiedene standortsspezifische Niveau an Wuchskraft berücksichtigt werden. Für einen gemeinsamen Vergleich aller drei Versuchsanlagen erfolgte daher eine Standardisierung der Bestandeskennwerte: als Referenzwert diente der aus den Werten aller Schwarzkiefer-Versuchsfelder einer Versuchsanlage für die jeweilige Aufnahme berechnete arithmetische Durchschnittswert. Die Werte der einzelnen Versuchsfelder wurden dann in Relation zu diesem Referenzwert ausgedrückt („relative Abweichung vom gemeinsamen Versuchsmittel“). Die Verwendung dieser relativen Abweichungen erschien geeignet, den Einfluss der zwischen den Versuchsanlagen variierenden standörtlichen Wuchskraft auszuschalten.

Der Berechnung der relativen Abweichungen liegen folgende Formeln und Abkürzungen zugrunde:

relative Höhenabweichungen ( $Rhabw$ )

$$(h_{100 \text{ Feld}} - h_{100 \text{ Vfl-mittel}}) / h_{100 \text{ Vfl-mittel}} \quad (\text{For. 1})$$

relative Durchmesserabweichungen ( $Rdabw$ )

$$(d_{100 \text{ Feld}} - d_{100 \text{ Vfl-mittel}}) / d_{100 \text{ Vfl-mittel}} \quad (\text{For. 2})$$

relative Abweichung der Gesamtwuchsleistung ( $Rgabw$ )

$$(GWL_G \text{ Feld} - GWL_G \text{ Vfl-mittel}) / GWL_G \text{ Vfl-mittel} \quad (\text{For. 3})$$

Die waldbauliche Behandlung der Versuchsfelder bildet einen weiteren Faktor, der provenienzenspezifische Unterschiede im Wachstum überlagern kann und dessen potentieller Einfluss daher bei der Analyse berücksichtigt werden muss. In den hier analysierten Versuchen wurde diesem Aspekt bereits durch ein entsprechendes Versuchsdesign Rechnung getragen. Die Behandlung (Durchforstung) der Versuchsfelder folgte einem einheitlichen, oberhöhengesteuerten Standraumregime: bei allen Schwarzkiefer-Versuchsfeldern sollte bei einer einheitlichen Oberhöhe die identische Anzahl von 250 Z-Bäumen je Hektar ausgewählt werden. Und die Durchforstungen waren grundsätzlich als Z-Baum-orientierte Auslese-Durchforstungen konzipiert, deren Eingriffstärke ober-

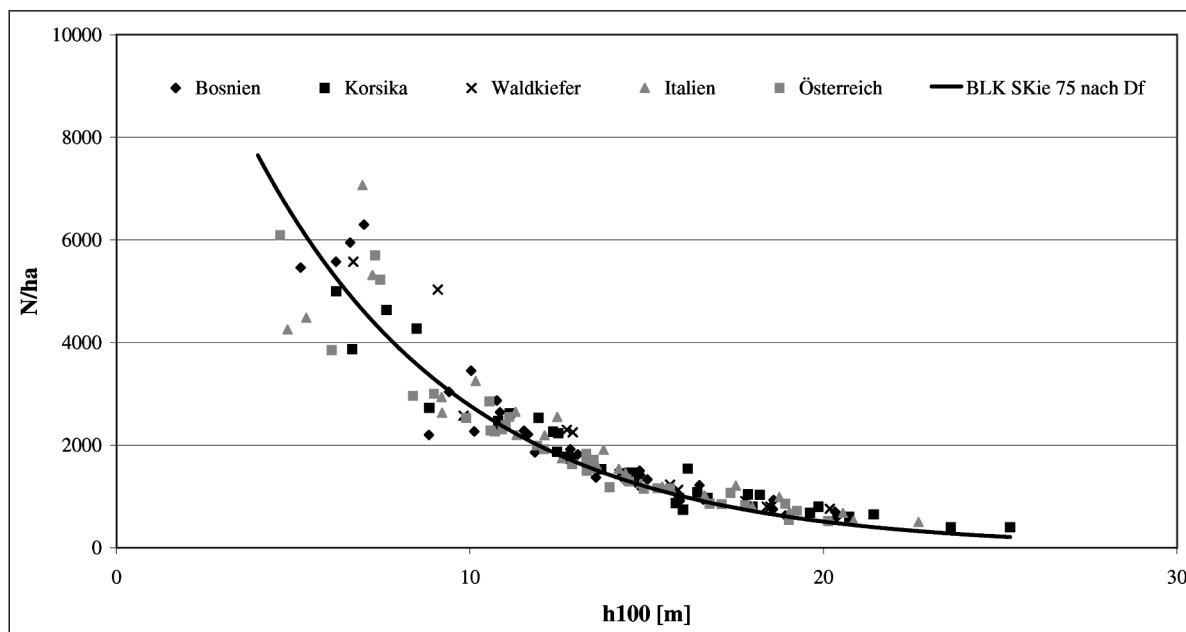


Abb. 1

Baumzahl je ha des bleibenden Bestandes über der Bestandeshöhe ( $h_{100}$ ) mit der Baumzahlleitkurve SKie 75.

Stem number per ha of the residual stand (after thinning) over stand height ( $h_{100}$ ) based on the tree density guide curve SKie 75.

höhenabhängig anhand einer einheitlichen Baumzahlleitkurve vorgegeben war.

#### Vergleich bei einheitlicher Bestandeshöhe

Ein zweiter Auswertungsschritt diente dazu, die Durchmesser- und Grundflächenwachstumsleistung der Schwarzkiefer-Provenienzen – unabhängig vom Alter – bei identischer Bestandeshöhe zu vergleichen. Verwendet wurden hierzu neben dem  $d_{100}$ , die Grundfläche des bleibenden Bestandes (GBB) sowie die jeweils erzielte Gesamtwuchsleistung (GWL\_G). Ziel dieser Analyse war eine Untersuchung auf mögliche Unterschiede im allgemeinen Ertragsniveau zwischen den Provenienzen.

Dieser Vergleich wurde für eine gemeinsame Bestandeshöhe von  $h_{100} = 13,95$  m berechnet. Der Wert entspricht der bei der letzten Aufnahme im Winterhalbjahr 2008/2009 vom höhenwuchsschwächsten Versuchsfeld aller drei Versuchsanlagen erreichten Bestandeshöhe (Walldürn, Versuchsfeld Nr. 5 Provenienz „Österreich“). Durch die Wahl der geringsten realisierten  $h_{100}$  als gemeinsame Höhenvergleichsbasis war gewährleistet, dass entsprechende Durchmesser- und Grundflächenmesswerte bei dieser Höhe von allen Versuchsfeldern verfügbar waren. Allerdings waren bei den anderen Versuchsfeldern die entsprechenden Messungen nicht exakt für  $h_{100} = 13,95$  m erhoben worden. Daher wurden die feldspezifischen Werte ( $d_{100}$ , GWL\_G, GBB) linear aus den beiden Messungen interpoliert, die diesen Höhenwert einklammern.

#### 2.3. Wachstumsvergleich zwischen Schwarzkiefer und Waldkiefer

Für den angestrebten Baumartenvergleich zwischen Schwarzkiefer und Waldkiefer wurden die Schwarzkiefer-Provenienzen aus Bosnien, Italien und Österreich auf der Basis der Befunde zur Höhen- und Durchmesserentwicklung zu einer Gruppe zusammengefasst. Diese Zusammenfassung erschien zweckmäßig, da sich die Höhen- und Durchmesserentwicklung dieser drei Provenienzen untereinander offenbar statistisch nicht unterschied, jedoch signifikant von der korsischen Provenienz abwich. Insgesamt basierte damit der Baumartenvergleich auf folgenden drei Vergleichsgliedern:

- Schwarzkiefer-Provenienzgruppe Bosnien, Österreich, Italien;
- Schwarzkiefer-Provenienz Korsika;
- Waldkiefer.

Zu beachten ist, dass die Versuchsfelder der Waldkiefer nur eine eingeschränkte Datenbasis für einen Baumartenvergleich darstellen. In jeder der drei Versuchsanlagen wurde für Waldkiefer nur ein Vergleichsfeld angelegt, und die Herkunft des Vermehrungsgutes war nicht in jedem Fall eindeutig dokumentiert. Außerdem hatten Schadereignisse in der Versuchsanlage Walldürn das Waldkiefer-Vergleichsfeld so stark in Mitleidenschaft gezogen, dass die noch messbaren Bäume lediglich für eine orientierende Charakterisierung der Höhenentwicklung herangezogen werden konnten. Die Ableitung hektarbezogener Kennwerte ( $d_{100}$ , GWL\_G) war für dieses Versuchsfeld dagegen nicht mehr möglich. Insgesamt standen damit beim Baumartenvergleich für Waldkiefer lediglich Werte von 3 Versuchsfeldern ( $h_{100}$ ) beziehungsweise 2 Versuchsfeldern ( $d_{100}$ , GWL\_G) zur Verfügung.

Für den Baumartenvergleich wurden auch für Waldkiefer analog zu den Schwarzkiefer-Provenienzen relative Bestandeskennwerte ermittelt: entsprechend den Formeln (1) – (3) wurde der für ein Waldkiefer-Vergleichsfeld ermittelte Parameter ( $h_{100}$ ,  $d_{100}$ , GWL\_G) in Relation zum gemeinsamen Mittelwert der Schwarzkiefer-Provenienzen der jeweiligen Versuchsanlage ausgedrückt. Ziel war, wie beim Vergleich der Schwarzkiefer-Provenienzen, die Einbeziehung aller drei Versuchsanlagen in einen gemeinsamen Vergleich.

Für den Vergleich zwischen Waldkiefer und Schwarzkiefer wurden die bei gleichen Aufnahmezeitpunkten (Alter) erreichten Bestandeshöhen ( $h_{100}$ ) verglichen. Vergleiche zur Durchmesser- ( $d_{100}$ ) und Grundflächenleistung (GBB, GWL\_G) der Baumarten erfolgten bei einer einheitlichen Bestandeshöhe von  $h_{100} = 13,95$  m.

#### 2.4. Statistische Testverfahren

Die statistische Bearbeitung erfolgte mit dem Programmpaket SAS 9.1 (SAS-Institute Inc., Cary/USA) in Anlehnung an DUFFNER (2003). Für die graphische Darstellung wurde neben SAS auch EXCEL 2003 (Microsoft) verwendet. Für die statistische Auswertung wurden die Mittelwerte der Stichprobe ( $\bar{x}$ ) und die Standardabweichung (s) als Ausgangsbasis zur Überprüfung der Grundgesamtheit verwendet. Die Prüfung auf Normalverteilung erfolgte durch den Shapiro-Wilk-Test.

