1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Die gemeine Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) ist die bedeutendste fremdländische Baumart in Deutschland und in Mitteleuropa (KLEINSCHMIT 1992). Sie gilt als sehr anpassungsfähig an unterschiedliche Standorte und Höhenlagen, sie ist bodenpfleglich, nicht über ein normales Maß hinaus gefährdet, integrierbar in die heimische Fauna und Flora, natürlich zu verjüngen und gut waldbaulich zu führen (OTTO 1993; GLATZ et al. 2003*)*. Neben ihrer ökologischen Zuträglichkeit ist die Douglasie von hohem betriebswirtschaftlichem Interesse: unter allen Wirtschaftsbaumarten lassen sich mit ihr die höchsten Waldreinerträge je Hektar erzielen (RUETZ 1989; SPELLMANN 1997; DENSTORF 2000). Die Douglasie fördert gerade in standörtlich benachteiligten Forstbetrieben die ökonomische Nachhaltigkeit, ohne die ökologische Funktionsfähigkeit der Ökosysteme zu gefährden. In vielen Fällen übertrifft die Douglasie in Massen- und Wertleistung die einheimischen Baumarten deutlich. Der Nadelbaumart Fichte ist sie in der Gesamtwuchsleistung um rd. 30 % überlegen (KLEINSCHMIT et al. 1991). Die hervorragenden holztechnologischen Eigenschaften der Douglasie, die den Handelsnamen „Oregon Pine“ trägt, bieten beste Voraussetzungen für eine vielfältige Verwendung und Vermarktung mit hoher Wertschöpfung (HAPLA und KNIGGE 1985; SAUTER 1992; BECKER und SAUTER 1996; HAPLA 1999, 2000; RIEGLER 2008). Um diese Wirkungen zu erreichen, spielt die Herkunftswahl eine herausragende Rolle (z. B. STREHLKE 1959).

In Frankreich, wo die Douglasie im Jahr 1842 eingeführt wurde, befindet sich mit 427.000 Hektar, einen Waldflächenanteil von 2,9 % repräsentierend, europaweit die größte Douglasien-Anbaufläche (ENGLISCH 2008a; FRANCE DOUGLAS 2009). In Deutschland wurde die Douglasie um das Jahr 1830 zunächst zum Zwecke der Landschaftsgestaltung gepflanzt (BROSINGER und BAIER 2008). Ihr wirtschaftlich bedeutender Anbau in den Wäldern setzte in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts vom Privatwald ausgehend ein. Erste, wissenschaftlich begleitete Anbauversuche folgten ab dem Jahr 1881 auf Empfehlung des Verbandes Deutscher Forstlicher Versuchsanstalten (GANGHOFER 1894 zit. nach BROSINGER und BAIER 2008; PUCHERT 1964). Die aus den späteren Herkunftsversuchen abgeleiteten positiven Erfahrungen mit standortangepassten Herkünften haben hier zu einer stetigen Zunahme der Douglasien-Anbaufläche geführt (SCHWAPPACH 1907, 1912; MÜNCH 1923, 1928; PENSCHUK 1935, 1937; KANZOW 1936, 1937; WIEDEMANN 1951; LEMBCKE 1973; SCHOBER 1973; STRATMANN 1988; SPELLMANN 1994; LOCKOW 2002). KLEINSCHMIT et al. (1991) erwarten,

