

# Rheinland-Pfalz



Mitteilungen  
aus der Forstlichen Versuchsanstalt  
Rheinland-Pfalz

**Nr. 41/97**

**Autorenkollektiv**

**Stand der Ursachenforschung zu Douglasienschäden -  
derzeitige Empfehlungen für die Praxis**



**Stand der Ursachenforschung zu  
Douglasienschäden -  
derzeitige Empfehlungen für die Praxis**

*Tagungsbericht zum Douglasien-Kolloquium  
am 15. - 16. April 1997 in Adenau (Eifel),  
veranstaltet von*

*der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz (Trippstadt),  
Abt. Forstliche Ökologie und Forstpflanzenerzeugung  
und*

*der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten  
Nordrhein-Westfalen, Forstgenbank (Arnsberg)*

**Herausgeber:** Werner Maurer und Uwe Tabel

**Status of the Research on the Origin of the  
Damages Affecting Douglas-fir -  
Present Recommendations for the Practice**

*Proceedings of the Douglas-fir Colloquium  
held on 15. - 16. April 1997 in Adenau (Eifel),  
organized by*

*Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz (Trippstadt),  
Abt. Forstliche Ökologie und Forstpflanzenerzeugung  
and*

*Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten  
Nordrhein-Westfalen, Forstgenbank (Arnsberg)*

**Editors:** Werner Maurer and Uwe Tabel

ISSN 0931 - 9662 Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz Nr. 41/97

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung  
sowie der Übersetzung vorbehalten.

Herausgeber: Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz

Verantwortlich: Der Leiter der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz

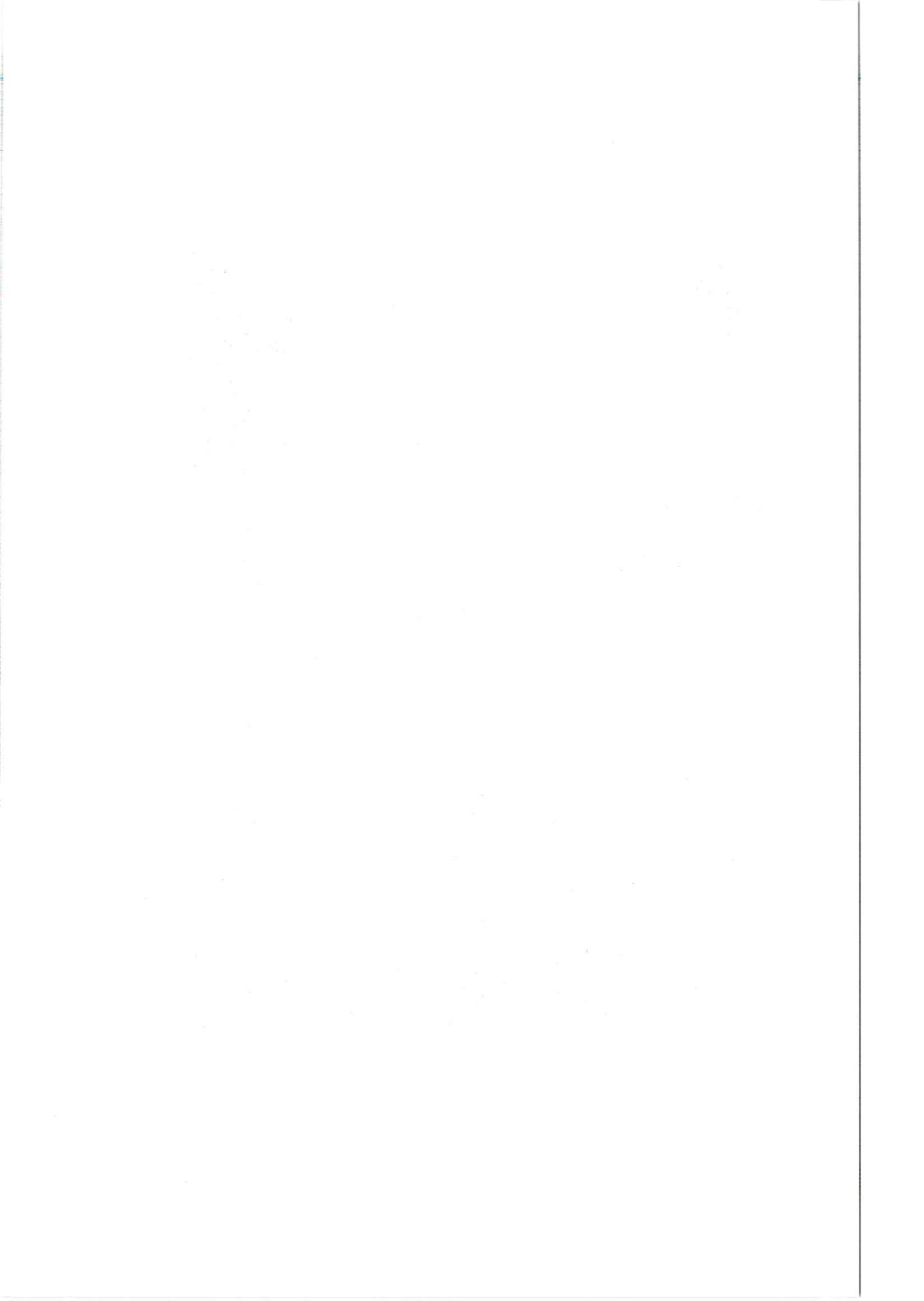
Dokumentation: Mitt. FVA, Trippstadt  
Nr. 41/97, 176 S.

Zu beziehen über die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Schloß, D-67705 Trippstadt  
Telefon: ++49 (0)6306-911-0; Telefax: ++49 (0)6306-2821.

**Douglasien unterschiedlichen Schädigungsgrads im Exkursionsbestand Forstamt Salmtal (nunmehr Wittlich), Gemeindewald Dreis, Abt. 13a<sup>2</sup> (Bestandesalter 1997: 28 Jahre)**



*Foto: W. Maurer*



# Inhaltsverzeichnis / Contents

	Seite
<b>Programm / Schedule of the program</b>	
<b>Inhaltsverzeichnis / Contents .....</b>	<b>i</b>
<b>Teilnehmerliste / List of participants .....</b>	<b>iii</b>
<b>Vorwort / Preface .....</b>	<b>vi</b>
<b>Uwe Tabel:</b> Begrüßung durch den Tagungsleiter/ <i>Welcome address of the chairman</i> .....	1
<b>Joachim Leonhardt:</b> Grußwort der Landesregierung / <i>Welcome address of the State Government</i> .....	4
<b>Richard K. Hermann:</b> Die Situation der Douglasie in Nordamerika <i>The situation of Douglas-fir in North America</i> .....	9
<b>François Weissen:</b> Schadensstand und Nährstoffversorgung der Douglasie in den belgischen Ardennen <i>Damage status and nutrient supply of Douglas-fir in the Belgian Ardennes</i> .....	30
<b>Gerhard Naumann:</b> Die Schadsituation an Douglasie in der nordrhein-westfälischen Eifel <i>The damage situation affecting Douglas-fir in the North Rhine-Westphalian Eifel</i> .....	40
<b>Joachim Block:</b> Schadsituation der Douglasie in Rheinland-Pfalz: Symptome und Ausmaß der Erkrankung <i>The damage situation affecting Douglas-fir in Rhineland-Palatinate: Symptoms and the extent of the disease</i> .....	46

**Dieter Schöne:**

Nährstoffmängel, Wuchsanomalien und Manganüberschuß bei Douglasie  
im Mosel-Eifelraum

*Nutrient deficiencies, growth deviancies and manganese surplus affecting  
Douglas-fir in the Mosel-Eifel region* ..... 76

**Ulrich Eis, Andrea Kaus und Aloysius Wild**

Mykologische Untersuchungen an unterschiedlich geschädigten Douglasien

A. Untersuchungen des Feinwurzelsystems und der Mykorrhiza

B. Überprüfung des Vorkommens des Wundparasiten

*Phomopsis pseudotsugae* in der Rinde erkrankter Douglasien

*Mycological investigations on differently damaged Douglas-firs*

A. *Investigations on the fine root system and the mycorrhiza*

B. *Examination of the presence of the wound parasite*

*Phomopsis pseudotsugae* in the bark of damaged Douglas-firs ..... 107

**Andrea Kaus und Aloysius Wild**

Physiologische Aspekte der Erkrankung der Douglasie

*(Pseudotsuga menziesii var. viridis)*

*Physiological aspects of the disease affecting Douglas-fir*

*(Pseudotsuga menziesii var. viridis)* ..... 117

**Jochen Kleinschmit und Josef Svolba**

Ergebnisse von Douglasien-Provenienzversuchen unter  
besonderer Berücksichtigung von Douglasienschäden

*Results of Douglas-fir provenance tests in particular*

*with respect to Douglas-fir damages* ..... 128

**Ludger Leinemann:**

Genetische Strukturen in gesunden und kranken Douglasienbeständen  
in Rheinland-Pfalz

*Genetic structures of healthy and damaged Douglas-fir stands*

*in Rhineland-Palatinate* ..... 145

**Josef Richter:**

Erfahrungen mit der Douglasie im östlichen Sauerland aus  
ertragskundlicher und forstschutztechnischer Sicht

*Experiences concerning yield and forest protection of Douglas-fir*

*in the Eastern Sauerland* ..... 161

**Heinz Peter Schmitt:**

Ergebnisse der Schlußdiskussion

*Results of the concluding discussion* ..... 169

## ***Teilnehmerliste / List of participants***

***Ahnert Gerd***, Staatliches Forstamt Hürtgenwald, D-52393 Hürtgenwald

***Bauer Hans***, Bezirksregierung Rheinhessen-Pfalz, Forstdirektion,  
D-67402 Neustadt/Weinstr.

***Bell Jürgen***, Forstamt Daun, D-54550 Daun

***Block Joachim***, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Abt. Waldschutz,  
D-67705 Trippstadt

***Brandt Klaus Peter***, Bezirksregierung Trier, Forstdirektion, D-54290 Trier

***Dietrich Peter***, Forstamt Cochem, D-56812 Cochem

***Eder Walter***, Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Abt. Forsten,  
D-55021 Mainz

***Eis Ulrich***, Institut für Allgemeine Botanik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz,  
D-55122 Mainz

***Emschermann Frank***, Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe,  
Institut für Pflanzenschutz, Saatgutuntersuchung und Bienenkunde,  
D-48135 Münster

***Esser Ingo***, Staatliches Forstamt Schleiden, D-53929 Schleiden

***Frentz, Max Freiherr von Raitz***, Burg Antweiler, D-53894 Mechernich

***Gagov Velitchko***, University of Forestry, Faculty of Forestry,  
Sofia 1756 (Bulgarien)

***Gatzen Gerhard***, Bezirksregierung Koblenz, Forstdirektion, D-56002 Koblenz

***Hauck Jürgen***, Forstdirektion Karlsruhe, D-76133 Karlsruhe

***Hermann Richard K.***, College of Forestry Science, Oregon State University,  
Corvallis, OR 97330 (USA)

***Heukamp Bernhard***, Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft  
des Landes Nordrhein-Westfalen, D-40190 Düsseldorf

***Hoffmann Holger***, Arenbergisches Forstamt Eifel, D- 53937 Schleiden

***Hoffmann Uwe***, Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz, Abt. Forsten,  
D-55021 Mainz

**Hosius Dieter**, Forstamt Prüm, D-54595 Prüm

**Jacoby Hermann**, Bezirksregierung Koblenz, Forstdirektion, D-56002 Koblenz

**Jansen Robert**, Der Leiter des Forstamtes Eschweiler, Untere Forstbehörde Rheinland,  
D-52249 Eschweiler-Dürwiß

**Kaiser Martin**, Forstamt Adenau, D-53518 Adenau

**Kaus Andrea**, Institut für Allgemeine Botanik, Johannes Gutenberg-Universität Mainz,  
D-55122 Mainz

**Kleinschmit Jochen**, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt Escherode,  
Abt. Forstpflanzenzüchtung, D-34355 Staufenberg

**Leder Bertram**, Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten Nordrhein-  
Westfalen, Forstgenbank, D-59821 Arnsberg

**Leinemann Ludger**, Abteilung für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung,  
Georg-August-Universität Göttingen, D-37077 Göttingen

**Leonhardt Joachim**, Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz,  
Abt. Forsten, D-55021 Mainz

**Maurer Werner**, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Abt. Forstliche Ökologie  
und Forstpflanzenerzeugung, D-67705 Trippstadt

**Naumann Gerhard**, Forstamt Bad Münstereifel, Untere Forstbehörde Rheinland,  
D-53902 Bad Münstereifel

**Niesar Mathias**, Landwirtschaftskammer Rheinland, Pflanzenschutzamt,  
D-53229 Bonn-Roleber

**Pentzlin Karl-Ludwig**, Forstamt Schneifel, D-54595 Prüm

**Reckert Henner**, Forstamt Mayen, D-56727 Mayen

**Richter Josef**, D-59872 Meschede

**Ruge Gerhard**, D-53937 Schleiden

**Schmitt Heinz Peter**, Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten  
Nordrhein-Westfalen, Forstgenbank, D-59821 Arnsberg

**Schöne Dieter**, Forstamt Irrel, D-54666 Irrel

**Schüler Gebhard**, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Abt. Waldwachstum,  
D-67705 Trippstadt

**Schütte Stephan**, Staatliches Forstamt Bonn, Kottenforst-Ville, D-53125 Bonn

**Seemann Dieter**, Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg,  
D-79100 Freiburg

**Tabel Uwe**, Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Abt. Forstliche Ökologie und  
Forstpflanzenerzeugung, D-67705 Trippstadt