Für den Vergleich von Mittelwerten bei normalverteilten Daten erfolgte innerhalb einer Aufnahme eine parametrische Varianzanalyse (ANOVA). Bei nicht normalverteilten Daten oder beim Test von mehreren Aufnahmen trat an die Stelle der ANOVA der verteilungsfreie H-Test nach Kruskal-Wallis. Unabhängig davon, ob die Daten einer Normalverteilung folgen, wurde für Vergleiche über verschiedene Aufnahmezeitpunkte hinweg stets der H-Test nach Kruskal-Wallis angewendet. Dieser Test kann dabei im Prinzip als nicht-parametrische Rangvarianzanalyse bezüglich Medianunterschieden interpretiert werden und bildet damit bei nicht normalverteilten Daten eine nichtparametrische (verteilungsfreie) Alternative zur einfaktoriellen ANOVA.

Der Einfachheit halber wird daher im Folgenden ausschließlich der Begriff Varianzanalyse verwendet, ohne auf die tatsächlich gewählte Art der Varianzanalyse (parametrische ANOVA, nicht-parametrischer H-Test) einzugehen. Für weitere Prüfung auf Signifikanzunterschiede zwischen zwei Gruppen fand für die unabhängigen Stichproben (standardisierte Relativabweichungen der periodischen Aufnahmen) bei vorliegender Normalverteilung der t-Test Anwendung. Sofern die Grundgesamtheiten nicht einer Normalverteilung folgten, wurden die Stichproben mittels des verteilungsfreien Rangsummentests nach Wilcoxon (äquivalent zu Mann-Whitney-U-Test) geprüft, da diese nicht-parametrischen Tests keine Verteilungsanforderungen an das Datenmaterial stellen.

Signifikanzunterschiede zwischen mehreren Gruppen wurden nur in denjenigen Fällen untersucht, in denen die vorgeschaltete Varianzanalyse auf signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen hinwies. In diesen Fällen erfolgte eine weitere Analyse durch paarweise Vergleichstests je nach Art der vorliegenden Verteilung mit parametrischen t-Tests bzw. verteilungsfreien Rangsummentests nach Wilcoxon. Als generelle Irrtumswahrscheinlichkeit wurde ein Niveau von  $\alpha = 5\%$  ( $p < 0,05$ ) festgelegt. Teilweise wurden die erzielten Signifikanzen der Testergebnisse jedoch auch feiner unterteilt und dazu in folgenden Signifikanzniveaus dargestellt:

- n.s.:  $p > 0,05$  = Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha > 5\%$  nicht signifikant
- \*:  $p < 0,05$  = Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha < 5\%$  signifikant
- \*\* :  $p < 0,01$  = Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha < 1\%$  sehr signifikant
- \*\*\*:  $p < 0,001$  = Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha < 0,1\%$  hoch signifikant

### 3. ERGEBNISSE

#### 3.1. Umsetzung der Vorgaben zum Durchforstungsregime

Das Ziel eines in Bezug auf die Oberhöhenentwicklung der Bestände der Schwarzkiefer-Provenienzen einheitlichen Durchforstungsregimes konnte versuchstechnisch weitestgehend realisiert

werden: der Vergleich der bei den turnusmäßigen Aufnahmen ermittelten realen Baumzahlen mit den für die jeweilige Oberhöhe gültigen programmgemäßen Sollwerten der Baumzahlleitkurve ergibt nur geringfügige Abweichungen (Abbildung 1). Aufgrund dieser umgesetzten einheitlichen Durchforstungsvorgaben ist auszuschließen, dass eventuell beobachtete signifikante Wachstumsunterschiede zwischen den Provenienzen durch unterschiedliche Behandlungen (Baumzahl-, Standraumhaltung) ausgelöst wurden.

### 3.2. Vergleich der Schwarzkiefer-Provenienzen bei gleichem Alter

Bei der gemeinsamen Analyse aller Aufnahmen ergibt sich bei der Höhenentwicklung das klarste Bild: die Provenienz Korsika zeigt mit Abstand das beste Höhenwachstum. Die  $h_{100}$  der sechs Felder dieser Provenienz liegt im Durchschnitt der vier Aufnahmen etwa 7% über dem gemeinsamen Mittelwert der jeweiligen Versuchsanlage (Abbildung 2).

Die Unterschiede in der Höhenentwicklung zwischen den anderen drei Provenienzen fallen dagegen wesentlich geringer aus. Die Ergebnisse der paarweisen statistischen Vergleichstests bestätigen diesen Eindruck. Während sich die relative Höhenabweichung der Provenienz Korsika hoch signifikant von den Provenienzen Bosnien, Italien und Österreich unterscheidet, sind die Unterschiede zwischen diesen drei Provenienzen bei  $p < 0,05$  nicht signifikant (Tab. 2).

Die Befunde zu den Bestandesdichten (Baumzahl je Hektar) spiegeln die unterschiedlichen Höhenentwicklungen bei den Provenienzen wieder. Die dem Durchforstungsprogramm zugrunde liegende Baumzahlleitkurve gibt in Abhängigkeit der jeweils erreichten Bestandeshöhe eines Versuchsfeldes die anzustrebende Absenkung der Bestandesdichte quantitativ vor. Als Konsequenz daraus ergibt sich zwangsläufig, dass das raschere Höhenwachstum der Provenienz Korsika zu den verschiedenen Aufnahmezeitpunkten versuchs-technisch bedingt bei gleichem Alter mit vergleichsweise geringeren Bestandesdichten korrespondiert (Abbildung 2).

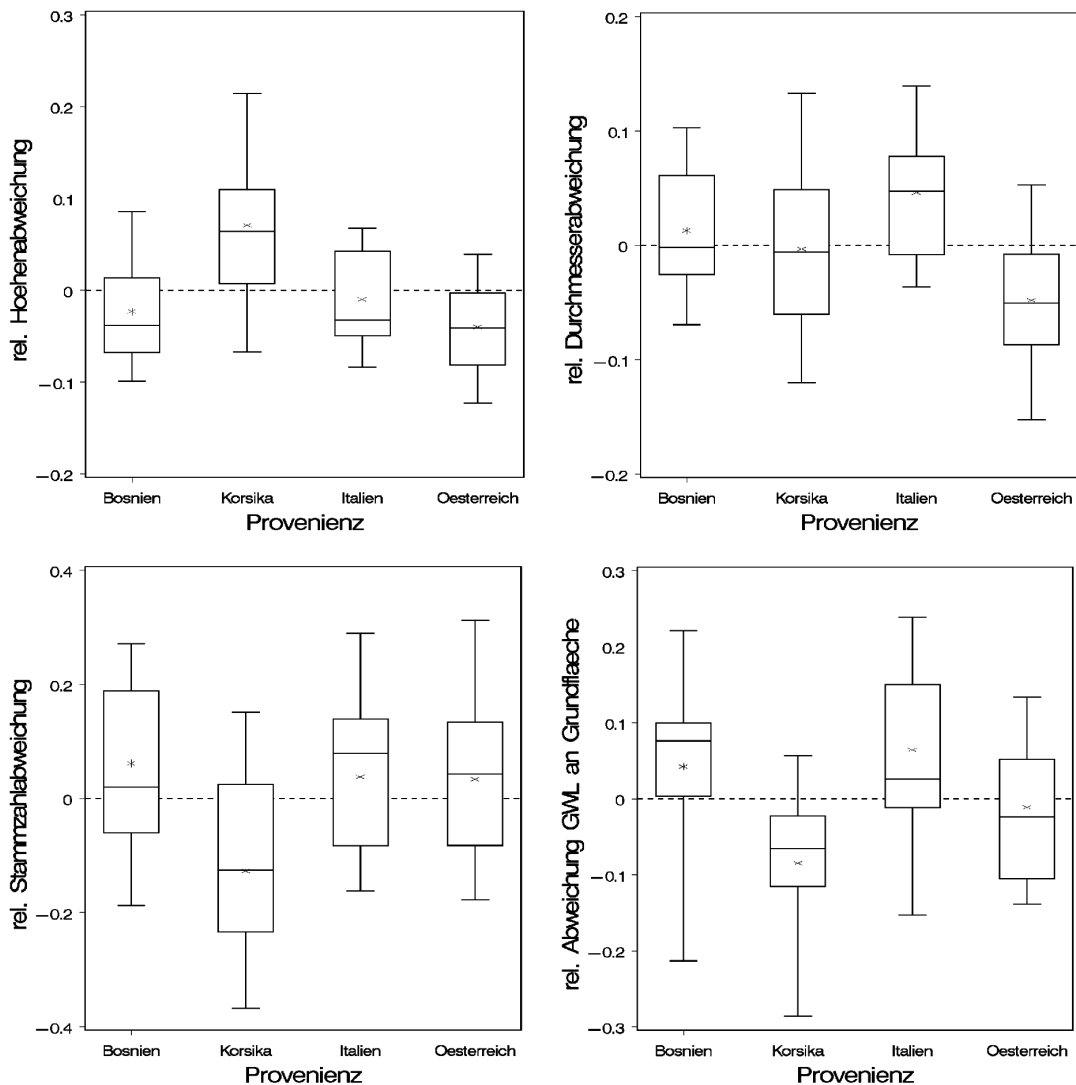


Abb. 2

Boxplots der relativen Abweichungen von  $h_{100}$ ,  $d_{100}$ ,  $GWL\_G$  und  $N$  der Provenienzen vom Mittelwert am jeweiligen Versuchsort (Datenbasis: alle Aufnahmen).

Box plots of the relative deviations of  $h_{100}$ ,  $d_{100}$ , total basal area growth  $GWL\_G$  and  $N$  of the provenances from the mean calculated from all provenance plots at each of the respective experiment location (data based on all inventories).

Tab. 2

Testergebnisse des paarweisen Vergleichs der relativen Abweichungen von  $h_{100}$ ,  $d_{100}$  und  $GWL\_G$  der vier Schwarzkiefer-Provenienzen vom Mittelwert des jeweiligen Versuchsortes (ausgewertet wurden die Werte aller Provenienzfelder in allen vier Aufnahmen 1991–2008; 24 Werte je Provenienz).

Test results of the paired comparison of the relative deviation of  $h_{100}$ ,  $d_{100}$  and total basal area growth  $GWL\_G$ . The values were calculated as deviation of each provenance from the mean of all European.