dass diese langfristig ca. 10 % der Waldfläche in Deutschland einnehmen wird. Im Zeichen des Klimawandels wird ihr eine besondere Bedeutung beigemessen. Der derzeitige Waldflächenanteil der Douglasie in der Bundesrepublik Deutschland beträgt über alle Besitzarten 1,7 % (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2007). Geeignete waldbauliche Ausgangslagen für die Begründung von Douglasienrein- und -mischbeständen sind insbesondere Überführungsbestände der Baumarten Kiefer und Lärche auf geringer nährstoffversorgten Standorten im Tiefland sowie Fichten-Überführungsbestände auf mäßig frischen bis mäßig sommertrockenen Hangstandorten (SPELLMANN 2004). In Niedersachsen liegt ein Anbauschwerpunkt im pleistozänen Bereich (PRETZSCH und SPELLMANN 1994). Aktuell nimmt die Douglasie im niedersächsischen Landeswald eine Bestandesfläche von rd. 11.900 Hektar ein, dies entspricht einem Anteil von 3,5 % am Landeswald (PUSCH 2002). In Rheinland-Pfalz und in Schleswig-Holstein, wo sich jeweils zwei Einzelversuche der vorliegenden Versuchsserie befinden, beträgt die Douglasien-Anbaufläche 46.300 Hektar, einem Waldflächenanteil von 5,5 % entsprechend, bzw. 2.600 Hektar, einem Waldflächenanteil von 1,6 % entsprechend (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2007).

Die Verwendung geeigneter Douglasienherkünfte kann den Ertrag stärker beeinflussen als waldbauliche Maßnahmen (KLEINSCHMIT 2002; SPELLMANN 2004). Mit der Wahl der Provenienz wird über die erblich bedingten Eigenschaften eines Bestandes und - bei zukünftiger Naturverjüngung - weiterer Folgegenerationen entschieden. Das genetische Potenzial ist maßgebend für die Angepasstheit, Stabilität, Wuchs- und Wertleistung der Bestände. Differenzierte Herkunftsempfehlungen für die Baumart Douglasie sind somit eine wichtige Voraussetzung für einen möglichst risikoarmen Anbau. Die Herkunftsforschung mit Douglasie aus autochthonen Erntebeständen besitzt auch nach dem Inkrafttreten gesetzlicher Saatgutimportbeschränkungen zum 1. Januar 2003 (FORSTVERMEHRUNGSGUTGESETZ (FoVG) 2002: § 15 Abs. 1 Nr. 1) aufgrund der EU-Richtlinie 2008/971/EG (RAT DER EUROPÄISCHEN UNION 2008), welche die Versorgungslage bei der Baumart Douglasie verbessern soll und die den Import OECD-zertifizierten Saatguts aus Drittländern, z. B. aus dem U.S.-Bundesstaat Washington, ermöglicht, mittelfristig noch eine große Bedeutung. Künftig erlangt jedoch die Beerntung heimischer, zugelassener Douglasien-Saatgutbestände einen höheren Stellenwert.

Erfahrungen von Forstbetrieben zeigen, dass die durch die Altersklassenausstattung bedingten anfänglichen Vorbehalte der holzverarbeitenden Betriebe gegenüber der Douglasie, die aufgrund geringen Holzanfalls überwiegend geringer Dimensionen in Fichten-

verkaufslosen nur mitging, mittlerweile vor dem Hintergrund höherer Anteile am Hiebssatz, veränderter Sortenstruktur sowie höherer Wertschätzung der holztechnologischen Eigenschaften einer gesteigerten Nachfrage gewichen sind (LERCHENFELD 2008; RIEGLER 2008).

1.2 Die Gattung *Pseudotsuga*

Die Nomenklatur der Douglasie hat seit der Entdeckung der Baumart durch den schottischen Naturforscher ARCHIBALD MENZIES im Jahr 1792 und ihrer Einführung in Europa durch DAVID DOUGLAS im Jahr 1826 viele Änderungen erfahren. Diese Entwicklung hat u. a. HERMANN (1981) umfassend dargestellt. Den Regeln der internationalen botanischen Nomenklatur entsprechend hat die im Jahr 1950 durch den portugiesischen Botaniker JOAO MANUEL ANTONIO DO AMARAL FRANCO festgelegte Namensgebung *Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco Allgemeingültigkeit erlangt.