**Wagner Hanns Christian**, Höhere Forstbehörde Rheinland, D-53115 Bonn

**Walter Henning**, Forstamt Bad Münstereifel, D-53902 Bad Münstereifel

**Weissen François**, Pédologie Forestière, Faculté universitaire des Sciences  
Agronomiques, B-5030 Gembloux (Belgien)

**Wigand Stefan**, Forstamt Wittlich, D-54516 Wittlich

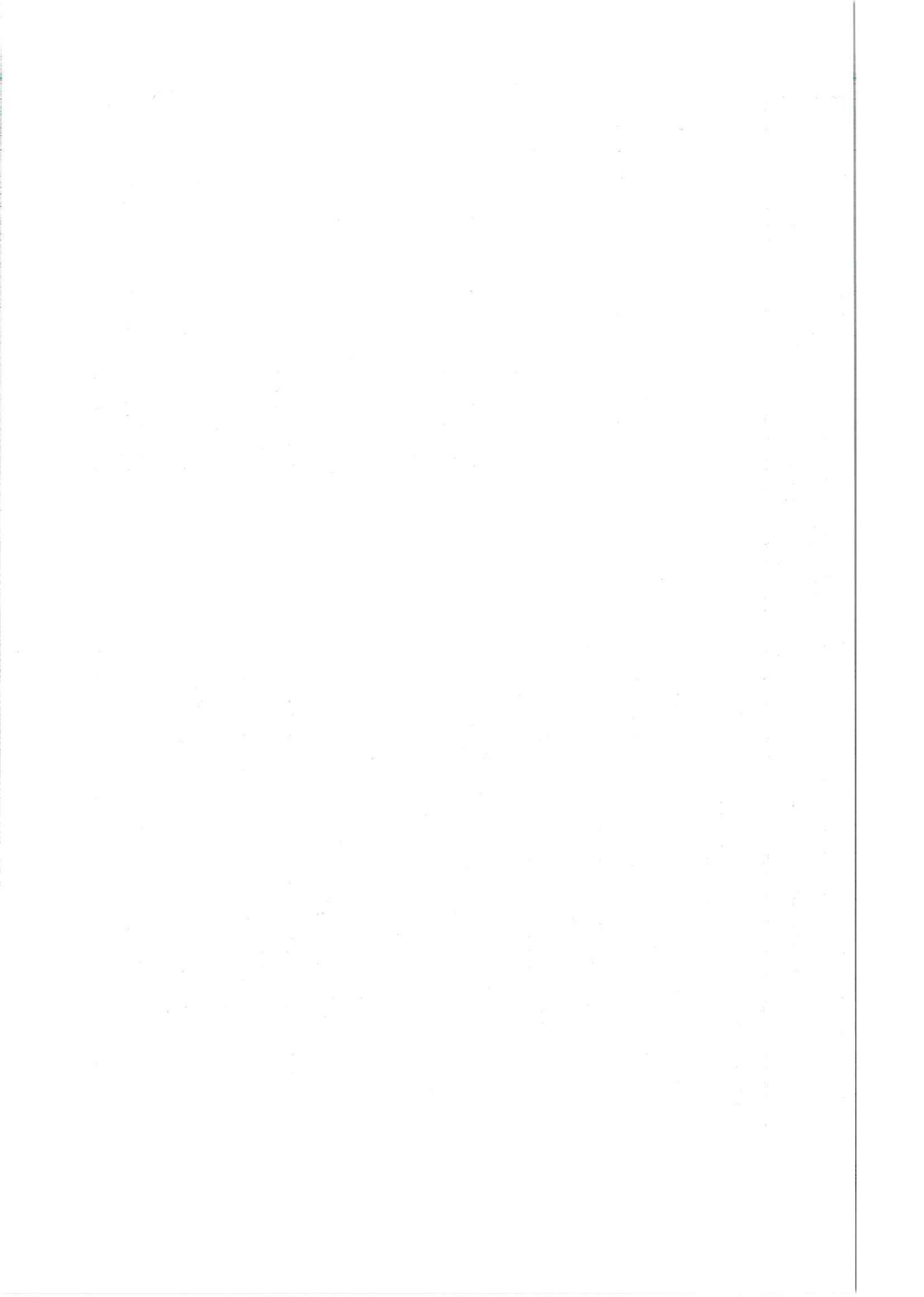
**Wilhelm Georg Josef**, Bezirksregierung Trier, Forstdirektion, D-54203 Trier



**FVA Rheinland-Pfalz, Abt. Forstliche Ökologie & Forstpflanzenzüchtung und LÖBF Nordrhein-Westfalen, Forstgenbank  
 Douglasiens-Kolloquium am 15. - 16. April 1997 in Adenau (Landhaus Sonnenhof)  
 Stand der Ursachenforschung zu Douglasienschäden - derzeitige Empfehlungen für die Praxis**

**P r o g r a m m**

<p><b>Montag, 14. April 1997</b> <b>Anreise</b>; ab 19 Uhr zwangloses Beisammensein (Abendessen) im Tagungshotel Sonnenhof, Auf dem Hirzenstein 1 (Tel.: 02691-7034; Fax: 02691-8664)</p>	<p style="text-align: right;">Mittwoch, 16. April 1997 Fortsetzung der Vorträge</p>
<p><b>Dienstag, 15. April 1997</b> <b>Exkursion / spätnachmittags Beginn des Vortragsteils</b></p> <p>8.30 Abfahrt vom Parkplatz vor dem Tagungshotel mit Kleinbussen zu den Exkursionsbeständen; zu Mittag wird ein Lunchpaket gereicht!</p> <p>1. <u>Bestand, Staatswald im Forstamt Adenau, Abt. 84a:</u> Symptomatik, diagnostische Düngungsversuche sowie mykologische und physiologische Untersuchungen</p> <p>2. <u>Bestand, Gemeindewald Baar im Forstamt Mayen, Abt. 70a:</u> Genetische Untersuchungen mittels Isoenzymanalyse an unterschiedlich stark geschädigten Douglasiens-Einzelbäumen</p> <p>3. <u>Bestand, Gemeindewald Dreis im Forstamt Salmthal (Wittlich), Abt. 13a:</u> Genetische Untersuchungen mittels Isoenzymanalyse in einem Bestandespärchen (gesund / stark geschädigt)</p> <p>ca. 16.00 Rückkehr ins Tagungshotel in Adenau</p> <p>ab 16.30 <b>Beginn des Vortragsteils</b></p> <p>Uwe Tabel, Tagungsleiter (FVA Rheinland-Pfalz): <i>Begrüßung</i></p> <p>MinDir Joachim Leonhardt (MinForstAbt. Mainz): <i>Grußwort der Landesregierung</i></p> <p>ca. 16.45 <b>[Vorsitz: Bernhard Heukamp (MURL Nordrhein-Westfalen)]</b></p> <p>Prof. Dr. Richard Hermann [Oregon State University, Corvallis (USA)]: <i>Douglasie in Nordamerika (endgültiger Titel steht noch nicht fest) bitte hier nachtragen.</i></p> <p>Dr. François Weissen [Pédologie Forestière Gembloux (Belgien)]: <i>Schadensstand und Nährstoffversorgung der Douglasie in den belgischen Ardennen</i></p> <p>Dr. Gerhard Naumann (FA Bad Münstereifel): <i>Die Schadsituation an Douglasie in der nordrhein-westfälischen Eifel</i></p> <p>ca. 18.30 Ende des 1. Teils der Vorträge, danach gemeinsames Abendessen</p>	<p>8.30 <b>[Vorsitz: Dr. François Weissen]</b></p> <p>Dr. Joachim Block (FVA Rheinland-Pfalz): <i>Schadenssituation der Douglasie in Rheinland-Pfalz: Symptome und Ausmaß der Erkrankung, bisherige Untersuchungen</i></p> <p>Dr. Dieter Schöne (Forstamt Irrel): <i>Ernährungs- und Wachstumsstörungen bei Douglasie im Mosel-Eifelraum</i></p> <p>Ulrich Eis (Institut für Allgemeine Botanik, Universität Mainz): <i>Mykologische Untersuchungen an unterschiedlich geschädigten Douglasiens</i></p> <p>Andrea Kaus (Institut für Allgemeine Botanik, Universität Mainz): <i>Physiologische Aspekte der Erkrankung der Douglasie (Pseudotsuga menziesii var. viridis)</i></p> <p>Kaffeepause</p> <p>10.15-10.30 <b>[Vorsitz: Prof. Dr. Richard Hermann]</b></p> <p>Dr. Jochen Kleinschmit (NFV Escherode): <i>Ergebnisse von Douglasiens-Provenienzversuchen unter besonderer Berücksichtigung von Douglasienschäden</i></p> <p>Ludger Leinemann (Abteilung Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung, Universität Göttingen): <i>Genetische Strukturen in gesunden und kranken Douglasiensbeständen in Rheinland-Pfalz</i></p> <p>Dr. Josef Richter (NRW): <i>Erfahrungen mit der Douglasie im östlichen Sauerland aus ertragskundlicher und forstschutztechnischer Sicht</i></p> <p><b>Schlussdiskussion</b> <u>Leitung:</u> Heinz Peter Schmitt [LOBF (Genbank NRW)]</p> <p>ca. 13.00 Ende der Veranstaltung</p>



**Grußwort**  
**zum Douglasien-Kolloquium**  
**am 15. und 16. April 1997 in Adenau**

---

**Uwe Tabel**  
**Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz**  
**Abt. Forstliche Ökologie und Forstpflanzenerzeugung**  
**D-67705 Trippstadt**

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

nachdem wir einen wesentlichen Teil unserer Veranstaltung, nämlich die Exkursion hinter uns haben, darf ich Sie nun endlich offiziell und herzlich begrüßen.

Ich tue dies auch im Namen von HEINZ PETER SCHMITT, dem Leiter der Forstgenbank Nordrhein-Westfalen, mit dem zusammen die Idee dieses Kolloquiums entwickelt und nunmehr umgesetzt worden ist. Der während der vergangenen zwei Jahrzehnte zunehmende Kummer mit einem Teil unserer Douglasienbestände in Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen hat zu der „Notgemeinschaft“ geführt. Der quantitative Anteil ist in Rheinland-Pfalz besonders hoch, intensive Untersuchungen finden seit etwa 10 Jahren statt, so daß wir schließlich den Ort des Kolloquiums auch hier gewählt haben.

So freuen wir uns natürlich auch besonders, daß Sie, Herr LEONHARDT, als Chef der rheinland-pfälzischen Forstverwaltung trotz Ihres strapazierten Terminkalenders diese Veranstaltung mit Ihrer Anwesenheit und Ihrem Grußwort besonders werten.

Die mit der Einladung berücksichtigte und begrenzte Teilnehmerzahl ist im Hinblick auf ein möglichst effektives Ergebnis dieses Kolloquiums gewählt. Jeder von Ihnen wird das Ergebnis gewiß bereichern. Seien Sie alle sehr herzlich willkommen!

Erlauben Sie mir einen besonderen Willkommensgruß für den, ja, ich möchte sagen, Nestor der Douglasien-Forschung, Herrn PROFESSOR RICHARD HERMANN, der nach

mehrwöchigem Chile-Aufenthalt zu Hause in Portland sozusagen eben die Kleider gewechselt hat, um zu uns nach Adenau zu eilen.

Ebenso möchte ich aus unserem Nachbarland Belgien Herrn DR. FRANÇOIS WEISSEN aus Gembloux herzlich willkommen heißen. Auch er hat seine Bereitschaft zur aktiven Teilnahme an diesem Kolloquium spontan gegeben.

Nachdem wir auch gen Osten wieder offen sein dürfen, ist es für uns eine besondere Freude, daß Herr PROFESSOR VELITCHKO GAGOV aus Sofia an diesem Kolloquium teilnimmt. Einige von uns verdanken ihm eine phantastische *IUFRO*-Tagung der Weißtannen-Gruppe in Bulgarien im September des vergangenen Jahres. Wir freuen uns und begrüßen Sie herzlich.

Meine Damen und Herren, zufolge des Programms haben wir die Vorträge zu drei Teilen zusammengestellt. An dieser Stelle möchte ich den Herren HEUKAMP, DR. WEISSEN und PROFESSOR HERMANN danken, daß Sie als Moderatoren den Vorsitz für je einen Teil widerspruchslos übernommen haben.

Die Vortragsreihe wird von PROFESSOR HERMANN mit einem einleitenden Überblick über die Douglasie aus nordamerikanischer Sicht eröffnet. Dem folgt DR. WEISSEN, der über die noch recht jungen Untersuchungen an Douglasien-Schadbeständen in den Ardennen berichtet. Die Abendreihe wird beendet von DR. NAUMANN, der die Schadsituation an Douglasie in der nordrhein-westfälischen Eifel nicht zuletzt auch mit Herkunftsfragen in Verbindung bringt.

Der morgige Vormittag wird dann von Dr. BLOCK eingeleitet. Er berichtet über die seit 10 Jahren laufenden umfangreichen Nadelanalysen sowie diagnostischen Düngungsversuche. Dann wird DR. SCHÖNE mit seinen Untersuchungen als Forstamtsleiter über Ernährungs- und Wachstumsstörungen anschließen. Herr EIS wird danach die Mykorrhizierung im Feinwurzelbereich sowie die Bedeutung des Wundparasits *Phomopsis pseudotsugae* behandeln. Frau KAUS setzt sich mit dem Zusammenhang von Mangan-Toxizität und physiologischen Eisenmangel auseinander.

Die zweite Vormittagshälfte wird im wesentlichen von der Genetik bestimmt. Dr. KLEINSCHMIT eröffnet die Reihe mit seinen Ergebnissen aus Douglasien-Provenienzversuchen unter besonderer Berücksichtigung von Douglasienschäden. Herr LEINEMANN berichtet über genetische Untersuchungen per Isoenzym-Analyse an unterschiedlich geschädigten Beständen bzw. Kollektiven unterschiedlicher Schädigungsgrade. Schließlich wird DR. RICHTER die Referatsreihe praxisbetont abrunden mit Erfahrungen aus dem östlichen Sauerland zu der Douglasie aus ertragskundlicher und forstschutztechnischer Sicht.

Wenngleich wir wissen, daß noch viele Fragen offen sind und auch nach diesem Kolloquium vorerst offen bleiben, soll in der von HEINZ PETER SCHMITT geleiteten Schlußdiskussion versucht werden, aus dem gegenwärtigen Kenntnisstand für die Praxis hilfreiche Handlungsempfehlungen zu formulieren. Ich hoffe natürlich sehr, daß uns solches gelingt.

Allen Vortragenden sei für ihre spontane Bereitschaft und insbesondere ihre Mühen sehr herzlich gedankt.

Schließlich erlauben Sie mir noch, einige weitere Worte des Dankes sagen zu dürfen. Die Vorbereitung und Durchführung dieser Veranstaltung ist von Herrn MARTIN KAISER, Forstamtsleiter hier in Adenau, sehr hilfreich begleitet worden. Ebenso haben uns die Forstamtsleiter von Mayen, HENNER RECKERT, und Salmtal, STEFAN WIGAND, vorbehaltlos unterstützt. Dafür wollen wir uns vielmals bedanken!

Zu allerletzt möchte ich einen persönlichen Dank an Herrn DR. MAURER abstaten, der die Aufgabe vielfältiger Kleinarbeit, insbesondere auch die liebevolle Zusammenstellung der vorliegenden Tagungsunterlagen übernommen hat.

Möge die Tagung einen guten weiteren Verlauf nehmen, danke.

**Grußwort der Landesregierung  
zum Douglasien-Kolloquium  
am 15. und 16. April 1997 in Adenau**

**Joachim Leonhardt  
Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz  
Abt. Forsten  
D-55021 Mainz**

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich danke Ihnen für die Einladung zu Ihrem Douglasien-Kolloquium und überbringe Ihnen die herzlichen Grüße von Frau STAATSMINISTERIN KLAUDIA MARTINI.

Ich freue mich sehr, daß es den Organisatoren gelungen ist, eine länder- und staaten-grenzüberschreitende Veranstaltung zu wichtigen Fragen und Problemen der Baumart Douglasie auf die Beine zu stellen.