		Bosnien	Italien	Korsika
<b>Rhabw</b>	Österreich	n.s.	n.s.	***
	Bosnien		n.s.	***
	Italien			***
<b>Rdabw</b>	Österreich	**	***	n.s.
	Bosnien		n.s.	n.s.
	Italien			*
<b>Rgabw</b>	Österreich	*	*	n.s.
	Bosnien		n.s.	***
	Italien			***

Hinsichtlich der relativen Durchmesserabweichungen fallen die Unterschiede etwas weniger einheitlich aus als bei der Höhe. Die Provenienz Österreich liegt im Durchmesser sehr signifikant unter der bosnischen und hoch signifikant unter der italienischen Provenienz. Die italienische Provenienz übertrifft wiederum signifikant die korsische Provenienz (Tabelle 2, Abbildung 2).

Das Bild bei den Gesamtwuchsleistungen folgt mit einer Ausnahme den Durchmessern. Die Ausnahme bildet der Vergleich der bosnischen mit der korsischen Provenienz: in der  $GWL\_G$  liegt die bosnische Provenienz hoch signifikant über der Provenienz Korsika, während es bei den erreichten Durchmessern ( $d_{100}$ ) keine signifikanten Unterschiede zwischen diesen beiden Provenienzen gibt.

Ergänzend zur oben dargestellten gemeinsamen Analyse aller Aufnahmedaten erfolgte eine zweite Serie statistischer Vergleichstests, bei der getrennt nach einzelnen Aufnahmezeitpunkten auf mögliche Signifikanzen geprüft wurde. Diese Analyse diente dabei der Prüfung, ob sich Unterschiede zwischen den Provenienzen möglicherweise im Zeitverlauf verändert haben. Durch die Aufspaltung nach vier verschiedenen Aufnahmezeitpunkten reduzierte sich allerdings der den einzelnen Tests zugrunde liegenden Stichprobenumfang ganz erheblich. Für die drei ersten ausgewerteten Aufnahmezeitpunkte zwischen 1991 und 2003 ergeben sich aus den Tests mit einer Ausnahme keine signifikanten Unterschiede zwischen den Provenienzen hinsichtlich  $h_{100}$ ,  $d_{100}$  und  $GWL\_G$ . Lediglich für die Aufnahmen im Jahr 2003 ergeben sich in Bezug auf die  $h_{100}$  Hinweise auf signifikante Unterschiede zwischen der Provenienz Korsika und zwei anderen Provenienzen (Tabelle 3).

Im Gegensatz zu den Befunden der drei vorhergehenden Aufnahmezeitpunkte, ergeben sich zum Zeitpunkt der letzten Aufnahme 2008 bei allen untersuchten Parametern ( $h_{100}$ ,  $d_{100}$ ,  $GWL\_G$ ) Fälle mit signifikanten Unterschieden zwischen Provenienzen

Tab. 3

Testergebnisse des paarweisen Vergleichs nur mit signifikanten Varianzanalysen (vgl. Tabelle 6; Aufnahme 2008 und teilweise 2003; 6 Werte pro Provenienz).

Test results of the paired comparison restricted to significant variance analyses (see also Tab. 6; 2008 inventory and partly 2003 inventory; 6 values for each provenance).

		Bosnien	Italien	Korsika
<b>Rhabw'08</b>	Österreich	n.s.	n.s.	*
	Bosnien		n.s.	*
	Italien			n.s.
<b>Rdabw'08</b>	Österreich	n.s.	*	n.s.
	Bosnien		n.s.	n.s.
	Italien			n.s.
<b>Rgabw'08</b>	Österreich	n.s.	n.s.	n.s.
	Bosnien		n.s.	*
	Italien			*
<b>Rhabw'03</b>	Österreich	n.s.	n.s.	*
	Bosnien		n.s.	*
	Italien			n.s.

(Tabelle 3). Diese Unterschiede weisen dabei in dieselbe Richtung wie bei der gemeinsamen Analyse aller vier Aufnahmezeitpunkte (Tabelle 2). Insgesamt sind die Unterschiede jedoch bei der isolierten Analyse der Aufnahme von 2008 weniger konsistent, und das Signifikanzniveau ist niedriger. Inwiefern diese Beobachtung möglicherweise auf den gegenüber der gemeinsamen Analyse aller vier Aufnahmezeitpunkte reduzierten Stichprobenumfang zurückgeht, wurde nicht näher untersucht.

### 3.3. Vergleich der Schwarzkiefer-Provenienzen bei einheitlicher Bestandeshöhe

Die Varianzanalysen weisen für die bei einer einheitlichen Bestandeshöhe von  $h_{100} = 13,95$  m im bleibenden Bestand erreichten Durchmesser ( $d_{100}$ ) und Grundflächen auf signifikante Gruppenunterschiede hin. Bezüglich der erreichten Gesamtwuchsleistung an Grundfläche treten sogar sehr signifikante Gruppenunterschiede auf. Paarweise Vergleiche zwischen Provenienzen weisen dabei für alle drei untersuchten Parameter nahezu ausnahmslos statistisch signifikante Abweichungen der Provenienz Korsika von den anderen drei Provenienzen auf (Tabelle 4, Abbildung 3).

Die einzige Ausnahme bildet dabei der Vergleich der Provenienzen Korsika und Österreich bezüglich der Grundflächenunterschiede im bleibenden Bestand (GBB). Im Gegensatz zu den Vergleichen mit der Provenienz Korsika bewegen sich die Unterschiede zwischen den drei anderen Provenienzen bei der gewählten Referenzhöhe von knapp 14 m hinsichtlich  $d_{100}$ , GBB und  $GWL\_G$  ohne Ausnahme im nicht signifikanten Bereich. Die GBB wird in der Abbildung 3 nicht dargestellt, weil die entsprechenden Boxplots ein gleiches Bild ergeben wie für die  $GWL\_G$ .

Tab. 4

**Testergebnisse des paarweisen Vergleichs einzelner Provenienzen bei einer standardisierten Referenzhöhe von  $h_{100} = 13,95$  m, für die die Daten der einzelnen Felder gegebenenfalls linear interpoliert wurden.**

**Trial results of the paired comparison of individual provenances for a standardised reference height of  $h_{100} = 13,95$  m, for which the data of the individual plots were subject to linear interpolation where necessary.**

	Österreich	Bosnien	Italien	Korsika
<b>d100</b>	Österreich	n.s.	n.s.	*
	Bosnien		n.s.	***
	Italien			*
<b>GBB</b>	Österreich	n.s.	n.s.	n.s.
	Bosnien		n.s.	*
	Italien			*
<b>GWL_G</b>	Österreich	n.s.	n.s.	*
	Bosnien		n.s.	*
	Italien			**

### 3.4. Wachstum von Schwarzkiefer und Waldkiefer im Vergleich

Aufgrund der offenkundigen Unterschiedlichkeit der Schwarzkiefer-Provenienzen erschien es für diesen Vergleich zwischen Baumarten unbedingt erforderlich, die Provenienz Korsika als eigenes Vergleichsglied beizubehalten. Im Gegensatz dazu legten es die zwischen den drei anderen Schwarzkiefer-Provenienzen zu beobachtenden allenfalls marginalen Unterschiede hinsichtlich der ausgewerteten Parameter nahe, diese drei Schwarzkiefer-Provenienzen (Bosnien, Italien, Österreich) für den Baumartenvergleich zusammenzufassen und als gemeinsame Gruppe („SKie-Sonstige“) zu betrachten.

Hinsichtlich der Höhenentwicklung wird bei diesem Baumartenvergleich deutlich, dass sich die drei Versuchsfelder mit Waldkiefer zwar gravierend von der Schwarzkiefer-Provenienz Korsika unterscheiden. Die Unterschiede zwischen Waldkiefer und der Gruppe der drei anderen Schwarzkiefer-Provenienzen fallen dagegen wesentlich geringer aus (Abbildung 4).

Während der Mittelwertsunterschied zwischen den beiden Schwarzkiefer-Provenienzgruppen erwartungsgemäß statistisch signifikant ausfällt, lässt sich die erhebliche Differenz der Mittelwerte zwischen Waldkiefer und der Schwarzkiefer-Provenienz Korsika dagegen auf einem Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  statistisch nicht absichern. Wir vermuten jedoch, dass in diesem Fall der geringe Stichprobenumfang bei Waldkiefer (lediglich 3 Vergleichsfelder) und die heterogene Qualität dieser Felder wesentlich für die fehlende statistische Absicherbarkeit verantwortlich sein dürften.

Bei rechnerisch gleicher Bestandeshöhe ( $h_{100} = 13,95$  m) unterscheiden sich die auf den beiden einbezieharen Waldkiefer-Vergleichsflächen ermittelten hektarbezogenen Bestandekenngrößen  $d_{100}$ , GBB und  $GWL_G$  deutlich sowohl von der Schwarzkiefer-Provenienz Korsika als auch von der Gruppe der sonstigen Schwarzkiefer-Provenienzen. Trotz der für diese Parameter bei

Waldkiefer außerordentlich geringen Datenbasis (2 Vergleichsfelder) sind die Mittelwertsunterschiede ausnahmslos signifikant (Tabelle 5).

Im Vergleich übertrifft bereits die Schwarzkiefer-Provenienz Korsika die bei dieser Bestandeshöhe von der Waldkiefer erreichten Durchmesser- und Grundflächen-Kennwerte (Abbildung 5). Noch stärker fallen die Unterschiede zwischen Waldkiefer und der Gruppe der drei anderen Schwarzkiefer-Provenienzen aus, die ihrerseits die Provenienz Korsika hoch signifikant übertrifft. Bei den Mittelwerten schneidet die Waldkiefer erheblich schlechter ab und alle Schwarzkiefern zeigen bemerkenswerte Größenordnungen der erreichten Durchmesser und Grundflächen (Abbildung 5) sowie hohe Signifikanzniveaus (Tabelle 5).