Die Gattung *Pseudotsuga* zählt zur Familie Pinaceae, Unterfamilie Abietoidae, und umfasst weltweit lediglich sechs rezente Arten, für die deutlich voneinander verschiedene Karyotypen nachgewiesen werden konnten (KIELLANDER 1962; DOERKSEN and CHING 1972 zit. nach HERMANN 1981; MEJNARTOWICZ 1976; SILEN 1978). Die nordamerikanischen Arten sind *Pseudotsuga menziesii*, die gemeine Douglasie, und *Pseudotsuga macrocarpa*, die großfruchtige Douglasie. Auf dem chinesischen Festland kommen *Pseudotsuga brevifolia* und *Pseudotsuga forestii*, auf dem japanischen Archipel *Pseudotsuga japonica* und auf der Insel Taiwan *Pseudotsuga wilsoniana* vor. Die asiatischen Douglasien besitzen in ihrer Heimat sehr begrenzte Verbreitungsgebiete und treten gewöhnlich nur in einzelbaumweiser Mischung auf. Das natürliche Vorkommen von *Pseudotsuga macrocarpa* ist ebenfalls auf ein räumlich sehr begrenztes Gebiet im südlichen Kalifornien beschränkt. Die gemeine Douglasie verfügt dagegen über ein sehr großes natürliches Verbreitungsgebiet. Neben den genetischen differentialdiagnostischen Merkmalen unterscheidet sich *Pseudotsuga menziesii* von den übrigen Vertretern der Gattung *Pseudotsuga* durch ihr synökologisches Verhalten, indem sie oft ausgedehnte Reinbestände bildet (HERMANN 1980, 1981). Innerhalb der Gattung *Pseudotsuga* besitzt nur *Pseudotsuga menziesii* forstwirtschaftliche Bedeutung.

1.3 Paläobotanische Geschichte der Gattung *Pseudotsuga*

Die Entwicklungsgeschichte der Gattung *Pseudotsuga* kann anhand phyllogenetischer Studien nur hypothetisch beleuchtet werden. Die ältesten zweifelsfrei identifizierten fossilen Funde der Douglasie stammen aus dem frühen Tertiär und unterscheiden sich morphologisch

kaum von den heutigen Vertretern der Gattung. Eine Hypothese unterstellt, dass die Gattungen *Pseudotsuga* und *Larix* von einer gemeinsamen Linie zur Gattung *Pinus* abzweigten (BOUREAU 1938 zit. nach HERMANN 1981). Eine andere hypothetische Annahme geht davon aus, dass *Pseudotsuga* von *Larix* abstammt und *Larix* wiederum von *Pinus* (GAUSSEN 1966 zit. nach HERMANN 1981). Die Ähnlichkeiten bezüglich holzanatomischer und genetischer Strukturen lassen auf eine enge Verwandtschaft der Gattungen *Pseudotsuga* und *Larix* schließen und unterstützen damit die letztgenannte Hypothese (HERMANN 1980, 1981).

Der Vergleich der Fundorte fossiler Floren, welche Douglasie enthalten, mit dem heutigen natürlichen Vorkommen von *Pseudotsuga menziesii* im Nordwesten des nordamerikanischen Kontinents, zeigt eine weitgehende Übereinstimmung der Verbreitungsgebiete. In Nordamerika unterscheiden Paläobotaniker zwischen den fossilen Arten *Pseudotsuga sonomensis* und *Pseudotsuga praemacrocarpa*, welche allerdings nur in einer Tertiärformation nachgewiesen werden konnte. Bemerkenswert ist, dass die fossile Douglasie in den artenreichen tertiären Wäldern Nordamerikas nur eine untergeordnete Rolle spielte. HERMANN (1981) stützt diese These auf die Forschungsarbeiten von WOLFE (1969), der in Pollenprofilen aus vorpleistozäner Zeit nur geringe Anteile von Douglasienpollen fand. Der Anteil einer Baumart am Pollenprofil ist nach HANSEN (1949a) signifikant mit dem Anteil der betreffenden Baumart an der Bestandesgrundfläche korreliert. Damit besteht für die fossile Douglasie eine auffallende Parallele zu den heute in Asien vorkommenden Arten, welche ebenfalls nur sehr geringe Anteile an der Baumartenzusammensetzung aufweisen. Die im mittleren oder späten Pleistozän sich vollziehende Entwicklung der Douglasie von einer untergeordneten Vegetationskomponente zu einer die Waldgesellschaften ihres natürlichen Verbreitungsgebietes dominierenden Baumart deutet auf die Entstehung einer neuen Art hin. In einem evolutionären Prozess, verursacht durch zyklische Klimawechsel und damit verbundene Migrationen, entwickelte sich aus der tertiären *Pseudotsuga sonomensis* die heutige *Pseudotsuga menziesii* (WOLFE 1969 zit. nach HERMANN 1981).