Gespannt darf man auch sein auf die Diskussionen und Antworten auf die Frage, wie die Douglasie als Gastbaumart in die Landschaft paßt, wo allenthalben plakativ die Fahne des „naturnahen Waldbaus“ gehißt worden ist.

Die Douglasie gehört sicher nicht zur potentiellen natürlichen Waldgesellschaft, wenn man z.B. 200 Jahre zurückdenkt. Heute muß man dies aber differenzierter sehen. Wir wissen um die voreiszeitliche Douglasie. Wir wissen um ihre Verjüngungsfreudigkeit. Wir wissen um ihre genetischen Implikationen.

Will man entscheiden, wie diese Baumart in die Überlegungen zum ökologisch orientierten, naturnahen Waldbau einbezogen werden kann, so gilt es, die übergeordnete Zielsetzung als das Maß aller Dinge zu beachten. Hierunter verstehe ich vor allem die

- Nachhaltigkeit der Waldfläche,
- Nachhaltigkeit der Holzerträge nach Menge und Wert,
- Nachhaltigkeit der Waldökosysteme mit allen Tier- und Pflanzenarten, und nicht zuletzt
- Nachhaltigkeit der Waldfunktionen.

---

- Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 41/97; 4-8.

Bei allen diesen Zielsetzungselementen ist nichts Nachteiliges über die Douglasie bekannt - eher wohl das Gegenteil. Deshalb wird die Douglasie nach wie vor zu den ganz wichtigen Baumarten in Rheinland-Pfalz gehören, deren Anbau im einzelnen selbstverständlich immer wieder diskutiert werden kann.

Welche Bedeutung die Douglasie schon jetzt hat, soll im folgenden dargestellt werden.

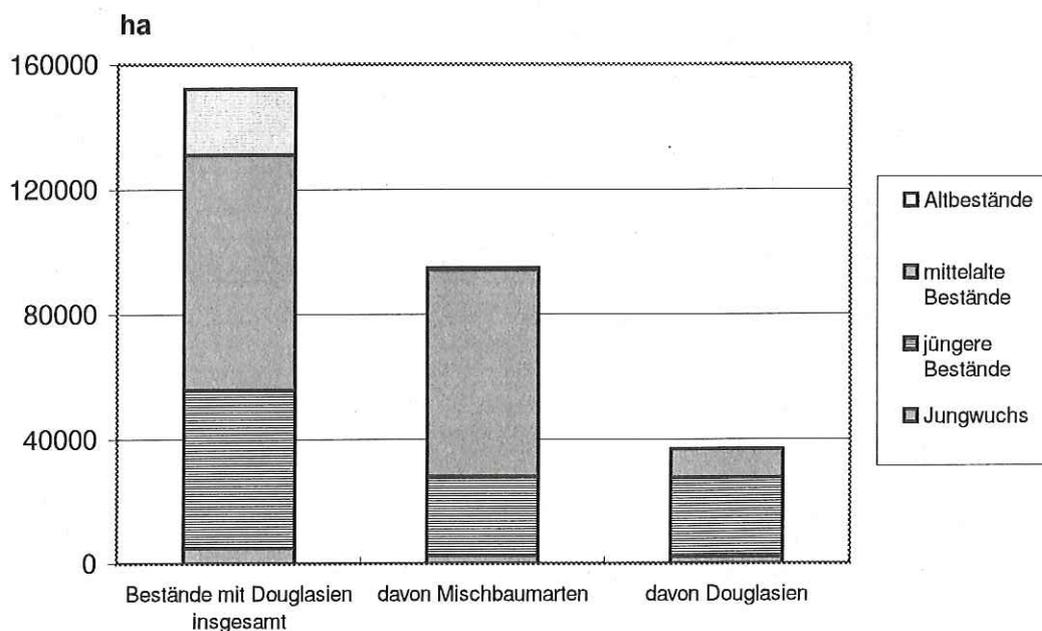


Abb.1: Übersicht über Bestände mit Douglasie in Rheinland-Pfalz (Fläche in ha).

An overall view of stands with Douglas-fir in Rhineland-Palatinate (planting area in ha).

Mit mehr oder weniger großen Flächenanteilen und in unterschiedlichen Bestandstypen, ist die Douglasie auf einer Holzbodenfläche von rund 153.000 ha im öffentlichen Wald von Rheinland-Pfalz vertreten (Abb. 1). Dabei trifft sie auf rund 89.000 ha in Mischung mit mehreren Baumarten auf.

In Mischbeständen mit nur einer Baumart ist sie auf rund 63.000 ha zu finden (Abb. 2).  
 Als Douglasien-Reinbestände sind rund 6.500 ha Holzbodenflächen anzusprechen.

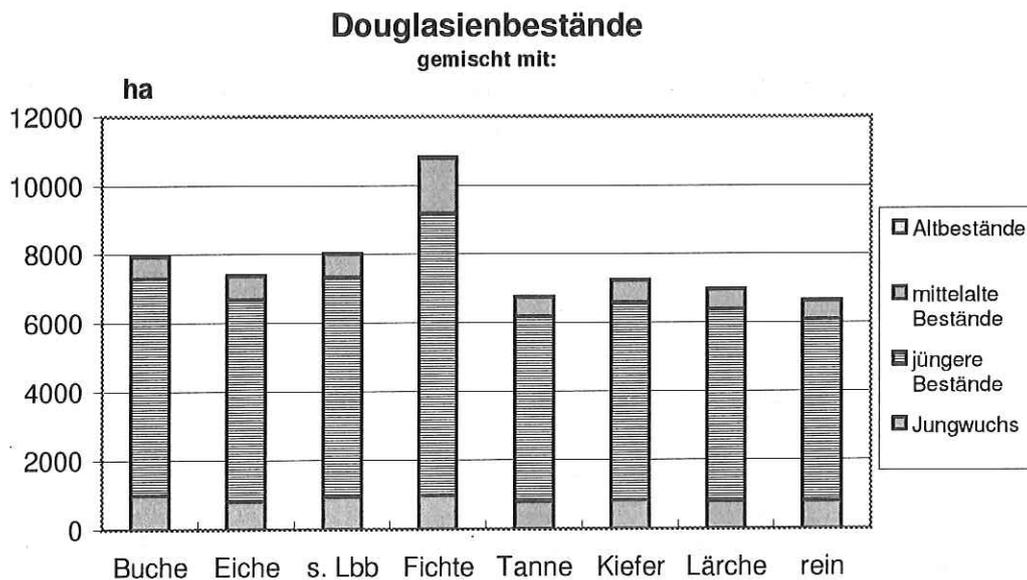


Abb.2: Übersicht über die Douglasienbestände in Rheinland-Pfalz in Mischung mit jeweils einer anderen Baumart (Fläche in ha).

An overall view of the Douglas-fir stands in Rhineland-Palatinate in mixture with the tree species given (Buche, beech; Eiche, oak; s. Lbb., remaining broad leaves; Fichte, spruce; Tanne, fir; Kiefer, pine, Lärche, larch; rein, pure; planting area in ha).

Die absolute Anteilfläche der Douglasie beträgt 37.391 ha, das sind 6,3% der Holzbodenfläche des öffentlichen Waldes. Rheinland-Pfalz ist damit das douglasienreichste Land in der Bundesrepublik Deutschland.

Von diesen 37.391 ha Douglasie sind rund 35.000 ha in den letzten 50 Jahren entstanden. Dennoch sind immerhin etwas mehr als 500 ha unserer Douglasien älter als 80 Jahre, auf 40 ha haben die Douglasien die 100-Jahr-Grenze überschritten (vgl. Abb.3).

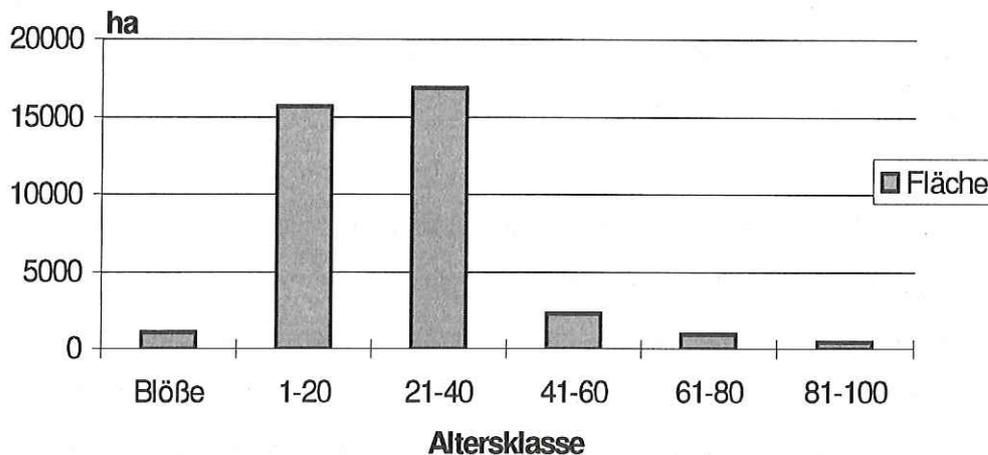


Abb. 3: Übersicht über die Altersklassenverhältnisse der Douglasie in Rheinland-Pfalz (Staats- und Gemeindewald, landesweit, alle Betriebsklassen; Fläche in ha).

An overall view of the age-class distribution of Douglas-fir in Rhineland-Palatinate (state and communal forest, all management classes; planting area in ha).

Wenn die baden-württembergische Landesforstverwaltung bekanntgibt, daß die höchste Douglasie Deutschlands mit etwas mehr als 58 m Höhe im Wald von Emmendingen stehe, so ist es Zeit, daß wir unsere Douglasien jetzt einmal etwas genauer messen. Tatsächlich gibt es in allen Landesteilen bei den über 100-jährigen Douglasien einige, die bei anhaltendem Höhenzuwachs die 55 m-Grenze überschritten haben und in einigen Jahren 60 m Höhe erreichen sollten.

Die Bestockungszielplanung für die Douglasienbestandstypen, die im Waldentwicklungsplan der forstlichen Rahmenplanung dargestellt wurde, betrug in einem ersten Entwurf einmal 14% Anteilfläche. Sie wurde inzwischen auf rund 10% korrigiert. Dies liegt einmal daran, daß die ursprüngliche Anbauplanung für die Douglasie, die bei einem wesentlichen Flächenanteil auch für den Umbau und die Umwandlung ehemaliger Stockausschlagbestände und schlechtere Kiefernbestände auf besseren Standorten vorgesehen war, geändert wurde. Vor allem sind Umwandlungsmaßnahmen von Stockausschlagbeständen weitgehend abgeschlossen.

Die früheren Reinbestandsüberlegungen sind der klaren Vorgabe, die Douglasie nur in laubbaumreichen Mischbeständen anzubauen, gewichen. Gleichzeitig ist eine Korrektur der Standortspalette erfolgt, indem eine differenziertere Auswahl der Substratreihen und dabei vor allem eine Entscheidung für die frischeren Standorte mit höheren nutzbaren Wasserspeicherkapazitäten erfolgte.

Die künstliche Begründung von Douglasienbeständen ist bereits deutlich rückläufig, sie wird in Zukunft noch mehr an Bedeutung verlieren. An die Stelle der Pflanzung der Douglasie tritt die natürliche Verjüngung der Baumart, die in den älteren und mittelalten Beständen bereits überall anläuft. In einigen Wuchsbezirken in Rheinland-Pfalz sind diese Geschenke der Natur fast schon Danaer-Geschenke, weil die Douglasie, wo immer die Strahlungsintensität ausreicht, Eichen-, Kiefern- und Buchenbestände unterwandert und deren zukünftige Verjüngungsflächen besetzt.

Schäden an der Douglasie, über die DR. BLOCK eingehend berichten wird, sind in Rheinland-Pfalz erstmalig im Jahre 1964 aufgetreten. Eine Häufung der Schäden ergab sich in den 80er Jahren. Eine Umfrage Ende der 80er Jahre hat mit rund 5% der Douglasienfläche weitaus größere Schadbandsflächen ergeben, als dies vermutet worden war. Über die Ursachen der Schäden und ggf. auch über Möglichkeiten, diesen Schäden zu begegnen, werden Sie intensiv diskutieren.

Ich wünsche dem Kolloquium einen vollen Erfolg, insbesondere sollte es gelingen, den Schadursachen etwas näherzukommen und aus dem bisherigen Wissen Konzeptionen für den weiteren Anbau dieser faszinierenden Baumart zu erarbeiten.

# Die Situation der Douglasie in Nordamerika

Richard K. Hermann  
College of Forestry Science  
Oregon State University  
Corvallis, OR 97330 (USA)

**Keywords:** Natural range, races, provenance experiments,  
genetic variability, breeding, damages, fungal infections

## Summary

Title of the paper: The situation of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) in North America.

An overall view of the natural range of Douglas-fir in western North America is given. Results of modern genetic methods comprising terpene and isozyme gene markers as well as molecular-genetic markers confirm the classification of this tree species in three subgroups, i.e. variety and subgroup "menziesii" syn. "viridis" (coastal Douglas-fir) and variety "glauca" (interior Douglas-fir) the latter being further differentiated in a northern and a southern subgroup. In addition the genetic investigations revealed significant differences in the genetic variation of the populations within these subgroups. Results obtained from provenance tests in view of the suitability for planting Douglas-fir in Germany and breeding strategies for the propagation of this tree species are presented. The evolution and the current extent of damages affecting Douglas-fir with particular respect to fungal infections (primarily the needle-cast fungus *Phäocryptopus gäumannii*) is elucidated in detail.

**Schlüsselwörter:** Natürliches Verbreitungsgebiet, Rassen, Herkunftsversuche,  
genetische Variation, Züchtung, Schädigung, Pilzbefall

## Zusammenfassung

In einer Übersicht wird das natürliche Verbreitungsgebiet der Douglasie im Westen Nordamerikas beschrieben. Ergebnisse moderner genetischer Methoden mit Terpen- und Isoenzym-Genmarkern sowie mit molekulargenetischen Markern belegen eine Einteilung dieser Baumart in zwei Varietäten und drei Untergruppen, nämlich in die Varietät und Untergruppe „menziesii“ syn. „viridis“ (Küsten-Douglasie) sowie in die Varietät „glauca“ (Inlands-Douglasie), wobei sich letztere in eine nördliche und eine südliche Untergruppe differenziert. Die genetischen Untersuchungen zeigen zudem deutliche Unterschiede bezüglich der genetischen Variation der Populationen in den Untergruppen auf. Weiterhin werden Ergebnisse aus Provenienzversuchen mit Blick auf eine Anbauwürdigkeit von Douglasie in Deutschland sowie Züchtungsstrategien für eine Vermehrung dieser Baumart erörtert. In ausführlicher Weise wird auf die Entwicklung und das derzeitige Ausmaß von Schädigungen an Douglasie insbesondere mit Blick auf Pilzbefall (allen voran der Nadelschüttepilz *Phäocryptopus gäumannii*) eingegangen.