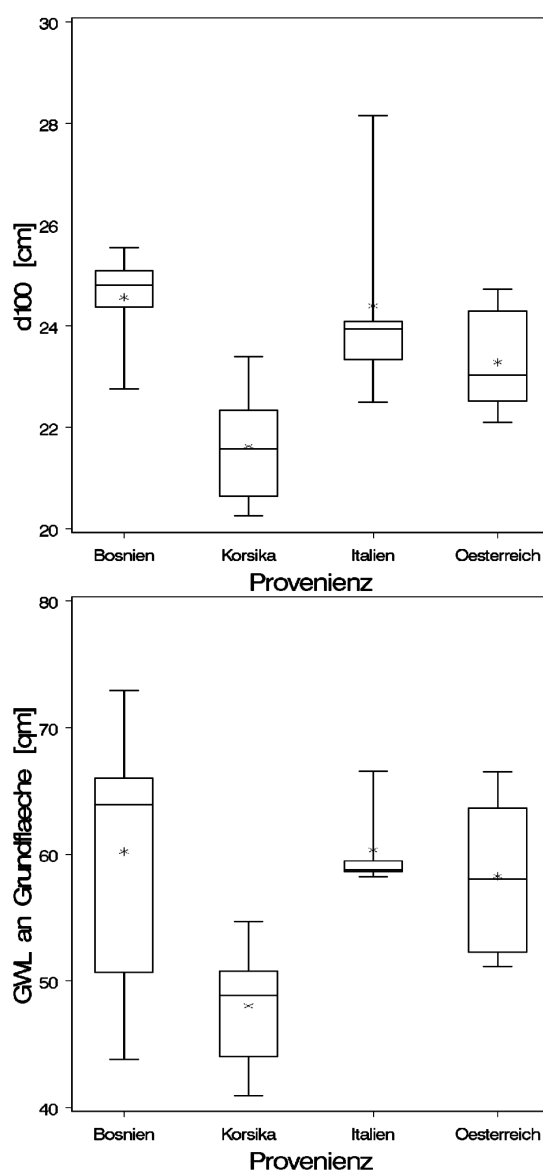


Abb. 3

Boxplots der Verteilung von  $d_{100}$  und  $GWL_G$  bei einer standardisierten Referenzhöhe von  $h_{100} = 13,95$  m, für die die Daten der einzelnen Felder gegebenenfalls linear interpoliert wurden.

Box plots of the distribution of  $d_{100}$  and total basal area growth  $GWL_G$  for a standardised reference height of  $h_{100} = 13,95$  m, for which the data of the individual plots were subject to linear interpolation where necessary.

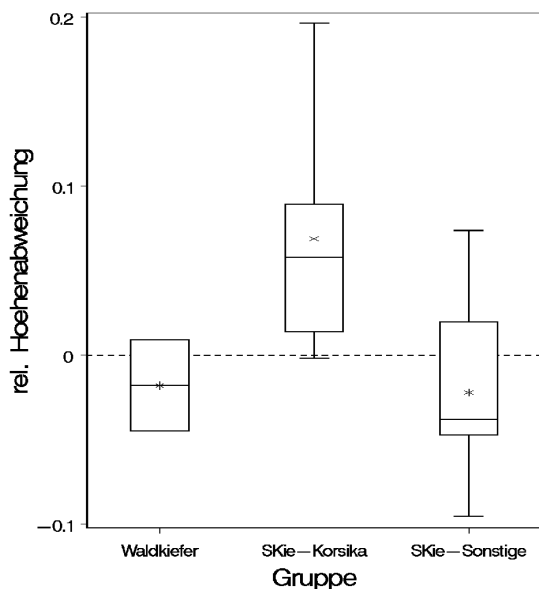


Abb. 4

Vergleich der Höhenentwicklung der Versuchsfelder mit Schwarzkiefer (*P. nigra*) und Waldkiefer (*P. sylvestris*). Die Schwarzkiefer-Felder sind zwei unterschiedlichen Gruppen zugewiesen: SKie-Korsika (Prov. Korsika) und SKie-Sonstige (Prov. Bosnien, Italien, Österreich).

Comparison of the height development between trial plots with European Black Pine (*P. nigra*) and Scots Pine (*P. sylvestris*). The Black Pine plots are assigned to two different groups: Black Pine Corsica (SKie-Korsika) and Black Pine poor (Bosnia, Italy, Austria) (SKie-Sonstige).

Tab. 5

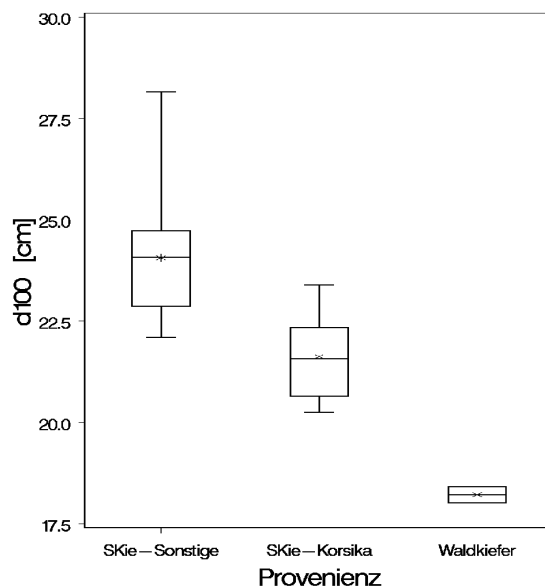
Testergebnisse des paarweisen Vergleichs bei einer einheitlichen Referenzhöhe von  $h_{100} = 13,95$  m, Daten der einzelnen Felder linear interpoliert. Die Schwarzkiefer-Felder sind zwei Gruppen zugewiesen: SKie-Korsika (Prov. Korsika) und SKie-Sonstige (Prov. Bosnien, Italien, Österreich).

Test results of the paired comparison for a standardised reference height of  $h_{100} = 13,95$  m, data of the individual fields subject to linear interpolation. The Black Pine plots are assigned to two groups: Black pine poor (Corsika) (SKie-Korsika) and SKie-Sonstige (Bosnia, Italy, Austria).

	SKie-Sonstige	SKie-Korsika
<b>D100</b>	***	***
<b>GBB</b> Waldkiefer	***	***
<b>GWL_G</b>	***	***

### 3.5. Grundflächen-Wuchsleistung von Schwarzkiefer und Waldkiefer im Vergleich zu Ertragstafelwerten

Abbildung 6 stellt die in den Provenienzversuchen ermittelte Gesamtwuchsleistung an Grundfläche der Schwarzkiefer und der Waldkiefer-Vergleichsfelder über der Bestandeshöhe im Vergleich zu Ertragstafelwerten dar. Diese Darstellungsform wurde gewählt, da sie ausgehend vom EICHORN'schen Gesetz bei einheitlicher Bestandeshöhe einen von Bonität und Alter weitgehend unabhängigen Vergleich der Wuchsleistung ermöglicht (MITSCHERLICH, 1969). Für die Darstellung wurde bei Schwarzkiefer zwischen der Provenienz Korsika und den zu einer Gruppe zusammenfassbaren drei anderen Provenienzen (Bosnien, Italien, Österreich) differen-



Provenienz

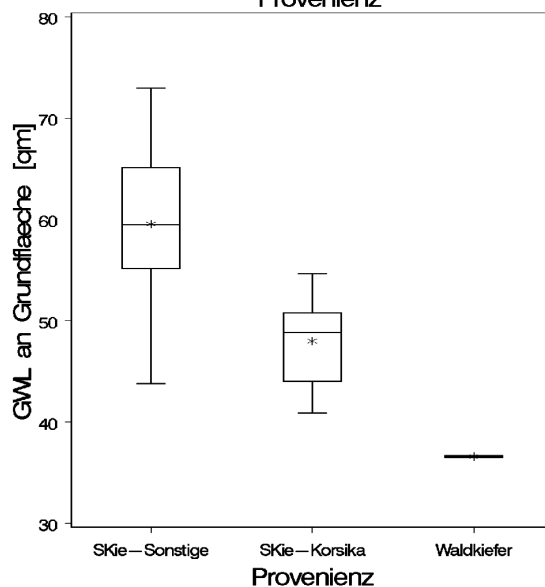


Abb. 5

Vergleich von  $d_{100}$  und  $GWL_G$  der Versuchsfelder mit Schwarzkiefer (*P. nigra*) und Waldkiefer (*P. sylvestris*) bei einer standardisierten Referenzhöhe. Die Schwarzkiefer-Felder sind zwei unterschiedlichen Gruppen zugewiesen: SKie-Korsika (Prov. Korsika) und SKie-Sonstige (Prov. Bosnien, Italien, Österreich).

Comparison of  $d_{100}$  and total basal area growth  $GWL_G$  between trial plots with European Black Pine (*P. nigra*) and Scots Pine (*P. sylvestris*) for a standardised reference height. The Black Pine plots are assigned to two different groups: Black pine poor (Corsika) (SKie-Korsika) and Skie-Sonstige (Bosnia, Italy, Austria).

ziert. Für beide Gruppen erfolgte ein linearer Regressionsausgleich.

Für Vergleichszwecke enthält Abbildung 6 zusätzlich linear ausgeglichene Entwicklungen der Wuchsleistung einer Ertragstafel für (Wald-)Kiefer (WIEDEMANN, 1943; Bonität: Oberhöhe 26,7 m im Alter 100 Jahre;  $dGz_{100}$  7) sowie der beiden süddeutschen Ertragstafeln für Fichte (ASSMANN und FRANZ, 1972; Bonität: Oberhöhe 36 m im Alter 100 Jahre, oberes Ertragsniveau) und für Tanne (HAUSSER, 1956; Bonität: Oberhöhe 33,4 m im Alter 100 Jahre;  $dGz_{100}$  13). Im Einzelnen werden insbesondere folgende Aspekte deutlich:



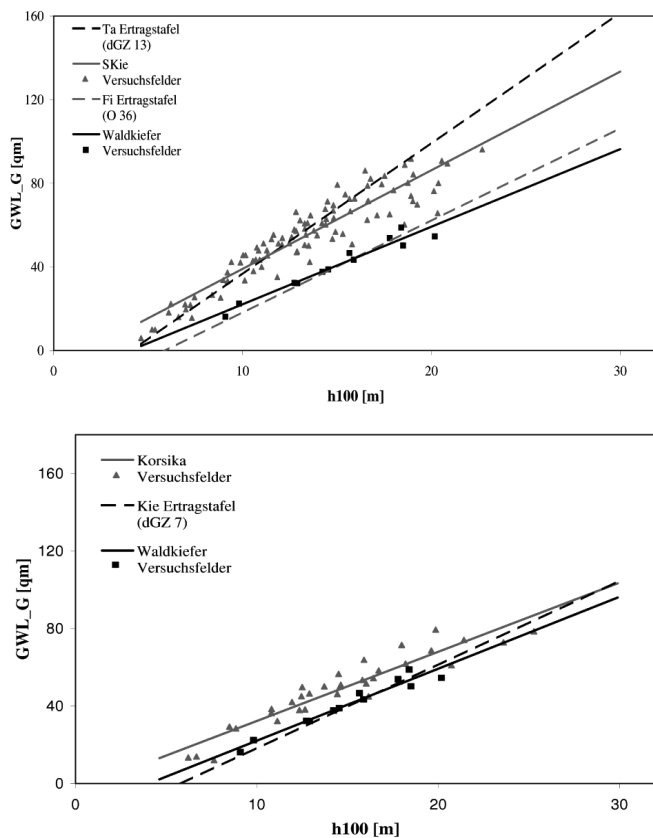


Abb. 6

Vergleich der Gesamtwuchsleistung an Grundfläche der Versuchsfelder mit Schwarzkieferprovenienzen und der Waldkiefer mit den Ertragstafeln für Tanne- (Ta dGZ 13), Kiefer- (Kie dGZ 7) und Fichte (Fi O36). Die Schwarzkiefer-Felder sind zwei unterschiedlichen Gruppen zugewiesen: Korsika (Prov. Korsika) und SKie (Prov. Bosnien, Italien, Österreich). Der Ausgleich erfolgt linear.