Durch pollenanalytische Untersuchungen pliozäner und pleistozäner Ablagerungen in Japan liessen sich drei fossile Arten der Gattung *Pseudotsuga* nachweisen, von denen zwei im frühen Pleistozän ausgestorben sind (MIKI 1957 zit. nach HERMANN 1981). Die fossile *Pseudotsuga japonica* unterscheidet sich genotypisch und phänotypisch kaum von der heutigen in Japan autochthonen Douglasie. Das vor- und nacheiszeitliche Verbreitungsgebiet von *Pseudotsuga japonica* ist fast deckungsgleich. Den in China und auf der Insel Taiwan

beheimateten Arten der Gattung *Pseudotsuga* kann die paläobotanische Forschung bisher keine fossilen Äquivalente gegenüberstellen (HERMANN 1980, 1981).

In Mitteleuropa haben Paläobotaniker in voreiszeitlichen Ablagerungen sowohl Megafossilien als auch Mikrofossilien mehrerer Arten der Gattung *Pseudotsuga* gefunden. Dabei handelt es sich jedoch um inzwischen ausgestorbene Douglasienarten. Die Hypothese, dass *Pseudotsuga*-Arten Florenelemente voreiszeitlicher Waldgesellschaften in Mitteleuropa waren, lässt sich durch einen Vergleich des Artenspektrums fossiler tertiärer Floren in Mitteleuropa mit der Artenzusammensetzung in den tertiären und quartären Wäldern Ostasiens und des westlichen Nordamerika untermauern (HERMANN 1980, 1981).

1.4 Die Unterscheidung verschiedener Varietäten von *Pseudotsuga menziesii*

Unter den verschiedenen, stark variierenden Klimaeinflüssen differenzierten sich taxonomisch deutlich abgrenzbare Subspezies (*synonym* Unterarten bzw. Varietäten) aus (REHFELDT 1981; POWERS et al. 2005). Neben dem U.S.-Forstdienst (United States Department of Agriculture) unterscheiden auch nordamerikanische Dendrologen zwei Varietäten der gemeinen Douglasie anhand chemotaxonomischer Merkmale: *Pseudotsuga menziesii* var. v*iridis* syn. *menziesii*, die „grüne“ Küstendouglasie, und *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca*, die „blaue“ Inlanddouglasie, auch als „Rocky Mountain-Douglasie“ bezeichnet, die im südwestlichen British Columbia und im nordwestlichen Washington eine breite Kontaktzone, eine sogenannte „Introregressionszone“, haben (u. a. LITTLE 1953; HADDOCK und EISELE 1964; FOWELLS 1965: S. 547ff.; HOSIE 1969; HERMANN 1981; HERMANN and LAVENDER 1990; LEINEMANN und MAURER 1999; FRANKLIN and HALPERN 2000; KLEINSCHMIT 2000; SCHULTZE und RASCHKA 2002; AAS 2008; ENGLISCH 2008b; WEISZENBACHER 2008). Die Ausscheidung von *Pseudotsuga menziesii* var. *caesia*, der sogenannten „grauen“ Douglasie, als dritte Unterart durch europäische Wissenschaftler (SCHENCK 1939; HOFMAN 1954 zit. nach HERMANN 1981; FLÖHR 1958) erscheint zumindest taxonomisch nicht gerechtfertigt, denn sie wurde lediglich anhand nicht durchgreifender morphologischer Merkmale wie Zapfenform und Nadelfarbe getroffen. RUDLOFF (1972, 1973a, 1973b) sowie ZAVARIN and SNAJBERK (1973, 1975) kommen jedoch nach biochemischen und physiologischen Analysen übereinstimmend zu dem Ergebnis, dass die beiden deutlich abgrenzbaren Varietäten als Folge natürlicher Kreuzung vier Zwischenformen aufweisen: die Küstenform, die nördliche und südliche Inlandform sowie die Sierra-Nevada-Form. Dass es zu einer Bastardisierung zwischen den Varietäten kommen kann, demonstrierte