## 1. Einleitung

Lassen Sie mich mit einigen statistischen Daten für die Douglasie in Nordamerika beginnen. Die von der Douglasie eingenommene Fläche in den USA ist in der letzten Forstinventur mit 14,4 Millionen ha angegeben. Davon entfallen 8,1 Millionen ha auf die Varietät *menziesii* (*syn. viridis*) und 6,3 Millionen ha auf die Varietät *glauca*. Das sind 7,3% der 196 Millionen ha Wirtschaftswald in den USA. Die Douglasienfläche in Canada ist mit 4,5 Millionen ha etwas kleiner als ein Drittel der Fläche in den USA. Angaben über die von der Douglasie in Mexico eingenommenen Fläche sind nicht verfügbar <sup>1)</sup>.

Die Entstehung der heutigen westamerikanischen Gebirge im Miozän und Pliozän und damit verbundene Klimaänderungen haben zweifelsohne zu erheblichen Schwankungen in der von der Douglasie eingenommenen Fläche geführt. Das Flächenausmaß dieser Schwankungen läßt sich nicht mit Zahlen belegen, es darf aber mit ziemlicher Sicherheit angenommen werden, daß die Douglasie die östliche Grenze ihres heutigen Areals (etwa 105° westlicher Länge) nicht weit, wenn überhaupt, überschritten hat. Die Erschließung des amerikanischen Westens und die beginnende Exploitation seiner Wälder im 19. Jahrhundert führten zu einer erheblichen Verringerung des Douglasienareals, eine Entwicklung, die sich im Bereich der Küsten-Douglasie bis weit ins 20. Jahrhundert fortsetzte. Für die Küsten-Douglasie begann eine langsame Umkehrung dieser Entwicklung erst in den letzten 15 Jahren, für die Inlands-Douglasie aber bereits in den 60er Jahren.

Obwohl ein beträchtlicher Anteil des Rückgangs der Douglasienfläche auf die Umwandlung von Waldland zu anderen als forstlichen Zwecken zurückzuführen ist, hat die Unterlassung notwendiger Verjüngungsmaßnahmen nach Einschlag oder Waldbrand eine beträchtliche Rolle dabei gespielt. Der fast ausschließliche Verlaß auf Naturverjüngung vor 1950 resultierte zum Beispiel im Gebiet der Küsten-Douglasie häufig in ausgedehnten Reinbeständen von Erle (*Alnus rubra*), Großblattahorn (*Acer macrophyllum*) oder von dichter Strauchvegetation.

---

<sup>1)</sup>Zum Vergleich ist eine Übersicht über die Douglasien-Anbauflächen in europäischen Ländern in 7. Anhang (S.29, Tabelle 2) gegeben.

Der Hauptgrund für das Ausbleiben von Naturverjüngung war meist eine ungenügende Menge an Samen, da die Douglasie im Durchschnitt nur alle sechs bis sieben Jahre eine Vollmast hat. Anfängliche Kunstverjüngung war ebenfalls nicht problemlos, da man nicht selten Pflanzgut ohne Rücksicht auf die Herkunft verwendete. Die Folge davon waren erhebliche Ausfälle durch Krankheiten, Frost und Dürre.

Die Notwendigkeit, Lösungen für die Probleme in der Bewirtschaftung der Douglasie zu finden, führte zu einer Vielzahl von Forschungsarbeiten, deren Ergebnisse unsere Kenntnis bezüglich der biologischen Eigenschaften dieser Baumart erheblich erweitert und damit eine bessere Grundlage für ihre forstliche Behandlung geschaffen hat.

## 2. Geographische Variabilität

FROTHINGHAM (1909) unterteilte schon zu Beginn des Jahrhunderts das Verbreitungsgebiet der Douglasie in fünf Wuchsgebiete. Obwohl er diese Einteilung ohne die modernen biochemischen und molekulargenetischen Methoden vornahm, zeigt sie eine erstaunliche Einsicht in die regionale Differenzierung dieser Baumart. Vergleicht man FROTHINGHAMS Wuchsgebiete mit den Ergebnissen der Terpen-Analysen von ZAVARIN UND SNAJBERK (1973), ergibt sich eine generelle Übereinstimmung von FROTHINGHAMS Wuchsgebieten mit den vier Douglasienrassen (*i.e.* Küstenrasse, Sierra Nevada-Rasse, nördliche und südliche Inlandsrasse) von ZAVARIN UND SNAJBERK.

Ein weiterer wichtiger Beitrag zur Kenntnis der genetischen Differenzierung der Douglasie kam mit einer Arbeit von LI UND ADAMS (1989). Er basiert auf Allozymanalysen an Samen von 104 Herkünften, die über das gesamte Verbreitungsgebiet der Baumart verteilt sind. Das Ergebnis dieser Analysen bestätigt weitgehend die Resultate von Studien, die auf Analysen von Terpenen oder von quantitativen Merkmalen beruhten, es ergab aber ein viel detaillierteres Bild der genetischen Variation von Douglasie als bis dahin verfügbar. Eine statistische Analyse, basierend auf den genetischen Distanzen zwischen allen paarweisen Kombinationen der

104 Populationen zeigte, daß sich letztere mit einer Ausnahme in zwei Gruppen klassifizieren ließen, was den von amerikanischen Dendrologen anerkannten zwei Varietäten der Douglasie entspricht. Die Ausnahme war eine von zwei untersuchten mexikanischen Herkünften. Die große genetische Distanz (0,123) zwischen der Coahuila-Population und den übrigen Populationen deutet daraufhin, daß es wahrscheinlich nicht haltbar ist, alle mexikanischen Douglasien der Varietät *glauca* zuzuordnen. Die Inlandspopulationen teilten sich weiter in eine nördliche (British Columbia, Alberta, Idaho, Montana und nördliches Wyoming) und eine südliche Untergruppe (mittleres Wyoming, Utah, Colorado, Arizona, New Mexico und Mexico) auf. Die Trennlinie zwischen den beiden Untergruppen ist jedoch nicht abrupt, sondern vielmehr in Form einer verhältnismäßig breiten Übergangszone, die in der Nähe des 44. Breitengrades liegt.

Die genetische Struktur von Populationen enthüllte sich als wesentlich verschieden zwischen den drei Gruppen. Die Varietät *menziesii* und die nördliche Untergruppe der Varietät *glauca* zeigten beträchtliche genetische Variation innerhalb von Populationen, jedoch wenig Variation zwischen ihnen. Im Gegensatz dazu sind Populationen der südlichen Untergruppe der Inlandsvarietät weitaus mehr genetisch differenziert, sie besitzen aber nur ungefähr die Hälfte der in den Küsten- und den nördlichen Inlandspopulationen vorkommenden genetischen Mannigfaltigkeit. ZAVARIN UND SNAJBERK (1973) haben angenommen, daß die ausgeprägte genetische Differenzierung zwischen der nördlichen und südlichen Inlandsuntergruppe die Folge der Entwicklung von natürlichen Barrieren für den Genfluß während der Wisconsin-Eiszeit war. Die Allozymanalysen weisen aber darauf hin, daß die Trennung der beiden Untergruppen mindestens bereits auf die Zeit vor 170.000 Jahren zurückgeht, auf jeden Fall wesentlich früher stattfand als in der Wisconsin-Eiszeit, die nur 100.000–10.000 Jahre zurückliegt.

Im Gegensatz zu ZAVARIN UND SNAJBERK (1973) schieden LI UND ADAMS (1989) keine Sierra Nevada-Rasse aus. Letztere betonten jedoch, daß die Abweichung der Terpenzusammensetzung in den Sierra Nevada-Populationen von der in den übrigen Populationen der Varietät *menziesii* möglicherweise auf einem von Insekten verursachten unterschiedlichen Selektionsdruck beruht. Ein Beispiel dafür findet sich in einer Studie von STEPHAN (1987), die zeigte, daß Douglasienherkünfte aus dem

nördlichen Küstengebiet Kaliforniens, nämlich der von ZAVARIN UND SNAJBERK festgelegten Übergangszone zwischen Sierra Nevada- und Küstenrasse, resistenter gegen den Befall durch die Wollaus *Gilletteella cooleyi* sind als die weiter nördlich in Oregon, Washington und British Columbia gelegenen Küstenherkünfte.

Die Ergebnisse der Allozymanalysen legten die Übergangszonen zwischen den Varietäten *menziesii* und *glauca* in das südzentrale British Columbia, das nordzentrale Washington und das mittlere Oregon ebenso wie die Resultate der 15 Jahre älteren Terpenanalysen von RUDLOFF (1973) sowie von ZAVARIN UND SNAJBERK (1973). Die Terpenanalysen deuteten auf ziemlich breite Übergangszonen in British Columbia hin, während die Daten von LI UND ADAMS (1989) auf einen kurzen Übergang schließen lassen, ganz gleich, ob die beiden Varietäten wie in Oregon und Washington räumlich getrennt oder wie in British Columbia benachbart sind.

Eine neuere Arbeit von AAGAARD *et al.* (1995) hat die genetische Variation der Douglasie mit Hilfe von RAPD-Profilen untersucht. (RAPD ist ein Akronym für „Random Amplified Polymorphic DNA“). Für diese Studie wurden Samen von Herkünften der Küsten-Douglasie sowie der nördlichen und südlichen Untergruppe der Inlands-Douglasie verwendet. Samen der Varietät *menziesii* und der nördlichen Untergruppe der Varietät *glauca* stammten von 20 Populationen entlang eines West-Ost-Transektivs ungefähr entlang 44°45' nördlicher Breite, welcher die mutmaßliche Übergangszone zwischen der Küsten- und der Inlands-Douglasie kreuzt. Samen der südlichen Untergruppe der Varietät *glauca* repräsentierten neun Populationen aus Utah, Arizona und New Mexico.

Die Feststellung einer scharfen Grenze zwischen der Küsten- und der nördlichen Inlands-Douglasie auf der Basis der RAPDs stimmt mit den meisten Ergebnissen anderer genetischer Analysen überein. Allerdings fanden LI UND ADAMS (1989) wie auch SORENSEN (1979) in einem Provenienzversuch keine scharfe Grenze, sondern eine schmale, etwa 55 km breite Übergangszone zwischen den beiden Varietäten. Andererseits sind die Ergebnisse der Terpenanalysen von ZAVARIN UND SNAJBERK (1973) in enger Übereinstimmung mit den RAPD-Daten. Die RAPD-Resultate enthalten keinerlei Beweise für eine Hybridisierung oder eine Introgression zwischen den beiden Varietäten in Zentral-Oregon. Da bekannt ist, daß Hybridisierung zwischen den beiden

Varietäten leicht in Kontaktzonen erfolgen kann, liegt die Vermutung nahe, daß beide Varietäten erst seit relativ kurzer Zeit in Zentral-Oregon in unmittelbare Nähe zueinander gekommen sind.

Besonders bemerkenswert sind die ins Auge fallenden Unterschiede zwischen Schätzungen der Differenzierung und der Diversität der Rassen mit RAPD- und Allozym-Markern (Tabelle 1). Überraschenderweise fanden sich allelische und genische Diversitäten für RAPDs umgekehrt im Vergleich zu Allozymen. AAGAARD *et al.* (1995) kamen zu dem Schluß, daß RAPDs anscheinend eine erheblich größere Empfindlichkeit als Allozyme für die Entdeckung genetischer Differenzierung zeigen, zumindest für lange isolierte Genpools wie bei den Rassen der Douglasie.

In diesem Zusammenhang ist es vielleicht von Interesse, kurz darauf einzugehen, inwieweit es möglich ist, amerikanische und nach Deutschland gebrachte Douglasienpopulationen genetisch zu vergleichen. Die Erfahrung hat gezeigt, daß Populationen, die in neue Umwelten verpflanzt wurden, sich diesen anzupassen vermögen und dabei oftmals ihre Vorfahren bezüglich ihrer Fitness übertreffen. Das Musterbeispiel dafür sind bei Douglasie Populationen in Neuseeland, welche im Alter 50 DGZ-Leistungen bis zu 39 m<sup>3</sup>/ha im Karioi State Forest auf der Nordinsel und bis zu fast 29 m<sup>3</sup>/ha im Canterbury-Hochland auf der Südinsel erreicht haben (BELTON, 1991; LEDGARD UND BELTON, 1985). In Deutschland besteht durchaus die Möglichkeit, daß sich bereits neue Ökotypen<sup>2)</sup> aus deutschen Populationen entwickelt haben, da Nachkommenschaften gewisser isolierter Douglasienbestände ungewöhnlich gut wachsen.

---

<sup>2)</sup> **Ökotyp** ist hier im Sinne TURESSONS (1922) gebraucht, der diskontinuierliche Variation mit dem Ökotyp-Konzept erklärte. Solche Variationen können die Folge genetischer oder geographischer Isolation oder eines abrupten Wechsels der Umweltbedingungen sein.

Tab. 1: Differenzierung der Rassen, genetische Abstände sowie genische und allelische Diversität, ermittelt mit RAPDs und Allozymen, zwischen oder innerhalb von Rassen der Küsten- und der Inlands-Varietät der Douglasie; Zahlenwerte: Mittelwert  $\pm$  Standardfehler (Tabelle entnommen aus AARGARD *et al.*, 1995).

Racial differentiation, genetic distances, and genic and allelic diversity based on RAPDs and allozymes between or within races of the coastal and interior varieties of Douglas-fir; the given data are: means  $\pm$  standard error (Table taken from AARGARD *et al.*, 1995).