Comparison of total basal area growth between trial plots with the European Black Pine provenances, the Scots Pine, and fir, Scots Pine and spruce yield tables. The Black Pine plots are assigned to two different groups: Black pine poor (Corsika) (Korsika) and SKie (Bosnia, Italy, Austria). A linear approximation was made.

- Die in den drei Ertragstafeln abgebildeten Wuchsleistungen zeigen die erwartete Reihung von der ausgeprägten Lichtbaumart Waldkiefer, über die Halbschattbaumart Fichte zur typischen Schattbaumart Tanne.

- Die in den Versuchen für die (wenigen) Waldkiefer-Vergleichsflächen ermittelten Wuchsleistungen passen gut zur ertragstafelgemäß erwarteten Entwicklung.

- Die in der Ertragstafel für Waldkiefer abgebildete Wuchsleistung wird in den Versuchen von den Schwarzkiefer-Provenienzen deutlich übertroffen. Dabei sind die Unterschiede zur Schwarzkiefer-Provenienz Korsika weniger deutlich ausgeprägt (Abbildung 6 rechte Grafik) als die sehr markanten Unterschiede zur Gruppe der Provenienzen Bosnien, Italien und Österreich (Abbildung 6 linke Grafik).

- Interessanterweise übertrifft die höhenbezogene Wuchsleistung der Schwarzkiefer auch die Ertragstafelwerte für Fichte. Dies gilt allerdings im Wesentlichen nur für die zu einer Gruppe zusammengefassten Provenienzen Bosnien, Italien und Österreich. Die Provenienz Korsika liegt dagegen in der Wuchsleistung nur geringfügig über der zum Vergleich herangezogenen Fichten-Ertragstafel.

- Für die Tanne weisen die Ertragstafelwerte dagegen durchgängig gegenüber den Schwarzkiefer-Provenienzen überlegene höhenbezogene Wuchsleistung aus, und diese Überlegenheit betrifft alle untersuchten Schwarzkiefer-Provenienzen.

## 4. DISKUSSION

### 4.1. Methodische Überlegungen

Das Wachstum der in den Schwarzkiefer-Provenienzanbauten untersuchten Versuchsbestände variiert erheblich. So reicht die Bandbreite der Bestandesoberhöhen bei der letzten Aufnahme der Versuche im Alter von knapp 50 Jahren von 14 bis 26 m. Diese Unterschiede gehen allerdings nur zum Teil auf Provenienzunterschiede zurück. Die standörtliche Charakterisierung der Versuchsfelder, sowie ein Vergleich des allgemeinen Niveaus der an den drei Anbauorten beobachteten Höhenwuchsleistung weisen klar darauf hin, dass hieran zu einem erheblichen Teil Unterschiede im standortsspezifischen Niveau der Wuchsleistung verantwortlich sind. Der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit liegt jedoch nicht auf der Untersuchung standortsspezifischer Aspekte, sondern auf der Ausprägung möglicher Provenienz-spezifischer Unterschiede im Wuchsverhalten. Daher galt es, diesen Einfluss unterschiedlicher Standortsleistungskraft auf die Ausprägung der untersuchten Parameter möglichst weitgehend zu eliminieren. Methodisch wurde dies in der vorliegenden Studie zu erreichen versucht, indem für jeden der drei Anbauorte aus allen Schwarzkiefer-Versuchsfeldern jeweils ein gemeinsamer Mittelwert als Referenzwert berechnet und die einzelnen Versuchsfelder in Relation zu diesem Referenzwert ausgedrückt (standardisiert) wurden. Dieses bei der Analyse von Provenienzversuchen übliche Vorgehen (RAU, 2005) erschien gut geeignet und zweckmäßig, da an allen drei Versuchsorten dieselbe Anzahl an Versuchsfeldern mit der jeweiligen Provenienz angelegt worden war.

Bei der Auswertung längerfristig beobachteter Provenienzversuche spielt die angemessene Berücksichtigung der Entwicklung der Bestandesdichte eine wesentliche Rolle. Sie kann zusätzlich zum Einfluss standörtlicher Faktoren oder der genetischen Konstitution die Ausprägung der zur Beurteilung der Wuchsleistung herangezogenen dendrometrischen Parameter (beispielsweise Höhe oder Durchmesser) erheblich beeinflussen. Wie aus Standraumversuchen mit anderen Baumarten bekannt ist (z.B. Buche [HEIN et al., 2007], Fichte [HERBSTTRITT et al., 2006] oder Douglasie [EHRING et al., 2006]), beeinflussen Bestandesdichte und/oder Standraumdynamik dabei vor allem die Durchmesserentwicklung, haben jedoch allenfalls geringen Einfluss auf die Höhenentwicklung.

Bei der Bereinigung der durchschnittlichen Höhenwuchsleistung (ausgedrückt z.B. in der Höhenentwicklung des Grundflächenmittelstammes) von möglichen Effekten der Bestandesdichte sind die durchforstungsbedingten Veränderungen in der Zusammensetzung des Bezugskollektivs, sowie deren Auswirkungen auf das Höhenwachstum zu bedenken. Deutlich geringere Probleme treten in dieser Hinsicht dagegen bei der Verwendung der Oberhöhe ( $h_{100}$ ) auf. Zum einen treten bei diesem Kollektiv kaum rechnerische Verschiebungen durch Veränderung der Zusammensetzung auf. Zum anderen kann davon ausgegangen werden, dass sich Unterschiede in der Bestandesdichte allenfalls marginal auf die Höhenwuchsleistung der in diesem Kollektiv repräsentierten herrschenden Bäume auswirken. Dies gilt zumindest für Fälle, in denen sich die Dichteunterschiede in einem „forstüblichen“ Rahmen bewegen. Die hier ausgewerteten Provenienzversuche erfüllten diese Voraussetzung, so dass die  $h_{100}$  als valider, vom Einfluss (geringfügig) unterschiedlicher Bestandesdichte weitgehend freier Parameter für den Vergleich der Höhenwuchsleistung herangezogen werden kann.

Im Gegensatz zur Höhenentwicklung wirkt sich die laterale Konkurrenzsituation eines Baumes ganz wesentlich auf seine Durch-

messerentwicklung und damit auch auf die daraus abgeleiteten Parameter Grundfläche und Volumen aus. Um den direkten Einfluss der Provenienz auf die Durchmesser-Wuchsleistung beurteilen zu können, ist es daher zwingend erforderlich, den Einfluss unterschiedlicher Bestandesdichten oder Standräume auf die zum Vergleich herangezogenen Parameter möglichst weitgehend zu eliminieren. Prinzipiell lassen sich dafür komplexe Wachstumsmodelle (z.B. YUE et al., 2008) heranziehen, die Bestandesdichte und Konkurrenzstatus eines Baumes als wesentliche Prädiktoren für das Durchmesserwachstum verarbeiten. Allerdings sind solche modellierungsgestützten Vergleichsverfahren methodisch außerordentlich aufwendig.

Bei den Schwarzkiefer-Provenienzversuchen war bereits bei der Versuchsanlage ein anderer Weg eingeschlagen worden, der darauf abzielte, Einflüsse variierender Bestandesdichten auf die Wuchsleistungsparameter durch ein spezielles Durchforstungsprogramm zur Dichtesteuerung möglichst weitgehend auszuschalten. Bei allen vier Schwarzkiefer-Provenienzen erfolgten Z-Baum orientierte Auslesedurchforstungen zugunsten einer einheitlich definierten Anzahl an Z-Bäumen. Und für die anzustrebende Bestandesdichte bzw. Stärke der Durchforstung ergaben sich aus der einheitlichen, höhengesteuerten Baumzahlleitkurve eindeutige quantitative Vorgaben. Im bisherigen Versuch gelang es, diese Vorgaben zur Entwicklung der Bestandesdichte der bleibenden Bestände weitestgehend und mit nur geringen Abweichungen umzusetzen (*Abbildung 1*). Unabhängig von Provenienz und Standortsleistungskraft ist dadurch gewährleistet, dass die Bestände der verschiedenen Schwarzkiefer-Provenienzen bei vergleichbarem physiologischem Entwicklungsstand (Höhe) vergleichbare Konkurrenzverhältnisse (Bestandesdichten) aufweisen. Unter diesen experimentellen Voraussetzungen erschien daher die Einbeziehung komplexer modellierungsgestützter Ansätze für den Vergleich charakteristischer Parameter zur Beurteilung der Wuchsleistung verzichtbar.

Aus prinzipiellen Überlegungen erfolgten für den Vergleich der Wuchsleistung keine volumenbezogenen Berechnungen: Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung möglicher provenienzspezifischer Unterschiede. Während Höhe, Durchmesser und Grundfläche direkt aus den Feldmesswerten berechnet werden können, sind für Volumenberechnungen weitere Informationen beispielsweise zur Formigkeit erforderlich. Solche Informationen sind für Schwarzkiefer in Südwestdeutschland jedoch nicht in der erforderlichen Provenienz-spezifischen Auflösung verfügbar. Volumenberechnungen unter Annahme durchschnittlicher Verhältnisse, beispielsweise durch Anwendung der Massentafeln von ALTHERR (1969), hätten daher die Gefahr von Fehlbeurteilungen beinhaltet, die sich aus prinzipiell denkbaren Provenienz-spezifischen Ausprägungen der Schaftform hätten ergeben können. Für die Ziele dieser Arbeit erschien es daher am zweckmäßigsten, auf Volumenberechnungen zu verzichten und sich auf die Berechnung der Grundfläche zu beschränken.