EKLUNDH bereits im Jahr 1943 durch erfolgreiche Kreuzung der Küsten- mit der Inlandvarietät (EKLUNDH 1943 zit. nach HERMANN 1981).

Geografisch sind die Populationen der „grünen“ Küstendouglasie gegen die Zwischenformen von Küsten- und Inlanddouglasie durch den 40. Breitengrad (nördlicher Breite) im Süden, den 52. Breitengrad (nördlicher Breite) im Norden und den 120. Längengrad (westlicher Länge) im Osten begrenzt. Eine gedachte, bogenförmige Linie vom Schnittpunkt des 45. Breitengrad (nördlicher Breite) mit dem 116. Längengrad (westlicher Länge) bis zum Schnittpunkt des 52. Breitengrad (nördlicher Breite) mit dem 123. Längengrad (westlicher Länge) definiert die westliche Grenze zwischen dem Vorkommen der Inlanddouglasie mit deren Zwischenformen und der Küstendouglasie (HERMANN 1980, 1981).

1.5 Das natürliche Vorkommen von *Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco

Pseudotsuga menziesii besiedelt in ihrer nordamerikanischen Heimat ein ausgedehntes und topografisch sehr stark gegliedertes Gebiet mit sehr unterschiedlichen standörtlichen und klimatischen Verhältnissen. Das natürliche Vorkommen erstreckt sich in Nord-Süd-Ausdehnung über 4.000 km von 55 °N bis 19 °N und in West-Ost-Ausdehnung über 1.500 km von 128 °W bis 97 °W (z. B. HERMANN 1981; HERMANN and LAVENDER 1990; KLEINSCHMIT and BASTIÉN 1992; WEISZENBACHER 2008).

Dieses Gebiet schließt die Olympic-Halbinsel und die Insel Vancouver sowie die Küstengebirgsketten in Washington, in Oregon und in Kalifornien ein. Es umfasst weiterhin die physiografischen Einheiten Puget-Senke, Willamette-Tal und Kaskadengebirge mit den Übergangsbereichen zur Sierra Nevada im Südosten sowie die nördliche Fortsetzung der Kaskaden, die Kanadische Küstenkordillere. In dem Olympic-Gebirge nimmt die Douglasie Standorte bis 750 m ü. NN ein. In der Küstengebirgskette dringt sie bis in Höhen von 1.700 m ü. NN vor (LI and ADAMS 1989). Im südöstlichen Kaskadengebirge reicht sie bis 3.300 m ü. NN (HERMANN 1981). Die im Norden, Osten und Südosten Mexikos zu beobachtenden natürlichen Vorkommen sind disjunkt und räumlich sehr begrenzt (LITTLE 1971; HERMANN and LAVENDER 1990).

In einem geografisch, topografisch, standörtlich und klimatisch derart heterogenen Areal passen sich räumlich abgrenzbare Populationen den unterschiedlichen Umweltverhältnissen an (FLÖHR 1958: S. 314; ENGLISCH 2008b). Es bildet sich eine hohe Anzahl genetisch differenzierter Ökotypen (*synonym* Herkünfte, Provenienzen bzw. Standortrassen) aus (CAMPBELL 1979). CAMPBELL and FRANKLIN (1981) fanden heraus, dass innerhalb von

Herkunftsgebieten die Höhenlage (m ü. NN) des Ursprungsortes entscheidend für die genetische Variation der Douglasie ist.

Abbildung 1. Geografische Abgrenzung des natürlichen Vorkommens der gemeinen Douglasie (Pseudotsuga menziesii [Mirb.] Franco) in Nordamerika (Quelle: LITTLE 1971).