	<i>RAPDs</i>		<i>Allozyme</i>		<i>mitochondriale RAPDs</i>	
<b>Differenzierung (<math>G_{ST}</math>) zwischen den Rassen</b>						
Küste x nördl. Inland	0.73	$\pm 0.09$	0.26	$\pm 0.03$	0.62	
x südl. Inland						
Küste x nördl. Inland	0.76	$\pm 0.12$	0.21	$\pm 0.03$	0.89	
Küste x südl. Inland	0.82	$\pm 0.09$	0.36	$\pm 0.04$	0.45	
nördl. x südl. Inland	0.52	$\pm 0.11$	0.19	$\pm 0.03$	0.39	
<b>Genetischer Abstand nach NEI (D) zwischen den Rassen</b>						
Küste x nördl. Inland	0.49		0.06		-	
Küste x südl. Inland	1.01		0.10		-	
nördl. x südl. Inland	0.24		0.04		-	
<b>Gendiversität (<math>H_S</math>), berechnet zwischen den Rassen</b>						
Küste	0.07	$\pm 0.04$	0.21	$\pm 0.04$	0.00	
nördl. Inland	0.15	$\pm 0.05$	0.17	$\pm 0.05$	0.11	
südl. Inland	0.18	$\pm 0.05$	0.09	$\pm 0.04$	0.76	
<b>Mittlere Gendiversität (<math>H_S</math>), gemittelt über die Rassen</b>						
	0.13	$\pm 0.03$	0.16	$\pm 0.03$	0.29	
<b>Gesamt-Gendiversität (<math>H_T</math>)</b>						
	0.49	$\pm 0.05$	0.21	$\pm 0.05$	0.76	
	<i>n</i>	<i>n<sub>e</sub></i>	<i>n</i>	<i>n<sub>e</sub></i>	<i>n</i>	<i>n<sub>e</sub></i>
<b>Beobachtete (<i>n</i>) und Effektive (<i>n<sub>e</sub></i>) Anzahl von Allelen je Genort innerhalb der Rassen</b>						
Küste	1.25	$\pm 0.11$	1.12	$\pm 0.07$	2.79	$\pm 0.22$
nördl. Inland	1.44	$\pm 0.13$	1.25	$\pm 0.09$	1.36	$\pm 0.10$
südl. Inland	1.44	$\pm 0.13$	1.29	$\pm 0.09$	1.31	$\pm 0.10$
			2.53	$\pm 0.21$	1.15	$\pm 0.08$
<b>Durchschnitt über die Rassen</b>						
	1.38	$\pm 0.06$	1.22	$\pm 0.05$	2.75	$\pm 0.12$
			1.27	$\pm 0.06$	3	2.00

Diese deutschen Douglasien zweiter Generation zeigen oft bessere Leistungen als jetzt eingeführte Herkünfte aus Washington und British Columbia, die für deutsche Standorte gut angepaßt sind. HOFFMANN UND GEBUREK (1995) haben, mit Hilfe von Allozymen den Versuch unternommen, mögliche Unterschiede in der genetischen Struktur zwischen autochthonen Populationen der Douglasie aus dem pazifischen Nordwesten und deren Nachkommen in Deutschland nachzuweisen. Sie waren sich allerdings bewußt, daß die genetischen Strukturen auf der Allozymebene keine oder bestenfalls nur eine geringe Beziehung zu geographischen und umweltbedingten Klinalen haben und diese sich somit nicht gut für die Ermittlung einer Adaption bei dieser Baumart eignen. Mit den in dieser Studie benutzten Genorten fanden sie keine Hinweise dafür, daß eine Verpflanzung von den Herkunftsorten nach Deutschland evolutionäre Kräfte ins Spiel bringt. Das Fehlen solcher Hinweise führten sie darauf zurück, daß sich die Genorte entweder neutral verhielten oder evolutionäre Kräfte zu schwach waren, um auf sie - bei der benutzten Probengröße von 23 Populationen - zurückzuschließen.

### **3. Provenienzversuche**

Die Ergebnisse der älteren deutschen Provenienzversuche mit Douglasie (KLEINSCHMIT, 1973; 1984) und die des *IUFRO*-Herkunftsversuches in der Bundesrepublik (KLEINSCHMIT *et al.*, 1987; 1990) haben deutlich gemacht, daß Herkünfte vom Westabhang der Kaskaden in Washington und der Olympic Peninsula die für Deutschland am besten geeigneten sind. Hier sollte vielleicht nur bemerkt werden, daß viele der besten Herkünfte der Varietät *menziesii* in Feldversuchen sowohl in Mitteleuropa als auch im pazifischen Nordwesten aus einem Gebiet kommen, für die LI UND ADAMS (1989) die höchste genetische Variabilität innerhalb von Populationen nachgewiesen haben.

## 4. Züchtung

KLEINSCHMIT UND BASTIEN (1992) haben der Meinung Ausdruck verliehen, daß die meisten der klassischen Fragen der Herkunftsforschung bezüglich Douglasie beantwortet seien und daß sich nun die Aktivitäten mehr auf die Züchtung und die Erhaltung der Genressourcen konzentrieren sollten. Das trifft in gleicher Weise auf Europa und wie auf Nordamerika zu.

Erhebliche Investitionen sind für Züchtungsmaßnahmen hinsichtlich der Küsten-Douglasie seit Beginn der 60er Jahre in Nordamerika gemacht worden. Davon zeugen die Auswahl von mehr als 40.000 Plusbäumen und die Begründung von rund 900 ha Samenplantagen. Das Ausmaß der dabei gemachten Fortschritte zeigt eine neuere Veröffentlichung (STONECYPHER *et al.*, 1996), die über Resultate von genetischen Tests an selektierten Eltern der Douglasie in einem praktischen Züchtungsprogramm berichtet. Diese Veröffentlichung bezieht sich auf ein Programm zur Produktion und Züchtung der Douglasie, welches 1963 von der Weyerhäuser Company begonnen wurde. Der Zweck dieses Programms ist die Sicherstellung der Versorgung mit genetisch verbessertem Saatgut, um den jährlichen Pflanzbedarf von Weyerhäuser für rund 20.000 ha Kulturen zu befriedigen. Diesem Programm liegen folgende Annahmen zugrunde, nämlich daß zum einen die phänotypische Auswahl von individuellen Elternbäumen in Naturbeständen mit Methoden, die Konkurrenz- und Umwelteinflüsse berücksichtigen, ein besseres Wachstum der aus solchen Selektionen stammenden Nachkommenschaft zur Folge hat, und daß zum zweiten solchermaßen ausgewählte Eltern eine Nachkommenschaft hervor bringen, die eine Anpassung an die Umwelt und eine konsistente Leistung bei der Verwendung innerhalb eines festgelegten geographischen Gebietes zeigt.

Die Veröffentlichung untersucht die Gültigkeit dieser beiden Annahmen durch die Zusammenfassung der Resultate von genetischen Tests und Studien der Genotyp/Umwelt-Interaktion, die 1973 als ein Teil des Douglasien-Züchtungsprogrammes der Weyerhäuser-Gesellschaft begonnen wurden. Zusätzlich enthält die Veröffentlichung Schätzungen von genetischen Parametern, welche für die

Planung und die Durchführung von Züchtungsprogrammen über mehrere Generationen hinweg von Bedeutung sind.

In den Anfangsjahren der Entwicklung von forstlichen Züchtungsprogrammen gab es erhebliche Diskussionen über den Wert und die Methoden hinsichtlich der Anwendung einer phänotypischen Auswahl für die Wachstumsraten in Naturbeständen. Während diese Diskussion weitgehend zum Stillstand kam, begannen private und öffentliche Waldbesitzer ihre Züchtungsprogramme mittels phänotypischer Selektion, obwohl kaum relevante Daten über Douglasie verfügbar waren, die eine Beurteilung der Ergebnisse intensiver phänotypischer Selektion in Naturbeständen erlaubt hätten. Die Untersuchungsergebnisse im Rahmen des Weyerhäuser-Programms bieten nach Ansicht von STONECYPHER *et al.* (1996) die Möglichkeit für eine derartige Beurteilung. Sie weisen allerdings darauf hin, daß wegen der meist langen Umtriebszeiten die Ergebnisse von Tests in einem frühen Alter und die daraus gezogenen Schlüsse durch die niedrigen Korrelationen von jugendlichem mit reifem Alter auf der Familien- oder Herkunftsebene in Frage gestellt werden können.

So zeigten die Ergebnisse des ältesten amerikanischen Provenienzversuches im Alter 17 und 18, daß Hochlagenherkünfte langsamer als Tieflagenherkünfte in unteren Lagen wuchsen, daß aber Tieflagenherkünfte auch gutes Wachstum in Hochlagen aufwiesen (MUNGER UND MORRIS, 1936). Diese Autoren berichteten weiter, daß Familien der Provenienzen „Granite Falls“ (122 m), „Darrington“ (112 m) und „Lakeview“ (30 m) die besten Leistungen auf allen Versuchsflächen aufwiesen. Die Versuchsflächen repräsentierten eine Höhenspanne von 1.076 m (335 m–1.402 m) innerhalb von drei Breitengraden.

Im Alter 60 (SILEN, 1978) zeigte sich jedoch ein völlig anderes Bild. Die Rangfolge der 13 Herkünfte hatte sich völlig geändert und auf mancher der Versuchsflächen vollkommen umgekehrt. SILEN (1964) war bereits nach der Auswertung des 50jährigen Ergebnisses zu dem Schluß gekommen, daß eine Familie, die auf einem Standort hervorragend ist, wohl nur mittelmäßig oder sogar schlecht sein wird, wenn sie anderswo unter anderen Umweltbedingungen eingebracht wird. Er hat damit die Wahrscheinlichkeit einer Familie mit einer Pflanzort-Wechselwirkung in einem späteren Alter postuliert. Trotzdem sind STONECYPHER *et al.* (1996) der Ansicht, daß die

sehr unterschiedlichen Standorte, die für die Weyerhäuser-Studien der Interaktionen von Genotyp mit Umwelt benutzt wurden, das Vertrauen verstärkt, daß sich relativ frühe Schätzungen von Leistung und Stabilität nicht wesentlich mit zunehmendem Alter ändern werden.

Besonders wichtig für die Praxis ist die Feststellung von STONECYPHER *et al.* (1996), daß der Gebrauch von genetisch verbessertem Pflanzgut nicht durch die gegenwärtig festgelegten Grenzen von „breeding zones“ beschränkt, sondern auf die Leistung der Eltern und die Stabilität für das Wachstum sowie auf adaptive Merkmale gegründet werden sollte. Sie schlagen weiter vor, daß die Notwendigkeit für die Beibehaltung separater „breeding zones“ innerhalb von Oregon und Washington in sukzessiven Zyklen von wiederholten Selektionen fragwürdig ist. Diese Schlußfolgerung und die Vorschläge stehen anscheinend im Widerspruch mit den Ergebnissen aus anderen Untersuchungen, jedoch sind die experimentellen Grundlagen, auf denen sie basieren, sehr verschieden, z.B. von denen von CAMPBELL UND SORENSEN (1978) oder CAMPBELL (1979). Die experimentellen Methoden für veröffentlichte genökologische Studien über die Douglasie sind dazu bestimmt, streng kontrollierte spezifische Umweltfaktoren zu untersuchen, und sie können deshalb Feinheitgrade darstellen, die für praxisbezogene Belange nicht völlig zutreffend sind.

## **5. Schäden**

### **5.1 Abiotische Faktoren**

Frost, Eis- und Schneebruch sowie Trocknis spielen keine große Rolle. Jüngste Vulkanausbrüche haben schwere Schäden angerichtet, sie sind jedoch keine häufigen Ereignisse im Bereich des Douglasienvorkommens.

Unter den abiotischen Faktoren spielt nur einer eine wirklich bedeutsame wirtschaftliche Rolle, und das ist das Feuer. Die fast niederschlagsfreie Zeit von Mai bis September

führt, gekoppelt mit niedriger Luftfeuchtigkeit, zu einer saisonbedingten Austrocknung der Bodenstreu. Die Folge davon sind jährliche, meist durch Blitzschlag verursachte Waldbrände, die oft Zehntausende von Hektaren vernichten.

## 5.2 Wild

Wildschäden sind wirtschaftlich unbedeutend mit vielleicht einer einzigen Ausnahme, nämlich der durch Bären verursachten Schältschäden.

## 5.3 Insekten

Der Ausbruch einer *Choristoneura occidentalis*-Epidemie hat in den letzten Jahren zu schweren Schäden in Nadelwald-Mischbeständen östlich des Kaskadenkammes geführt. Es gibt Anzeichen dafür, daß dieses Insekt nun auch auf die Westseite des Kaskadengebirges vordringt.

Der Douglasienborkenkäfer (*Dendroctonus pseudotsuga*) hat seine Bedeutung als ein wichtiger Schädling verloren, da sein hauptsächliches Habitat, nämlich die Urwaldbestände, weitgehend verschwunden sind.

*Megastigmus spermotrophus* wird nur in schlechten Samenjahren zum Problem, da dann der Befall der Zapfen fast 100% beträgt.

## 5.4 Misteln

Die Douglasienzwergmistel (*Arceuthobium douglasii*) ist wahrscheinlich die Krankheit im natürlichen Verbreitungsgebiet der Douglasie, welche die meisten Schäden an Douglasie anrichtet (HAWKSWORTH UND WIENS, 1996). Wachstumsverluste in befallenen Beständen können 50-60% erreichen.

## 5.5 Pilze

Von den bekannten Pilzkrankheiten an Douglasie sind nur wenige von wirtschaftlicher Bedeutung.

### 5.5.1 Wurzelpilze

Die schwerwiegendsten Verluste werden durch die laminierte Wurzelfäule (*Phellinus weirii*) verursacht. *Phellinus* ist im südlichen British Columbia, Washington, Oregon, California, im westlichen Montana und nördlichen Idaho weit verbreitet (THIESS UND STURROCK, 1995). Der jährliche Verlust durch diesen Pilz wird auf rund 4,4 Millionen Festmeter geschätzt.

In den letzten Jahren hat man das Auftreten von *Leptographium wageneri*, der sogenannten „black stain disease“, in vielen Douglasienbeständen bemerkt. Dieser Pilz bringt Bäume durch Verstopfen von wasserleitenden Gefäßen in den Wurzeln rasch zum Absterben. Der Pilz wird durch sich an Wurzeln ernährenden Insekten verbreitet. Im südwestlichen Oregon hat der Befall mit diesem Pilz nahezu epidemische Ausmaße erreicht. Dort sind zwischen 25% und 50% 10-30jähriger Bestände befallen.

### 5.5.2 Schüttepilze

*Rhabdocline pseudotsuga* und *Phaeocryptopus gäumannii* kommen beide epidemisch im gesamten natürlichen Verbreitungsgebiet der Douglasie vor. Die Küsten-Douglasie ist für *Rhabdocline* weniger anfällig als die Inlands-Douglasie. Allgemein wird angenommen, daß die Küsten-Douglasie weitgehend resistent gegen *Phaeocryptopus* ist. Allerdings haben die besonders in den letzten Jahren beobachteten Schäden an jungen Douglasienbeständen im pazifischen Küstengebiet Anlaß dazu gegeben, diese Annahme eingehend zu überprüfen.

### *Phaeocryptopus gäumannii*

Dieser als „Schweizer Nadelschütte“ bekannte Pilz wurde erstmalig 1925 von GÄUMANN nach Befall von Küsten-Douglasien in der Westschweiz beschrieben. Der Pilz ähnelte *Adelopus balsamicola*, einem Saprophyten auf Tannennadeln. Es war ROHDE (1936), der nachwies, daß *Adelopus* an Douglasie eine andere Art ist als *Adelopus* an Tanne, und er benannte sie deshalb *Adelopus gäumannii*. PETRAKS (1938) Transfer der Gattung *Adelopus* zu *Phaeocryptopus* resultierte in der Kombination *Phaeocryptopus gäumannii* (ROHDE) PETRAK.