## 4.2. Wuchsleistungen im Vergleich

### *Höhenwuchsleistung der Schwarzkiefer-Provenienzen*

Ganz offenkundig unterscheidet sich die Höhenwuchsleistung der korsischen Schwarzkiefer-Provenienz erheblich von den anderen drei untersuchten Provenienzen. Das Höhenwachstum dieser Provenienz verläuft zumindest in dem von den Versuchen abgedeckten Alters- bzw. Höhenrahmen wesentlich rascher. Unabhängig vom unterschiedlichen Niveau der Standortsleistungskraft war diese Überlegenheit im Höhenwachstum im Prinzip an allen drei Anbauorten feststellbar. Diese Unterschiede ergeben sich im Übrigen nicht nur bei der Analyse der in der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegten Auswertung des bestandsspezifischen Höhenkennwerts  $h^{100}$ . Ergänzende Analysen auf der Basis einzelbaum-

spezifischer Messwerte führen für diese Versuche im Prinzip zum gleichen Ergebnis (ŠEHO, 2008).

Frühere Untersuchungen von Schwarzkiefer-Provenienzanbauten konstatierten bereits in zehnjährigen (RÖHRIG, 1966) beziehungsweise vierzehnjährigen Beständen (STEPHAN, 1984) eine deutliche Überlegenheit korsischer Provenienzen in der Höhenwuchsleistung, sofern keine Beeinträchtigungen durch Frost auftraten. Unsere Auswertungen stützen diese Befunde, wonach die Überlegenheit im Höhenwachstum von Schwarzkiefern korsischer Provenienz bereits früh evident wird. Bereits bei der ersten in die Auswertung einbezogenen Aufnahme im Alter von 27 Jahren besteht im Mittel die Tendenz zu einer entsprechend positiven Abweichung der Provenienz Korsika vom Versuchsdurchschnitt der  $h_{100}$ . Die Mittelwertsdifferenz lässt sich jedoch in diesem jungen Alter auf der Basis der verfügbaren Daten nicht statistisch absichern. Allerdings erscheint es durchaus denkbar, dass die Ursache für die fehlende statistische Absicherung im geringen Stichprobenumfang (6 Felder je Provenienz) zu suchen sein könnte, der möglicherweise nicht ausreichte, um die zu diesem Zeitpunkt noch relativ geringen Mittelwertunterschiede statistisch signifikant fassbar zu machen.

In die gleiche Richtung weist auch die im Zusammenhang mit dieser Arbeit durchgeführte Auswertung bisher unveröffentlichter Daten der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg zu einem Schwarzkiefer-Versuch in den 1960er Jahren, der entsprechend dem Design des von RÖHRIG (1966) initiierten Provenienzversuchs angelegt worden war. Für diesen Versuch liegt allerdings nur eine auswertbare Aufnahme für das Alter 22 Jahre vor. Auch in dieser Versuchsanlage übertrifft die Höhenentwicklung der einbezogenen korsischen Provenienz die der anderen Schwarzkiefer-Provenienzen (Daten hier nicht dargestellt). Und auch in diesem Fall lässt sich der Unterschied in diesem relativ frühen Alter noch nicht statistisch absichern. Jedoch zeigt die Verteilung der Boxplots die tendenzielle Überlegenheit der korsischen Provenienz in der Höhenwuchsleistung. Leider wurde die baden-württembergische RÖHRIG-Versuchsanlage nach dieser einen Aufnahme aufgegeben. Die folgenden Aussagen über den weiteren Verlauf der Höhenentwicklung der Provenienzen beziehen sich daher ausschließlich auf die im methodischen Teil beschriebenen, in der vorliegenden Arbeit erstmals ausgewerteten Versuchsanlagen.

Die bereits in jüngeren Altern angedeutete Überlegenheit der Provenienz Korsika in der Höhenwuchsleistung verstärkt sich mit zunehmendem Alter und manifestiert sich dann auch in statistisch signifikanten Unterschieden: die Differenzbeträge der Provenienz Korsika zu den anderen Provenienzen nehmen mit dem Alter tendenziell zu. Gleichzeitig steigen die Signifikanzniveaus der Unterschiede. Ganz offensichtlich behalten die korsischen Schwarzkiefern ihren frühen Höhenvorsprung nicht nur bei, sondern bauen ihn systematisch weiter aus.

Der analysierte Datensatz gibt dabei keine Hinweise auf gerichtete Veränderungen in der Rangfolge der Höhenwachstumsleistung bei den Schwarzkiefer-Provenienzen. Im Gegensatz dazu sind bei Douglasie solche Veränderungen in der Rangfolge zwischen Provenienzen ein häufig zu beobachtendes Phänomen: in baden-württembergischen Douglasie-Provenienzversuchen zeigte es sich beispielsweise, dass besonders anwuchssichere, zunächst vergleichsweise rasch wachsende Provenienzen durch negative Rangveränderung in der Höhenwuchsleistung im Lauf der Zeit stark abfielen und damit für den Anbau kaum geeignet erschienen. Umgekehrt erwiesen sich die nach längerer Versuchsdauer als besonders anbauwürdig identifizierten Provenienzen in der frühen Jugend als vergleichsweise ungünstig bezüglich des Höhenranges (KENK und THREN, 1984a, b). Inwiefern vielleicht auch bei den Schwarzkiefer-Provenienzen später möglicherweise noch konver-

gierende oder gar sich umkehrende Höhenrangfolgen auftreten, bleibt abzuwarten. Auf der Basis des bisherigen Verlaufs der Versuche erscheint dies jedoch eher unwahrscheinlich.

#### *Durchmesser- und Grundflächen-Wuchsleistung der Schwarzkiefer-Provenienzen.*

Die von den Provenienzen erzielten Wuchsleistungen im Durchmesser der einhundert stärksten Bäume ( $d_{100}$ ) weichen von der Höhenwuchsleistung dieses Kollektivs ( $h_{100}$ ) deutlich ab. Zum einen sind die im Laufe des Versuchs entstandenen Unterschiede im  $d_{100}$  der Provenienzen weniger markant ausgeprägt. Und zum anderen ergibt sich eine deutlich andere Rangfolge. Am auffälligsten ist dabei, dass die von den Beständen der Provenienz Korsika erreichten  $d_{100}$  trotz hochsignifikanter Überlegenheit in der Höhenwuchsleistung bezüglich des Durchmesserwachstums allenfalls im Mittelfeld liegen. Die vergleichsweise höchste Wuchsleistung bezüglich Durchmesser über Alter findet sich bei der Provenienz Italien, die geringste bei der Provenienz Österreich.

Noch markanter sind die Veränderungen gegenüber der bei der Höhenwuchsleistung beobachteten Rangfolge der Provenienzen beim Vergleich der Gesamtwuchsleistung an Grundfläche (GWL\_G) über dem Alter. Hier schneidet die in der Höhenwuchsleistung dominierende Provenienz Korsika im Vergleich der Mittelwerte deutlich am schlechtesten ab. Der vergleichsweise höchste Mittelwert wird von den Beständen der Provenienz Bosnien erzielt, die Mittelwerte der Provenienzen Italien und Österreich liegen dazwischen.

Die bezüglich der Wuchsleistung über dem Alter durchgeführten statistischen Signifikanztests zeigen ebenfalls deutliche Unterschiede. Bezüglich der Höhenwuchsleistung ergibt sich ein einheitliches und klares Bild. Zum einen unterscheidet sich die Provenienz Korsika sowohl bei der gemeinsamen Analyse aller vier Aufnahmen als auch bei der gesonderten Analyse der letzten Aufnahme im Alter von 49 Jahren signifikant von den anderen drei Provenienzen. Lediglich bei der gesonderten Analyse der letzten Aufnahme lassen sich – bei geringem Stichprobenumfang – die Unterschiede zur Provenienz Italien statistisch nicht absichern. Zum anderen liegen die Unterschiede zwischen den Höhenwuchsleistungen der drei anderen Provenienzen ausnahmslos unterhalb des statistischen Signifikanzniveaus.

Aufgrund der evidenten Provenienzunterschiede im Höhenwachstum in Kombination mit der höhengesteuerten Regulierung der Bestandesdichte und der damit verbundenen Standraumdynamik kommt es beim Vergleich zwischen Wuchsleistungen von  $d_{100}$  und GWL\_G in Abhängigkeit des Alters zu Überlagerungen mit Effekten der Bestandesdichte. So führten die gemäß den Baumzahlleitkurven kalibrierten Durchforstungen bei den in der Höhenentwicklung in der Regel deutlich vorwüchsigen Beständen der Provenienz Korsika bei gleichem Alter regelmäßig zu den geringsten Bestandesdichten. Aufgrund dieser höhenspezifisch gesehen weiter fortgeschrittenen Bestandesentwicklung in Verbindung mit der korrespondierenden Standraumerweiterung wäre *ceteris paribus* eine vergleichsweise überlegene Wuchsleistung in  $d_{100}$  und GWL\_G zu erwarten. Dass dies nicht der Fall ist, liefert ein erstes Indiz auf eine möglicherweise grundsätzlich abweichende Wachstumsdynamik und Standraumökonomie der korsischen Schwarzkiefer-Provenienz.

Zur Klärung dieses Aspekts erfolgte ein Vergleich der Wuchsleistung von Durchmesser und Grundfläche bei gleicher Bestandeshöhe. Die Darstellung der Wuchsleistung über der Höhe ist ein gängiges waldwachstumskundliches Verfahren zur Eliminierung des Einflusses der Wuchsgeschwindigkeit (z.B. EICHORN, 1904; ABETZ, 1973). Auf dieser Basis durchgeführte Vergleiche der Wuchsleistungen bei einer standardisierten Referenzhöhe von

gerundet 14 m bestätigt eindrücklich die abweichende Wuchsdynamik der Provenienz Korsika. Bedingt durch die Behandlung nach einer einheitlich höhengesteuerten Baumzahlleitkurve entsprechen sich zu diesem Entwicklungszeitpunkt die Baumzahlen der Bestände aller vier Provenienzen. Trotz vergleichbarer Bestandesdichten und daraus abgeleiteter rechnerisch verfügbarer Standräume reicht die Wuchsleistung der Provenienz Korsika bezüglich Durchmesser und Grundfläche bei weitem nicht an das Niveau der drei anderen Provenienzen heran, von denen sie sich signifikant unterscheidet. Die für die Provenienzen Bosnien, Italien und Österreich berechneten Werte zeigen zwar eine erhebliche Streuung, die Mittelwerte dieser drei Provenienzen unterscheiden sich untereinander jedoch nicht signifikant.

Die unterschiedlichen Befunde zur Wuchsleistung der vier untersuchten Schwarzkiefer-Provenienzen legen eine Aufteilung in zwei Gruppen unterschiedlicher Wuchsdynamik nahe. Die Provenienz Korsika bildet dabei aus folgenden Gründen eine eigene Gruppe. Sie zeigt gegenüber den drei anderen Provenienzen eine anhaltende Überlegenheit in der Höhenwuchsleistung in Verbindung mit einer offenkundig reduzierten Standraumökonomie. Unter höhenbereinigt rechnerisch vergleichbaren Standraumverhältnissen erreichen Bäume dieser Provenienz nur vergleichsweise geringe Durchmesser. In den analysierten Versuchsanbauten resultiert daraus eine erheblich reduzierte Gesamtwuchsleistung an Grundfläche. Das Ausmaß der höhenbezogen reduzierten Durchmesser- und Grundflächen-Wuchsleistung ist so groß, dass es altersbezogen den Effekt der überlegenen Höhenwuchsleistung vollständig zu kompensieren scheint: trotz überlegenem Höhenwachstum liegen die Bestände der Provenienz „Korsika“ hinsichtlich Durchmesser und Gesamtwuchsleistung bei gleichem Alter am unteren Ende der Ausprägung dieser Merkmale.

Da keine Provenienz-spezifischen Kenntnisse zur Schaftformigkeit verfügbar sind, lassen sich die Auswirkungen dieses abweichende Höhen und Durchmesserwachstum der Provenienz „Korsika“ auf das Volumenwachstums zum derzeitigen Zeitpunkt nicht abschließend klären. Unterstellt man jedoch für orientierende Abschätzungen (Ergebnisse hier nicht dargestellt) bei allen vier untersuchten Provenienzen einheitlich Formigkeiten, die der Masentafel von ALTHERR (1969) zugrundeliegen, zeigt sich, dass das überlegen Höhenwachstum der Provenienz Korsika ihre reduzierte Grundflächen-Wachstumsleistung nicht kompensieren kann. Unter diesen Annahmen ergäbe sich für die Provenienz Korsika eine sowohl alters- als auch höhenbezogene deutlich reduzierte Wachstumsleistung an Volumen im Vergleich zu den drei anderen Schwarzkiefer-Bonitäten.

Möglicherweise könnte das geringere Ertragsniveau der Korsika-Provenienz auf ein vergleichsweise höheres Lichtbedürfnis zurückgehen. Für Bestände typischer Lichtbaumarten wird nämlich häufig eine geringere Gesamtwuchsleistung beobachtet als bei Halbschatt- oder Schattbaumarten. Auf eine mögliche Sonderstellung der Korsika-Kiefer weist auch die Beobachtung hin, dass diese Provenienz offenbar auch auf Standorte aus silikatischem Ausgangsmaterial vorkommt (FRANK, 1991), während die drei anderen Provenienzen in ihren natürlichen Herkunftsgebieten ausschließlich auf Standorten auf Karbonatgestein stocken.

Von Interesse in diesem Zusammenhang erscheinen auch die Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungen, die darauf hinweisen, dass die italienischen Provenienzen ihre Nadeln offenbar erheblich länger behalten als die korsischen (LINES, 1984). Diese Ergebnisse könnten im Zusammenhang mit der in den von uns ausgewerteten Versuchen gefundenen Entwicklung der italienischen Provenienz gesehen werden, da die Produktivität von *Pinus nigra* von der Langlebigkeit der Nadeln beeinflusst wird (STEINHUBEL, 1973).

Während sich die Provinz Korsika in allen untersuchten Wuchseigenschaften deutlich unterscheidet, trifft dies für die drei anderen Provenienzen nicht zu. Die Provenienzen Bosnien, Italien und Österreich scheinen sich in ihren Wuchsleistungen nicht wesentlich zu unterscheiden. Die allenfalls geringfügigen Unterschiede zwischen den Mittelwerten weisen weder ein konsistentes Bild auf noch lassen sie sich im Regelfall statistisch absichern. Auf der Grundlage der verfügbaren Datenbasis erscheint es daher zweckmäßig und möglich, diese drei Provenienzen bezüglich der geprüften Wuchsleistungsmerkmale zu einer einheitlichen Gruppe zusammenzufassen.

#### *Wuchsleistung von Schwarzkiefer im Vergleich mit anderen Baumarten.*

Die hier analysierten Versuchsanbauten ermöglichen einen direkten experimentellen Vergleich mit der Waldkiefer. Allerdings ist die dafür verfügbare Datenbasis stark eingeschränkt: die Versuche enthalten für Waldkiefer nur drei Vergleichsfelder, von denen eines zwischenzeitlich zudem starke Schäden aufweist. Außerdem kam bei Waldkiefer Pflanzgut unklar dokumentierter, mit hoher Sicherheit aber unterschiedlicher Provenienz zum Einsatz. Trotz dieser Einschränkungen erscheinen folgende Aussagen möglich, die jedoch nur orientierenden Charakter haben können und im Rahmen des geringen Stichprobenumfangs statistisch nicht abzusichern waren. An allen drei Anbauorten zeichnet sich das Höhenwachstum der Waldkiefer dem aller Schwarzkiefer-Provenienzen als unterlegen ab. Aufgrund der standörtlichen Bedingungen der Versuchsanbauten ist diese Beobachtung nicht unerwartet. Die Versuchsanbauten befinden sich auf flachgründigen Böden aus Kalkverwitterung über Karstdrainage unter warm-trockenen klimatischen Bedingungen. Diese schwierigen Standorte entsprechen etwa dem Bereich des standörtlichen Spektrums, in dem die Schwarzkiefer in ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet dominiert.

Zusätzlich zu dieser für das Standortspektrum der Versuchsanbauten indizierten höheren Wuchsgeschwindigkeit von Schwarzkiefer gegenüber Waldkiefer weisen die Versuchsbefunde darauf hin, dass die Schwarzkiefer bei gleicher Bestandeshöhe eine gegenüber der Waldkiefer deutlich höhere Gesamtwuchsleistung an Durchmesser und Grundfläche erzielt. Ähnliche Befunde liegen auch aus spanischen Untersuchungen vor (TRASOBARES et al., 2004).

Auch der Vergleich mit Werten der Waldkiefer-Ertragstafel WIEDEMANN zeigt, dass die von den untersuchten Schwarzkiefer-Provenienzen erzielte Wuchsleistung an Grundfläche bei gleicher Bestandeshöhe die Tafelwerte der Lichtbaumart Waldkiefer übertreffen. Dabei sind provenienzspezifische Unterschiede unverkennbar. Während die korsische Schwarzkiefer-Provenienz die Waldkiefer-Tafelwerte nur geringfügig übertrifft, fallen die Unterschiede zur Gruppe der drei anderen Provenienzen gravierend aus. Tatsächlich bewegt sich die Grundflächen-Gesamtwuchsleistung dieser drei Schwarzkiefer-Provenienzen zwischen den Ertragstafelwerten der Halbschattbaumart Fichte (ASSMANN-FRANZ, oberes Ertragsniveau) und der typischen Schattbaumart Tanne (HAUSSER).

Diese Befunde korrespondieren gut mit Praxisbeobachtungen, wonach sich die waldbaulichen Eigenschaften der Schwarzkiefer deutlich von denen der Waldkiefer unterscheiden. Konkurrenzbedingte Mortalität tritt bei Schwarzkiefer erst bei vergleichsweise hohen Bestandesdichten auf, und die Bestände können dadurch höhere Vorräte aufbauen als bei Waldkiefer. Im Gegensatz zur typischen Lichtbaumart Kiefer scheint Schwarzkiefer damit insgesamt eher dem Charakter einer Halbschattbaumart zu entsprechen.

Das zumindest in der baden-württembergischen Planungspraxis nicht unübliche Vorgehen einer Veranschlagung und Behandlung von Schwarzkiefer in Anlehnung an Waldkiefer erscheint außeror-

dentlich kritisch, da es aufgrund der deutlichen Unterschiede zwischen beiden Baumarten zu erheblichen Fehleinschätzungen bei Schwarzkiefer führen muss. ALTHERR erkannte die Problematik dieses Vorgehens bereits in den 1960er Jahren und erarbeitete erste Grundlagen für eine von Waldkiefer getrennte, eigenständige Bonitierung und Beschreibung der Wachstumsgänge von Schwarzkiefer in Baden-Württemberg (ALTHERR, 1969). Falls der Schwarzkiefer in Zukunft im Zusammenhang mit Klimaveränderungen eine zunehmende Bedeutung zukommen sollte, ist für eine erfolgreiche Behandlung dringend die Entwicklung angepasster Wachstumsmodelle (einschließlich Volumenfunktionen) und artspezifischer Behandlungskonzepte erforderlich. Dies schließt die Notwendigkeit zur Untersuchung der Verwendungspotentiale des Holzes von Schwarzkiefer ein.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit stellt die Ergebnisse der ersten Zwischenauswertung eines Schwarzkiefer-Provenienzversuchs in Baden-Württemberg vor. Dieser Provenienzversuch mit vier verschiedenen Provenienzen wurde an drei unterschiedlichen Standorten auf Karbonatgestein angelegt. Zum Anbau kamen Saatgut aus Bosnien, Österreich, Italien und Korsika.

Die Anlage erfolgte 1962. Die Auswertung basiert auf dem Zeitraum ab 1991 bis zur letzten Aufnahme im Jahr 2008 und bezieht vier periodische Aufnahmen ein. Bei der letzten Aufnahme hatten die Bestände ein Alter von 49 Jahren erreicht. Im Vordergrund der vorliegenden Arbeit stehen insbesondere die Höhenwuchsleistung der vier Provenienzen, sowie die erzielte Gesamtwuchsleistung. Die aus den Auswertungen abgeleiteten Schlussfolgerungen können allerdings nur vorläufigen Charakter haben, da die aktuelle Auswertung bislang erst einen Zeitraum von 18 Jahren abdeckt:

Die untersuchten Schwarzkiefer-Provenienzen unterscheiden sich eindeutig in ihrem Höhenwachstum (*Tabelle 2, Abbildung 2*). Dabei weist die korsische Provenienz signifikant überdurchschnittliches Wachstum auf, während sich die drei anderen Provenienzen bezüglich des Höhenwachstums nicht signifikant unterscheiden. Umgekehrt liegt die korsische Provenienz bezüglich der Durchmesserentwicklung signifikant unter den Durchmesserwerten, die die anderen Provenienzen in Beständen identischer Höhe erreichen (*Tabelle 4, Abbildung 3*). Überdurchschnittliches Höhenwachstum in Verbindung mit einem unterdurchschnittlichen Durchmesserwachstum weist darauf hin, dass sich die Allokationssymmetrien der korsischen Schwarzkiefer von denen der drei anderen Provenienzen unterscheiden. Als Folge der unterschiedlichen Allokationssymmetrien resultiert für die korsische Schwarzkiefer-Provenienz eine abweichende Wuchsleistung: die bei identischen Bestandeshöhen erreichte Gesamtwuchsleistung an Grundfläche liegt signifikant unter den Werten der drei anderen Provenienzen (*Tabelle 4, Abbildung 3*). Die korsische Schwarzkiefer-Provenienz weist somit ein geringeres Ertragsniveau auf als die drei anderen Provenienzen. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, für höhenabhängige Wachstumsgänge dieser Provenienz eigene Wachstumsmodelle zu entwickeln, während nach den Ergebnissen dieser Untersuchung die drei anderen Provenienzen hierfür offenbar zusammengefasst werden können.