Ein Befall von Douglasie im Osten der USA mit *Phaeocryptopus gäumannii* wurde erstmals 1938 berichtet, obwohl der Pilz wahrscheinlich schon seit 1929 präsent war. Die ersten Berichte über die „Schweizer Nadelschütte“ im Westen der USA und Canada erschienen 1938 als Ergebnis von Aufnahmen, die infolge der Schadensberichte aus Europa und den östlichen USA veranlaßt worden waren. Weitverbreitete Vorkommen des Pilzes wurden entlang der pazifischen Küste bis nach British Columbia festgestellt.

*Phaeocryptopus* wurde ebenfalls in der Intermountain-Region und im Südwesten, dort jedoch weniger stark verbreitet, gefunden. Auch wenn der Pilz im Verbreitungsgebiet der Küsten-Douglasie vielerorts präsent war, wurden nirgendwo nennenswerte Schäden festgestellt.

Obwohl der an der Westküste auftretende Pilz morphologisch nicht von dem in Europa vorkommenden zu unterscheiden war, wies der Unterschied im Verhalten darauf hin, daß er doch physiologisch verschieden war. MEINECKE (1939) hielt es für möglich, daß es sich bei der europäischen Form um eine Mutation zu erhöhter Virulenz handelt. BOYCE (1940) zog diese Möglichkeit in Betracht, bevorzugte aber die Erklärung, daß sowohl der Pilz als auch die Douglasie nach Europa eingeführt worden sind, wo die Umweltbedingungen den einen Organismus über den anderen begünstigen. Er wies auf das überwiegend trockene Frühjahrs- und Sommerwetter im Westen während des Infektionszeitraums hin, im Gegensatz zu den häufigen Frühjahrs- und Sommerregen im Osten der USA und in Europa. PEACE (1961) pflichtete der Erklärung von BOYCE bei, wies jedoch die Möglichkeit einer größeren Pathogenität in Europa und im Osten der USA nicht von der Hand.

Kürzlich sind Forschungsprogramme in Oregon angelaufen, die sich besonders mit *Phaeocryptopus gäumannii* befassen, da der Befall mit diesem Pilz epidemische Ausmaße in jungen Douglasienbeständen im Küstengebiet von Oregon und Washington angenommen hat. Bis jetzt gibt es noch keine eindeutige Erklärung für das starke Auftreten dieses Pilzes und die damit verbundenen Wachstumsverluste. EVERETT HANSEN, Professor für Pflanzenpathologie an der Oregon State University, hält es für unwahrscheinlich, daß die derzeitige Epidemie auf dem Auftreten eines virulenteren Genotyps des Pilzes beruht (persönliche Mitteilung). Er ist der Ansicht, daß eine „günstige Umwelt“-Hypothese eine bessere Erklärung abgibt. Die Tieflagen des Küstengebietes bieten ideale Umweltbedingungen für einen Nadelpilz wie *Phaeocryptopus*. Hohe Niederschläge, fruchtbare Böden und gemäßigte Temperaturen erlauben eine lange Vegetationsperiode für die Douglasie mit dem Resultat, daß der Zeitraum für eine Anfälligkeit länger ist als sonstwo im Verbreitungsgebiet der Douglasie. Häufiger Frühjahrs- und Sommersprühregen, gefolgt von nebligen Tagen, erhöht die Zahl und die Dauer des Sporenausstoßes sowie die Wahrscheinlichkeit eines Sporenfluges von Nadeln, die länger naß bleiben, was für die Keimung und die Penetration der Sporen notwendig ist.

Das Gebiet, in dem sich der Befall von *Phaeocryptopus* konzentriert, stimmt ungefähr mit dem der *Picea sitchensis*/*Tsuga heterophylla*-Zone überein. Vor der Besiedlung dieses Gebietes durch weiße Einwanderer kam die Douglasie nur vereinzelt in den vorherrschenden Fichten/Hemlock-Wäldern vor. *Phaeocryptopus* war vielleicht einer der Gründe, weshalb die Douglasie auf die höheren Lagen des Küstengebirges beschränkt blieb. Rodung der Tieflagen für eine landwirtschaftliche Nutzung und die Exploitation der leicht zugänglichen Wälder führte zum Verschwinden des ursprünglichen Waldes. Anschließend Naturverjüngung führte zu Mischwäldern, in denen Laubbaumarten, insbesondere Roterle (*Alnus rubra*) dominierten. Ein Waldbesitzerwechsel und Veränderungen auf dem Holzmarkt führten in den letzten 20 Jahren zu einer Umwandlung der Laubwälder zu Nadelholz und zwar meist hin zur Douglasie.

Somit darf angenommen werden, daß die Umwandlung des ehemaligen Fichten/Hemlock-Waldes zu Douglasie in einem Gebiet mit Umweltbedingungen, die für den Befall mit der „Schweizer Nadelschütte“ günstig sind, zu der gegenwärtigen

Epidemie geführt hat. Sollte diese Annahme tatsächlich zutreffen, muß befürchtet werden, daß mit einer *Phaeocryptopus*-Epidemie in anderen Teilen des Küstengebietes, in denen Douglasie die Fichte und Hemlock ablöst, zu rechnen ist. Andererseits ist die Entwicklung eines destruktiven Ausmaßes der Krankheit auf trockeneren und für die Douglasie besser geeigneten Standorten unwahrscheinlich.

Es kann weiterhin nicht ausgeschlossen werden, daß die Verwendung von standortsfremdem Saatgut mit zum Auftreten von *Phaeocryptopus* beigetragen hat (NELSON *et al.*, 1989). Die wenigen bis jetzt vorliegenden Untersuchungen über die Verbreitung der „Schweizer Nadelschütte“ im westlichen Nordamerika sowie eine genetisch bedingte Resistenz gegen diesen Pilz geben kein eindeutiges Bild über das Ausmaß von Provenienzvariation bezüglich einer Resistenz gegen *Phaeocryptopus*.

HOOD (1982) untersuchte den Befall von „second-growth“-Beständen mit *Phaeocryptopus gäumannii* im südlichen British Columbia. Der Befall war besonders hoch entlang der Westküste von Vancouver Island. Er fand erhebliche örtliche Unterschiede bei der durchschnittlichen Fruktifikation, welche eine positive Korrelation mit dem durchschnittlichen Niederschlag im Zeitraum Mai-Juli aufwies. Mit einem Provenienzversuch in der Nähe von Cowichan Lake auf Vancouver Island fand er heraus, daß Herkünfte, die aus Gebieten westlich des Küstengebirges und der Kaskaden in Washington und Oregon stammten, einen wesentlich geringeren Befall aufwiesen als solche, die aus dem Gebiet zwischen Küstengebirge und den Gebirgen im Osten von British Columbia stammen. Bedauerlicherweise fand dieser Provenienzversuch ohne Wiederholung für Provenienzen statt, und zudem war ein nichtparametrisches Statistikverfahren angewandt worden, um zwischen den Provenienzen zu unterscheiden.

MICHAELS UND CHASTAGNER (1984) berichteten über einen weitgehenden Befall von Weihnachtsbaumplantagen mit der „Schweizer Nadelschütte“ im westlichen Oregon und Washington, von der praktisch alle benutzten Herkünfte betroffen waren.

MCDERMOTT UND ROBINSON (1989) zogen einen 1971 begonnenen IUFRO-Provenienzversuch in British Columbia heran, um Unterschiede zwischen Herkünften hinsichtlich einer Resistenz gegen *Phaeocryptopus gäumannii* zu untersuchen. Sie wählten neun Herkünfte aus, die das Verbreitungsgebiet der Douglasie von British

Columbia bis California abdeckten. Eine jede dieser Herkunft war durch acht Halbgeschwister-Familien repräsentiert. Das epidemische Auftreten der „Schweizer Nadelschütte“ am Versuchsort mit einer Fruktifikation an mehr als 75% der Nadeln boten eine ausgezeichnete Bedingung für das Studium von Provenienzvariationen in ihrer Resistenz gegen *Phaeocryptopus gäumannii*. Herkünfte aus ariden Gebieten wie „Burney“ und „Big Bar“ aus California hatten den höchsten Befallsgrad auf der Versuchsfläche. Im Gegensatz dazu zeigten Provenienzen aus Küstengebieten mit hohem Niederschlag und niedrigen Temperaturen wie Humptulips (Washington) und Squamish (British Columbia) den geringsten Befall. Diese Ergebnisse deuten an, daß Herkünfte aus Gegenden mit hohem Niederschlag und vermutlich hohem Selektionsdruck für eine Resistenz gegen die „Schweizer Nadelschütte“ resistenter sind. Eine Schlußfolgerung, die sich aus den Beobachtungen von HOOD (1982) und den Versuchsergebnissen von MCDERMOTT UND ROBINSON (1989) ergibt, ist die Wahrscheinlichkeit einer endemischen Ebene der Resistenz gegen *Phaeocryptopus gäumannii* in natürlichen Populationen. MCDERMOTT UND ROBINSON (1989) betonen allerdings, daß ihre Ergebnisse nicht erlauben, die zugrunde liegende genetische Natur der Resistenz zu identifizieren. In einer bisher nicht veröffentlichten Studie über Provenienzunterschiede gegen *Phaeocryptopus* in Australien (PEDERICK UND MARKS, 1975) zeigte sich eine größere Variation bei der Resistenz gegen *Phaeocryptopus* innerhalb der Provenienzen als zwischen diesen.

## 6. Literatur

- AAGAARD, J.E., VOLLMER, S.S., SORENSEN F.C. AND STRAUSS, S.H. (1995): Mitochondrial products among RAPD profiles are frequent and strongly differentiated between races of Douglas-fir. *Molecular Ecology*, 4, pp. 441-447.
- BELTON, M.C. (1991): Forestry: a sustainable land use for high country lands. *New Zealand Forestry*, 36, pp. 19-22.
- BLADA, I. (1990): Testing Douglas-fir clones for needle cast disease and woolly aphid resistance. In: Proceedings of the Meeting of the IUFRO Working Parties S.02-05, 06, 12, 14. Olympia, WA, August 20-24, 1990, Section 2.3, 9 pages.
- BOYCE, J.S. (1940): A needle cast of Douglas-fir associated with *Adelopus gäumannii*. *Phytopathology*, 30, pp. 649-659.
- CAMPBELL, R.K. (1979): Genecology of Douglas-fir in a watershed in the Oregon Cascades. *Ecology*, 60(5), pp. 1036-1050.
- CAMBELL, R.K. AND SORENSEN, F.C. (1978): Effect of test environments on expression of clines and on delimitation of seed zones in Douglas-fir. *Theoretical and Applied Genetics*, 51, pp. 233-246.
- FROTHINGHAM, E.H. (1909): Douglas-fir. A study of the Rocky Mountains and Pacific Coast forms. *USDA Forest Service Circular*, 150, 38 pages.
- GÄUMANN, E. (1930): Über eine neue Krankheit der Douglasie. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 81, S. 63.
- HAWKSWORTH, F.G. AND WIENS, D. (1996): Dwarf mistletoes: Biology, pathology and systematics. *USDA Forest Service Agricultural Handbook*, No. 709, 410 pages.
- HOFFMANN, CH. AND GEBUREK, TH. (1995): Allozyme variation of indigenous Douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] populations and their descendants in Germany. *Silvae Genetica*, 44(5-6), pp. 222-225.
- HOOD, I.A. (1982): *Phaeocryptopus gäumannii* on *Pseudotsuga menziesii* in southern British Columbia. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 12, pp. 415-424.
- KLEINSCHMIT, J. (1973): Zur Herkunftsfrage bei der Douglasie. *Der Forst- und Holzwirt*, 28, S. 209-213.
- KLEINSCHMIT, J. (1984): Neuere Ergebnisse der Douglasien-Provenienzforschung und -züchtung in der Bundesrepublik Deutschland. *Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen*, 135, S. 655-679.

- KLEINSCHMIT, J., SVOLBA, J., WEIGERBER, H., DIMPFLMEIER, R., RUETZ, W. AND WIDMAIER, T. (1987): Results of the *IUFRO* Douglas-fir provenance experiment in the Federal Republic of Germany at age 14. In: *Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt*, Wien, FBVA-Bericht No. 21, pp. 67-84.
- KLEINSCHMIT, J., SVOLBA, J., WEISGERBER, H., RAU, H.M., DIMPFLMEIER, R., RUETZ, W. AND FRANKE, A. (1990): Results of the *IUFRO* Douglas-fir provenance experiment in the Federal Republic of Germany at age 20. In: Proceedings of the Meeting of the *IUFRO* Working Parties S.02-05, 06, 12, 14. Olympia, WA, Aug. 20-24, 1990, Section 2.195, 21 pages.
- KLEINSCHMIT, J. AND BASTIEN, J.C. (1992): *IUFRO's* role in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) tree improvement. *Silvae Genetica*, 41, pp. 161-173.
- LEDGARD, N.J. AND BELTON, M.C. (1985): Diversification and opportunities for forestry in the South Island high country. *New Zealand Forestry*, 30, pp. 133-143.
- LI, P. AND ADAMS, W.T. (1989): Range-wide patterns of allozyme variation in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*). *Canadian Journal of Forestry Research*, 19, pp. 149-161.
- MCDERMOTT, J.M. AND ROBINSON, R.A. (1989): Provenance variation for disease resistance in *Pseudotsuga menziesii* to the Swiss needle-cast pathogen, *Phaeocryptopus gäumannii*. *Canadian Journal of Forest Research*, 19, pp. 244-246.
- MEINECKE, E.P. (1939): The *Adelopus* needle-cast of Douglas-fir on the Pacific Coast. Department of Natural Resources, Division of Forestry, Report.
- MICHAELIS, E. AND CHASTAGNER, G.A. (1984): Seasonal availability of *Phaeocryptopus gäumannii* ascospores and conditions that influence their release. *Plant Diseases*, 68, pp. 942-944.
- MUNGER, T.T. AND MORRIS, W.G. (1936): Growth of Douglas-fir trees of known seed source. *USDA Technical Bulletin*, No. 537, 40 pages.
- NELSON, E.E., SILEN, R.R. AND MANDEL, N.L. (1989): Effects of Douglas-fir parentage on Swiss needle-cast expression. *European Journal of Forest Pathology*, 19, pp. 1-6.
- PEACE, T.R. (1961): Pathology of trees and shrubs. Oxford University Press.
- PEDERICK, L.A. AND MARKS, G.C. (1975): Swiss needle-cast of Douglas-fir in Victoria. II. Variation in the resistance of provenances. Research Branch, Forest Commission, Victoria. Unpublished Report, 8 pages.
- PETRAK, F. (1938): Beiträge zur Systematik und Phylogenie der Gattung *Phaeocryptopus* Naumov. *Annals of Mycology*, 36, S. 9-26.