Zusätzlich zur Wachstumsanalyse der Schwarzkiefer-Provenienzen erfolgte ein orientierender Vergleich mit dem Wachstum der Waldkiefer. Hierfür wurden neben Versuchsflächen auch Ertragstafelwerte herangezogen. Hierbei ergeben sich klare Hinweise darauf, dass die Waldkiefer bei gleicher Bestandeshöhe sowohl hinsichtlich der Entwicklung des Durchmessers als auch der Grundflächen-Gesamtwuchsleistung deutlich unter allen vier untersuchten Schwarzkiefer-Provenienzen liegt (*Abbildung 6*). Vor diesem Hintergrund wird klar, dass es bei der Veranschlagung von Wachs-

tumsgängen in Schwarzkieferbeständen im Anhalt an die Waldkiefer zu stark fehlerhaften Ergebnissen kommen muss. Für eine zutreffende Abschätzung sind vielmehr zwingend spezifische Schwarzkiefer-Wachstumsmodelle erforderlich.

## 6. Summary

Title of the paper: *Growth analyses of four provenances of European Black Pine (Pinus nigra) growing on dry sites in southwest Germany (Baden-Wuerttemberg).*

This paper presents the results of the first analyses of a series of provenance experiments with European Black Pine (*Pinus nigra*) in the German state of Baden-Wuerttemberg. This provenance experiment comprises four different provenances and was established at three different locations with sites from carbonate rock. The seeds had been collected in stands in Austria, Bosnia, France (Corsica), and Italy.

The plots were established in 1962. The analysis is based on measurements taken in the period between 1991 and 2008 and includes four periodical stand inventories. At the last inventory, the stands were 49 years old. This paper focuses in particular on the height growth of the four provenances as well as diameter and total basal area growth. As the present analysis covers only a time span of 18 years, the derived conclusions are of preliminary nature:

Height growth of the Black Pine provenances differed distinctly (Table 2, Illustration 2). The Corsican provenance exhibited significantly above average height growth, whereas the other three provenances did not differ significantly. Conversely, the Corsican provenance showed lower diameter growth values compared to those of the other three provenances in stands with identical heights (Table 4, Illustration 3). Above-average height growth in combination with below-average diameter growth indicates that the allocation symmetries of the Corsican provenance differs from the three other provenances. As a consequence, the differing allocation symmetries result in yield classes for the Corsican Black Pine divergent from the other provenances: Black Pines of Corsican provenance achieved significantly lower total basal area growth values than those found for the other provenances at identical stand heights (Table 4, Illustration 3). This results in the necessity of developing provenance-specific growth models for the height-dependent growth at least for this provenance, whereas it appears possible to combine the three other provenances into a single group.

In addition to the growth analysis of the European Black Pine provenances, the paper presents an orienting comparison with the growth of Scots Pine (*Pinus silvestris*). For this purpose, we used measurement data from our experiments along with growth and yield table data. This comparison clearly showed that on the given sites, Scots Pine stands display noticeably lower diameter as well as total basal area growth values than those achieved by the four Black Pine provenances at identical stand height (Illustration 6). Our findings clearly indicate that using the same growth model for Black Pine and Scots Pine will lead to erroneous results. Specific European Black Pine growth models are thus imperative for accurate management estimates.

## 7. Danksagung

Die Autoren danken MARKUS STRUSS für die umfangreichen Außenaufnahmen.

## 8. Literaturverzeichnis

ABETZ, P. (1972): Ertragskundliche Versuche zur Standraumregulierung in Kiefernbeständen. Tagungsband zur Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im DVFFA, Neustadt a.d.W., 60-63.

- ABETZ, P. (1973): Der Wald und die Forsttechnik. Forst- u. Holzwirt **28**: 301-304.
- ALTHERR, E. (1969): Vorläufige Hilfszahlen zur Darstellung des Wachstums der Schwarzkiefer (*Pinus nigra* ARNOLD, var. *austrica*) auf den nordbadischen Muschelkalkstandorten. Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg **29**: 87 S.
- ASSMANN, E. und F. FRANZ (1972): Vorläufige Fichten-Ertragstafel für Bayern. 2. Auflage. Institut für Ertragskunde der Forstlichen Forschungsanstalt München. 17-90.
- DENGLER, A. (1992): Waldbau. Paul Parey Verlag, Hamburg und Berlin. 350 S.
- DUFNER, J., U. JENSEN und E. SCHUMACHER (2004): Statistik mit SAS. 3., überarb. Aufl. Vieweg + Teubner Verlag. 390 S.
- EICHHORN, F. (1904): Beziehungen zwischen Bestandeshöhe und Bestandesmasse. Allg. Forst- u. Jagd-Ztg. **80**: 45-49.
- EHRING, A. und U. KOHNLE (2006): Stand des koordinierten Douglasien-Standraumversuchs in Baden-Württemberg. Tagungsband zur Jahrestagung der Sektion Ertragskunde im DVFFA, Staufen, 151-159.
- FRANK, G. (1991): Bestandestypen der Schwarzkiefer (*Pinus nigra* ARNOLD) im Forêt d'Aitone, Korsika und am Niederösterreichischen Alpenostrand. Diss. Univ. Bodenkultur 38; VWGÖ. 200 S.
- HAUSSER, K. (1956): Tannen – Ertragstafel. In: SCHÖBER, R. (Hrsg.) Ertragstafel wichtiger Baumarten. Sauländer, Frankfurt/Main.
- HEIN, S., E. LENK, J. KLÄDTKE und U. KOHNLE (2007): Z-Baum orientierte Auslesedurchforstung in Buche [*Fagus sylvatica* L.]: Auswirkungen auf Qualität, Sortenstruktur und Wertleistung. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung **178**: 1-20.
- HERBSTTRITZ, S. und U. KOHNLE (2006): Das „Solitärprogramm 1987“ – Rückblick, Stand erste Ergebnisse. AFZ-Der Wald **61**: 1080-1083.
- KENK, G. und M. THREN (1984a): Ergebnisse verschiedener Douglasienprovenienzversuche in Baden-Württemberg. T.1: Der internationale Douglasienprovenienzversuch 1958. Allg. Forst- u. J.-Ztg. **155**: 165-184.
- KENK, G. und M. THREN (1984b): Ergebnisse verschiedener Douglasienprovenienzversuche in Baden-Württemberg. T.2: Die Versuche Kirzarten, Aalen/Schwarzach, Steinheim und Heidelberg/Ettenheim/Kandern. Allg. Forst- u. J.-Ztg. **155**: 221-240.
- KOHNLE, U., S. HEIN und H.-G. MICHELS (2008): Waldbauliche Handlungsalternativen angesichts des Klimawandels. FVA-einblick **12** (1/2008): 50-53.
- LINES, R. (1984): *Pinus nigra* in den Pennine-Hügeln in Nordengland. AFZ-Der Wald **39**: 593-594.
- MAYER, H. (1984): Wälder Europas. G. Fischer, Stuttgart-New York. 691 S.
- MITSCHERLICH, G. (1970): Wald, Wachstum und Umwelt, Bd. I, Form und Wachstum von Baum und Bestand, J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M., 142 S.
- RACHWA, L. und J. OLEKSYN (1987): Growth and development of black pine (*Pinus nigra* Arn.) and Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the Niepoomice Forest provenance experiments. Acta Agraria et Silvestria, Silvestris **26**: 163-181.
- RAU, H.-M. (2005): Der internationale Douglasien-Provenienzversuch in Hessen – Ergebnisse bis zum Alter 27. Forst und Holz **60**: 291-294.
- RÖHRIG, E. (1957): Über die Schwarzkiefer (*Pinus nigra*) und ihre Formen. I. Silvae Genet. **6**: 39-53.
- RÖHRIG, E. (1966): *Pinus nigra* and its forms. Part II. First results of provenance trials. Silvae Genet. **15**: 21-26.
- ŠEHO, M. (2008): Wachstum verschiedener Schwarzkieferprovenienzen auf trockenen Standorten in Baden-Württemberg. Diplomarbeit, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften, Universität Freiburg, 67pp.
- STEINHUBEL, G. (1973): Persistence of conifer needles as a biologically significant property and as a provenance character. Lesnicky Casopis **91**: 61-67.
- STEPHAN, B. R. (1984): Schwarzkiefern-Herkunftsversuch im südlichen Schleswig-Holstein. AFZ-Der Wald **39**: 579-581.
- STRATMANN, J. (1984): Zwei bemerkenswerte Altbestände mit korsischer Schwarzkiefer in Norddeutschland. AFZ-Der Wald **39**: 576-577.
- TRASOBARES, A., T. PUKKALA und J. MIINA (2004): Growth and yield model for uneven-aged mixtures of *Pinus sylvestris* L. and *Pinus nigra* Arn. in Catalonia, north-east Spain. Ann. For. Sci. **61**: 9-24.
- WASSER- UND BODENATLAS BADEN-WÜRTTEMBERG (2007): 3. Auflage Umweltministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe.
- WHEELER, N. C., H. B. KRIEBEL, C. H. LEE, R. A. READ und J. W. WRIGHT (1976): 15-year performance of European black pine in provenance tests in north central United States. Silvae Genetica **25**: 1-6.
- WIEDEMANN, E. (1943): Ertragstafel für die Baumart Kiefer (mäßige Durchforstung). In: Hilfstabellen für die Forsteinrichtung. Zusammengestellt für den Gebrauch in der Landesforstverwaltung. Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart (1993).
- YUE, C., U. KOHNLE und S. HEIN (2008): Combining tree- and stand-level growth models: a new approach to growth prediction. For. Sci. **54**: 553-566.