- ROHDE, T. (1936): *Adelopus gäumannii* n. sp. und die von ihm hervorgerufene „Schweizer“ Douglasienschütte. *Forstliche Wochenzeitschrift Silva*, 24, S. 420-422.
- RUDLOFF, E. VON (1973): Geographical variation in the terpene composition of the leaf oil of Douglas-fir. *Pure and Applied Chemistry*, 34, pp. 401-410.
- SILEN, R.R. (1964): Regeneration aspects of the 50-year-old Douglas-fir heredity study. In: Proceedings of the Annual Meeting of the Western Reforestation Coordination Commission, Spokane WA, pp. 35-39.
- SILEN, R.R. (1978): Genetics of Douglas-fir. *USDA Forest Service Research Paper, WO-35*, 34 pages.
- SORENSEN, F.C. (1979): Provenance variation in *Pseudotsuga menziesii* seedlings from the var. *menziesii* – var. *glauca* transition zone in Oregon. *Silvae Genetica*, 28, pp. 96-103.
- STEPHAN, B.R. (1987): Differences in the resistance of Douglas-fir provenances of the wooly aphid (*Gilletteella cooleyi*). *Silvae Genetica*, 36, pp. 76-79.
- STONECYPHER, R.W., PIESCH, R.F. HELLAND, G.G., CHAPMAN, J.G. AND RENO, H.J. (1996): Results from genetic tests of selected parents of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) in an applied tree improvement program. *Forestry Science*, 42(2) Supplement Monograph 32, 21 pages.
- THIES, W.G. AND STURROCK, R.N. (1995): Laminated root rot in western North America. *USDA Forest Service and Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Research Bulletin PNW-GTR-349*, 32 pages.
- TURESSON, G. (1922): The genotypical response of the plant species to the habitat. *Hereditas*, 3, pp. 211-350.
- ZAVARIN, E. AND SNAJBERK, K. (1973): Geographic variability of monoterpenes from the cortex of *Pseudotsuga menziesii*. *Pure and Applied Chemistry*, 34, pp. 411-434.

## 7. Anhang

Tab. 2: Anbauflächen von Douglasie in europäischen Ländern.

Planting areas of Douglas-fir in European countries.

Land	Fläche (ha)	Jahr	Referenz
Frankreich	220.000 <sup>a</sup>	1984	BOUCHON 1984
Deutschland	100.000 <sup>b</sup>	1986	KLEINSCHMIT 1984, BRAUN & WEISSLEDER 1986
Großbritannien	47.000 <sup>a</sup>	1982	LOCKE 1987
Niederlande	16.000 <sup>a</sup>	1990	DE VRIES 1990
Rumänien	13.000 <sup>a</sup>	1993	ENESCU, VALERU 1993
Belgien	12.000 <sup>b</sup>	1993	NANSON 1993
Italien	10.000 <sup>b</sup>	1985	NOCENTINI 1984
Irland	8.200 <sup>a</sup>	1993	PFEIFER 1994
Portugal	7.000 <sup>a</sup>	1989	LUIS 1989
Spanien	5.000 <sup>b</sup>	1993	ELENA 1993
Tschechische Republik	3.800 <sup>a</sup>	1991	VANCURA 1993
GUS (ehemals UdSSR)	2.000 <sup>b</sup>	1985	RUDENKO & DERZHNOVSKAYA 1985
Dänemark	1.600 <sup>b</sup>	1993	MADSEN 1993
Slowakei	1.200 <sup>a</sup>	1993	TAVODA 1993
Polen	1.000 <sup>a</sup>	1993	MEJNARTOWICZ 1993
Ungarn	350 <sup>a</sup>	1990	MATYAS 1993
Österreich	100 <sup>a</sup>	1973	RANNERT 1979

<sup>a</sup> gemäß Inventuren

<sup>b</sup> gemäß Schätzungen

Länder mit Douglasien-Anbauflächen mit weniger als 100 ha Anbaufläche.

Countries with Douglas-fir planting areas comprising less than 100 ha.

Finnland	Estland	Luxemburg	Kroatien
Norwegen	Lettland	Schweiz	Serbien
Schweden	Litauen	Slowenien	Bulgarien

# Schadensstand und Nährstoffversorgung der Douglasie in den belgischen Ardennen

François Weissen\*  
Unité de Géopédologie  
Faculté universitaire des Sciences agronomiques  
B-5030 Gembloux (Belgien)

**Keywords:** Douglas-fir, resin efflux, manganese excess, acidic brown soil

## Summary

Title of the paper: Damage status and nutrient supply of Douglas-fir in the Belgian Ardennes.

The first observations on resin efflux in Douglas-fir stands were made in the Belgian Ardennes in 1988. The damage was attributed to manganese excess. For comparison, healthy, crooked and yellowing Douglas-fir trees were studied. In addition other tree species in mixed stands were also compared with Douglas-fir.

Preliminary results basing on needle, soil and soil solution analyses suggest that manganese excess is most likely to be the main risk factor. Douglas-fir origins seem to be differently sensitive to manganese excess and there are indications for successful selection. Autochthonous broad-leaved species as well as spruce are much less endangered than Douglas-fir.

**Schlüsselwörter:** Douglasie, Harzfluß, Mangan-Überschuß, saure Braunerde

## Zusammenfassung

In den belgischen Ardennen wurden dem Mangan-Überschuß zugeschriebene Harzfluß-Schäden bei Douglasie erstmalig im Jahre 1988 erwähnt. Zum Vergleich wurden gesunde, krummwüchsige, vergilbte Douglasien und des weiteren andere Baumarten aus Mischbeständen mit einbezogen.

Auf der Grundlage von Analysen an Nadeln, des Bodens und der Bodenlösung wurde vorläufig angenommen, daß sehr wahrscheinlich Mangan-Überschuß die Schädigung hervorruft. Die Provenienz scheint durchaus eine gewisse Rolle zu spielen, und es gibt Anzeichen für eine möglichst aussichtsreiche Selektion. Einheimische Laubholzarten wie auch Fichte sind bei einem Überangebot an Mangan kaum oder weniger gefährdet als Douglasie.

## 1. Einleitung

Auf gut durchlässigen Böden stockende Fichten-Bestände können allgemein vorteilhaft durch die Douglasie ersetzt werden. Heutzutage stockt die Douglasie auf etwa 4-5% (11.000-12.000 ha) der gesamten Nadelwaldfläche (250.000 ha) der wallonischen Region. Reine Douglasien-Bestände sind vorherrschend; Douglasien/Fichten-Bestände sind aber nicht selten. Etwa 70-75% der Bestände sind jünger als 20 Jahre. Im Durchschnitt werden jährlich etwa 500 ha angepflanzt (CLAESSENS *et al.*, 1996).

Neben vorher schlecht angepaßten (z.B. Oregon) und heute gut angepaßten amerikanischen Provenienzen (z.B. Washington) werden auch hochproduktive belgische Provenienzen angepflanzt. Leider wird der Provenienz erst seit Ende der 70er Jahre genügend Rechnung getragen. In älteren Beständen ist die Provenienz meist unbekannt.

Nun steht man seit Ende der 80er Jahre mancherorts der Douglasie skeptisch gegenüber: Krummwuchs oder Harzfluß mit teilweisem Absterben haben so manchen Forstmann abgeschreckt. Nach heutiger Erkenntnis wird Krummwuchs häufiger beobachtet als Harzfluß. Harzfluß soll ein Symptom von Mangan-Überschuß sein (HARTMANN *et al.* 1988). Als Begleiterscheinung werden gelbliche Nadeln und vorzeitiger Abfall erwähnt. Krummwuchs soll als Symptom von Kupfer-Mangel gelten.

## 2. Untersuchungsmaterial

Bislang wurden vier von den sechs bekannten Douglasien-Beständen mit Harzfluß teilweise untersucht. Auf zwei Standorten stocken Mischbestände. In Werbomont (B) ist die stark geschädigte Douglasie (25 Jahre) unregelmäßig von Fichte, Kiefer, Birke, Buche und Eiche begleitet (umgewandelter Niederwald). In einem benachbarten 20jährigen Douglasien/Fichten-Bestand (Werbomont A) bleiben nur wenige, aber gesund aussehende Douglasien übrig. Es scheint, als ob sie dort noch stärker und früher erkrankten als in Werbomont B. In Xhoris handelt es sich um leicht geschädigte

Douglasie mit Fichte (30 Jahre). Zudem wurden vier krummwüchsige Bestände, ein vergilbter Bestand (My II) und vier gesunde Bestände zum Vergleich mit einbezogen. In My II stockt die Douglasie auf einer von Kalkstein beeinflussten Braunerde. Alle anderen Bestände stocken auf sauren Braunerden.

In zwei durch Harzfluß mittelstark geschädigten Beständen (Felenne, Vonêche) wurden 5-7 Paare von benachbarten erkrankten und gesunden Bäumen etwa gleicher Stärke untersucht. Für die Nadelanalyse wurden pro Baum ein- bis dreijährige Zweige an zwei vierjährigen Astspitzen der 7. bis 9. Astquirle entnommen. Zur Blattanalyse bei Laubbäumen wurden Astspitzen aus dem obersten Drittel der Baumkrone abgeschnitten.

Bodenanalysen waren bis jetzt auf das O-Material, die 0-5 cm-, 5-10 cm- und 10-20 cm-Bodenschicht begrenzt. Bodenwasser wurde nur aus der 0-10 cm-Bodenschicht gewonnen (Zentrifugation bis pF 4,2).

### **3. Resultate und Diskussion**

#### **3.1 Nadel(Blatt)analysen**

Zum Vergleich stehen in Tabelle 1 neben den Mittelwerten von Harzfluß-Beständen auch solche von gesunden und krummwüchsigen Beständen sowie von einem vergilbten Bestand.

Tab. 1: Blattspiegelwerte einjähriger Douglasiennadeln bei verschiedenen Symptomen.

Element levels in one-year-old Douglas fir needles of trees exhibiting different symptoms.

<i>Elemente</i>	<i>Symptome</i>				<i>Mangelhaft</i> <...*; >...**
	<i>Keine (gesund)</i>	<i>vergilbte einjährige Nadeln</i>	<i>Krummwuchs</i>	<i>Harzfluß</i>	
N (%)	1,86	2,13	1,78	1,56	< 0,9
P (mg/100g)	104	139	108	79	> 80
K (mg/100g)	365	591	480	425	< 320
Ca (mg/100g)	215	588	333	386	?
Mg (mg/100g)	149	186	76	134	< 60
Mn (mg/100g)	178	3	212	488	< 2 ; > 350
Al (mg/100g)	26	5	29	18	?
Fe (ppm)	61	48	75	66	< 30-40
Zn (ppm)	30	21	43	38	< 5-10
Cu (ppm)	4,5	2,8	4,1	4,0	< 2,5-4

\* nach ULRICH UND BONNEAU (1993)

\*\* nach HARTMANN *et al.* (1988)

Gesunde Bestände sind optimal mit Stickstoff und Magnesium, jedoch nur ungenügend mit Phosphor und Kalium versorgt. Harzfluß-Bestände unterscheiden sich wesentlich von allen anderen Beständen durch Phosphor-Mangel und Mangan-Überschuß.

Allem Anschein nach kann Krummwuchs nicht unbedingt einem Kupfer-Mangel zugeschrieben werden. Mehr oder weniger stark vergilbte einjährige Nadeln dürften Mangan-Mangel entsprechen.

Die nachstehende Tabelle 2 gibt die Elementgehalte von benachbarten kranken und gesunden Bäumen in Harzfluß-Beständen wieder.

Tab. 2: Elementgehalte von benachbarten gesunden und von Harzfluß befallenen Bäumen (Felenne, Vonèche), Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet für 10 Bäume je Gesundheitsklasse.

Element contents of neighboring healthy trees and trees exhibiting resin efflux (Felenne, Vonèche), means and standard deviations calculated from 10 trees per health class.

<i>Elemente</i>		<i>Gesund</i> Mittelwert ± Standardabweichung	<i>Harzfluß</i> Mittelwert ± Standardabweichung
N	(%)	1,70 ± 0,37	1,42 ± 0,19
P	(mg/100g)	80 ± 14	78 ± 16
K	(mg/100g)	397 ± 50	454 ± 139
Ca	(mg/100g)	376 ± 91	396 ± 75
Mg	(mg/100g)	162 ± 50	107 ± 35
Mn	(mg/100g)	503 ± 161	474 ± 109
Al	(mg/100g)	18 ± 3	19 ± 5
Fe	(ppm)	75 ± 20	58 ± 20
Zn	(ppm)	38 ± 7	37 ± 10
Cu	(ppm)	4,3 ± 1,0	3,6 ± 0,7

Es ist klar angedeutet, daß sich die beiden Gesundheitsklassen nicht wesentlich unterscheiden. Im Laborversuch wurden oftmals scheinbar gesunde Individuen mit Mangan-Nadelgehalten von etwa 11.000 ppm (belgische Provenienz „Cedrogne“) beobachtet. Das dürfte bedeuten, daß Douglasien-Individuen hohe Mangan-Gehalte vertragen können, es sei denn, daß Mangan überhaupt nicht schädlich wäre. Wäre die erste Hypothese gerechtfertigt, dann müßte man unabwendbar annehmen, daß es resistente Provenienzen gibt oder die Selektion auf eine hohe Resistenz möglich ist.

In dem Mischbestand von Werbomont B, wo die Douglasie stark erkrankt ist, zeigen andere Baumarten mehr oder weniger hohe Mangan-Gehalte wie auch stark unterschiedliche Werte für einige andere Nährstoffe.

Tab. 3: Blattanalysen von benachbarten Baumarten aus dem Mischbestand von Werbomont B.

Leaf analyses of neighboring tree species in the mixed tree stand of Werbomont B.

<i>Elemente</i>	<i>Douglasie (krank)</i>		<i>Fichte (± gesund)</i>		<i>Birke (gesund)</i>	<i>Trauben- eiche (gesund)</i>	<i>Buche (± gesund)</i>
	<i>ein- jährig</i>	<i>drei- jährig</i>	<i>ein- jährig</i>	<i>drei- jährig</i>			
N (%)	1,52	2,17	1,70	1,63	2,83	2,47	2,16
P (mg/100g)	88	76	132	105	112	116	98
K mg/100g	464	275	549	355	885	683	644
Ca mg/100g	370	578	315	467	319	425	320
Mg mg/100g	72	59	41	27	63	89	44
Mn mg/100g	416	637	303	471	341	442	390
Al mg/100g	18	28	8	16	3	5	5
Fe ppm	92	137	79	99	99	152	133
Zn ppm	50	80	38	39	181	29	34
Cu ppm	3,1	2,5	2,7	2,5	7,0	8,1	7,0

Für die Douglasie gelten die zu Tabelle 1 gemachten Kommentare: Phosphor-Mangel und Mangan-Überschuß sind besonders stark bei dreijährigen Nadeln ausgeprägt. Bemerkenswert tief liegt der Kalium-Gehalt dreijähriger Nadeln bei Douglasie. Möglicherweise ist er für frühzeitigen Abfall der Nadeln mitverantwortlich.

Abgesehen von leichten Magnesium-Mangelsymptomen erscheinen Fichte und Buche als ziemlich gesund. Birke und Traubeneiche zeigen überhaupt keine Symptome. Allem Anschein nach vertragen diese vier Baumarten ziemlich hohe Mangan-Gehalte ohne Schaden.

Diese Beobachtung dürfte dazu anregen, auf Böden mit hohem Mangan-Angebot von der Douglasie abzusehen, es sei denn, daß Mn-resistente Douglasien-Provenienzen ermittelt würden. Andernfalls wäre es unumgänglich, Fichte oder andere Mn-resistente Baumarten anzubauen.

### 3.2 Bodenanalysen

Tabelle 4 zeigt für normal durchlässige Böden der Ardennen extreme und mittlere Werte (Willerzie, Transinne, Spa) und zum Vergleich Bodendaten aus dem kranken Douglasienbestand Werbomont.

Tab. 4: Mangan-Gehalte (Gesamt- und austauschbares Mangan) im Oberboden von normal drainierten sauren Braunerden der belgischen Ardennen und von Böden mit kranken Douglasien.

Contents in manganese (total and exchangeable manganese) as found in the upper soil of normally drained acidic brown soils of the Belgian Ardennes Mountains and in soils with damaged Douglas-fir.

Standort (Baumart)	0-5 cm			5-10 cm			10-20 cm		
	ge- samt	Aus- tausch	Verhältnis Austausch/ gesamt	ge- samt	Aus- tausch	Verhältnis Austausch/ gesamt	ge- samt	Aus- tausch	Verhältnis Austausch/ gesamt
	mg/100g		%	mg/100g		%	mg/100g		%
Willerzie (Fichte)	12	0,6	5	16	0,5	3	23	0,5	2
Transinne (Buche)	61	4,9	8	77	2,3	3	76	1,1	1
Spa (Buche)	61	7,7	13	103	6,7	6	120	3,9	3
Werbomont:									
Douglasie (B)	94	13,7	15	159	8,6	5	149	6,3	4
Fichte (A)	152	14,8	10	240	9,5	4	215	7,2	3
Buche/Eiche (B)	102	13,5	13	112	3,8	3	116	2,9	2
Eiche (A)	205	28,6	14	275	10,6	4	220	6,9	3

In Werbomont liegen außergewöhnlich hohe Mangan-Werte von Gesamt- und Austausch-Mangan vor. Abgesehen von der obersten 0-5 cm-Schicht liegt der relative Anteil des Austausch-Mangans bei ungefähr konstanten Werten für alle Standorte. Das könnte bedeuten, daß bei den gegebenen Umweltbedingungen (atmosphärischer Säureeintrag, WEISSEN *et al.*, 1990) nur manganreiche Böden (gesamt-Mn  $\geq 0,1\%$  ?) eine Gefahr für die Douglasie darstellen. Diese Bodeneigenschaft dürfte mehr oder weniger stark vom geologischen Muttergestein beeinflusst sein, nach früheren Darstellungen aber keine besonders große geographische Ausbreitung haben (DELECOUR UND WEISSEN, 1977).

### 3.3 Bodenlösung

Bodenlösungen wurden im Frühjahr 1996 (März) in drei Douglasienbeständen gewonnen (0-10 cm-Schicht), wovon die beiden ersten unter Mangan-Überschuß litten (Werbomont A und B) und der dritte teilweise Mangan-Mangelsymptome zeigte.

Teilresultate der Analysen sind in Tabelle 5 angeführt. Zum Vergleich sind auch Angaben aus den Buchenbeständen „Transinne“ und „Spa“ (Mai 1995) aufgelistet.

Die höchsten Mangan-Gehalte wurden in dem Mischbestand (Douglasie)/Fichte von Werbomont A gemessen, wo nach starkem Absterben nur noch wenige, aber gesunde erscheinende Douglasien stehen. Im Laborversuch wurde festgestellt, daß Douglasien-Individuen der belgischen Provenienz „Cedrogne“ 16 ppm Mn in der Nährlösung vertragen (pH = 4,0; Ca = 4 ppm; Mg = 0,5 ppm; Al = 0,5 ppm). Diese Fakten geben nochmals einen Hinweis auf die mögliche Existenz von Mn-resistenten Provenienzen.

Auch in Werbomont B, wo das regelrechte Absterben erst beginnt, zeigt die Bodenlösung einen außergewöhnlich hohen Mangan-Gehalt. Für die Verhältnisse der Ardennen liegen „normale“ Werte bei mehr oder weniger 1-2 ppm Mn, meistens sogar niedriger. Ergänzend sei bemerkt, daß Buchenblätter etwa 0,17% Mn in Transinne, 0,30% Mn in Spa und nahe 0,40% Mn in Werbomont B aufzeigen. Bei der Douglasie liegen die Mangan-Werte einjähriger Nadeln bei 0,02% Mn in My II, 0,42% Mn in Werbomont B und 0,43% Mn bei der Restpopulation in Werbomont A.

Tab. 5: Ausgelesene Charakteristiken der Bodenlösung unter verschiedenen Baumarten (0-10 cm-Bodenschicht).

Selected characteristics of the soil solution as found below different tree species (0-10 cm soil layer).

<i>Meßwerte</i>	<i>Werbomont</i>		<i>My II</i>	<i>Transinne</i>	<i>Spa</i>
	<i>A</i> <i>(Douglasie)</i> <i>u. Fichte</i>	<i>B</i> <i>Douglasie</i> <i>(Harzfluß)</i>	<i>Douglasie</i> <i>(Vergilbung)</i>	<i>Buche</i>	<i>Buche</i>
pH	4,2	4,2	7,5	4,3	4,3
K (ppm)	2	5	19	3	4
Ca (ppm)	11	9	59	3	4
Mg (ppm)	2	2	35	1,2	0,9
Mn (ppm)	13	7	0,05	0,3	1
Al (ppm)	3	2	0,1	2	1,2

#### 4. **Schlußbemerkung**

Als Gegenmaßnahme darf neben der Selektion oder einem eventuellen Verzicht auf Douglasie auch noch die Kalkung erwähnt werden. Nach den Erfahrungen mit Buche und Fichte wird die Mangan-Aufnahme zwar progressiv geringer, das Gesamt-Mangan häuft sich aber im Oberboden laufend an. Bei nachfolgender Versauerung wird durch erhöhte Zufuhr von verfügbarem Mangan (VAN PRAAG UND WEISSEN, 1986) das Risiko für die Douglasie verstärkt, es sei denn, daß die Kalkung in regelmäßigen Abständen wiederholt wird. Deshalb schlagen wir vor, Risikoböden genauestens zu kennzeichnen und dort nur vorbeugend mit der Kalkung einzugreifen.

## 5. Danksagung

Das Forschungsprogramm wurde finanziert vom nationalen Ministerium für Landwirtschaft und Klein- & Mittelbetriebe sowie vom regionalen wallonischen Ministerium für Umwelt, Naturschätze und Landwirtschaft.

## 6. Literatur

- CLAESSENS, H., THIBAUT, A ET RONDEUX, J. (1996): Le douglas en Belgique. Centre de Recherches et de Promotion Forestières (Ecologie), Gembloux, 142 pages.
- DELECOUR, F. ET WEISSEN, F. (1977): Les sols bruns acides des forêts de L'Ardenne: Définition et amélioration. *Annales de Gembloux*, 83, pp. 27-42.
- HARTMANN, G., NIENHAUS, F. UND BUTIN, H. (1988): Farbatlas Waldschäden. Diagnose von Baumkrankheiten. Eugen Ulmer Verlag Stuttgart, 256 Seiten.
- ULRICH, E. ET BONNEAU, M. (1993): Etat nutritionnel des peuplements du réseau Rencofor: brève synthèse de la première année d'échantillonnage et de l'analyse. La Santé des Forêts (France) en 1993. *Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (DERF – Département de la Santé des Forêts) 1994*, pp. 51-56.
- VAN PRAAG, H. J. AND WEISSEN, F. (1986): Foliar mineral composition, fertilization and dieback of Norway spruce in the Belgian Ardennes. *Tree Physiology*, 1, pp. 169-176.
- WEISSEN, F., HAMBUCKERS, A., VAN PRAAG, H.J. AND REMACLE, J. (1990): A decennial control of N-cycle in the Belgian Ardennes forest ecosystem. *Plant and Soil*, 128, pp. 59-66.

# Die Schadsituation an Douglasie in der nordrhein-westfälischen Eifel

Gerhard Naumann  
Forstamt Bad Münstereifel  
- Untere Forstbehörde Rheinland -  
D-53902 Bad Münstereifel

**Keywords:** Douglas-fir, *Pseudotsuga menziesii*, Eifel,  
North Rhine-Westphalia, health status, provenances

## Summary

Title of the paper: The damage situation affecting Douglas-fir in the North Rhine-Westphalian Eifel.

According to a recent inventory, there stock approximately 1,370 ha Douglas-fir stands in the forests of the North Rhine-Westphalian part of the Eifel mountain range, equivalent to 1.5% of the total forested area, predominantly in up to 60 years old and thus in rather young stands. A little more than 10% of these Douglas-fir stands contain more than one third part of individuals with sparse foliage and frequent efflux of resin, and because of this symptoms they were classified damaged.

In the rain lee-sided areas of the Eifel, even 25% of the Douglas-fir stands are denoted to be damaged. Within those stands a differentiation in damaged and healthy individuals is obvious which cannot be explained by differences of the sites. Diseased trees or stands may become healthier again in the course of years. Hints from the USA support the hypothesis that the genetic variation of the seed materials which we obtain from North America ranges wider than assumed so far. In future we should consider especially for dry, warm sites such provenances differing from those that we have used so far even with the consequence that those with highest growth increment must be given up.

**Schlüsselwörter:** Douglasie, *Pseudotsuga menziesii*, Eifel,  
Nordrhein-Westfalen, Gesundheitszustand, Herkünfte

## Zusammenfassung

In den Wäldern des nordrhein-westfälischen Teils der Eifel stocken nach einer neuen Erhebung etwa 1.370 ha Douglasienbestände, das sind 1,5% des Waldes, stark überwiegend in bis zu 60jährigen, also recht jungen Beständen. Etwas über 10% dieser Douglasienbestände sind mit über einem Drittel der Individuen schütter benadelt, harzen häufig und wurden daher als krank eingestuft.

Im Regenschattengebiet der Eifel werden sogar 25% der Douglasienbestände als krank bezeichnet. Innerhalb der Bestände zeigt sich eine mit Standortunterschieden nicht erklärable Differenzierung in kranke und gesunde Individuen. Kranke Bäume oder Bestände können im Laufe von Jahren auch wieder gesünder werden. Hinweise aus den USA schüren den Verdacht, daß die genetische Streuung des Saatgutes, das wir aus Nordamerika beziehen, weiter ist als bisher vermutet und daß wir für besonders trockene, warme Lagen künftig andere Herkünfte verwenden sollten als bisher, auch wenn damit auf die zuwachskräftigsten verzichtet werden sollte.

---

Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 41/97; 40-45.

## **1. Einleitung**

Der nordrhein-westfälische Teil der Nord- und Ahreifel umfaßt eine Waldfläche von knapp 92.000 ha. In diesem Bereich sind fünf Untere Forstbehörden, ein Bundesforstamt, drei Gemeindeforstämter und zwei private Forstämter mit ihrer ganzen oder mit Teilen ihrer Waldflächen tätig.

Der nachfolgende Bericht fußt auf Kenntnissen aus eigener Anschauung, aber auch wesentlich aus einer Erhebung unter den betroffenen Forstämtern, die im März 1997 speziell zum Zwecke dieser Berichterstattung durchgeführt wurde (ANONYMUS, 1997). Für die bereitwillige Mitarbeit der Kollegen bedanke ich mich sehr. Soweit mir bekannt ist, wurde die Douglasienfläche der nordrhein-westfälischen (NRW-)Eifel hiermit erstmalig erfaßt und zwar unabhängig von der Waldbesitzart. Die Angaben der beteiligten Forstämter sind im wesentlichen aus Forsteinrichtungen zusammengestellt und im übrigen Schätzungen auf Forstbetriebsbezirksebene. Die Zahlenangaben der Forsteinrichtungswerke sind nicht immer auf dem neuesten Stand. Gerade in den Jahren nach dem Sturm 1990 sind viele Douglasienkulturen angelegt worden; die Einschätzung des Umfangs dieser besonders jungen Bestände ist recht unsicher. Zudem sind oft Mischkulturen angelegt worden, deren Erfassung hinsichtlich des Douglasienanteils schwieriger ist. Die Ergebnisse über das Douglasienvorkommen dürften daher eher nach oben als nach unten zu korrigieren sein.

## **2. Umfang des Douglasienvorkommens und Anteil an kranken Beständen**

Die Erhebung erfaßte 1.374 ha Douglasienfläche in der NRW-Eifel, das sind 1,5% Flächenanteil am Wald. Die bis zu 30jährigen Bestände nehmen alleine 50% der Douglasienfläche ein, die 31-60jährigen Bestände 46%. Mittelalte und ältere Douglasienbestände über 60 Jahre sind nur mit 61 ha oder 4% der Douglasienfläche vorhanden.

Wenn wir uns heute mit dem Krankheitsbild der Douglasie beschäftigen, dann dürfen wir nicht vergessen, daß wir gar nicht genug mittelalte und ältere Bestände über 60 Jahre haben, um uns ein sicheres Urteil darüber zu erlauben, wie sich die Schadbildentwicklung in diesem Alter der Douglasie darstellt. Produktionsziel ist, möglichst alle Bestände im gesunden Zustand und mit hohem Zuwachsniveau bis zum Zieldurchmesser durchzupflegen - und dieser ist sicher nicht vor dem 80. Lebensjahr, eher sehr viel später zu erreichen, wenn man an Wertholzproduktion denkt.

Bei der Erhebung des Umfanges der kranken Douglasienfläche wurde folgende Definition zugrundegelegt: „*Mit kranker Douglasienfläche wird folgendes Schadbild beschrieben: Mindestens ein Drittel der Individuen im Bestand sind schütter benadelt, oft harzen die Bäume ohne Beschädigung von außen*“. Diese Definition hebt auf den wirtschaftlichen Schaden ab und unterstellt, daß sich Douglasienbestände mit weniger als einem Drittel an kranken Individuen im Rahmen von Durchforstungseingriffen gesund pflegen lassen. Diese Unterstellung wird mit Recht in Zweifel gezogen, zumal auch dann ein wirtschaftlicher Schaden entsteht, wenn bisherige Z-Bäume - meist geastet - schütter werden, im Zuwachs vermutlich nachlassen und vorzeitig entnommen werden müssen. Die gewählte Definition eines kranken Douglasienbestandes ist sicher sehr scharf geraten. Es dürften folglich viele Bestände mit weniger als einem Drittel der Individuen krank noch als gesund eingestuft worden sein, in denen trotzdem noch viele wichtige Individuen krank sind, so daß ein erheblicher wirtschaftlicher Schaden vorhanden sein dürfte.

Als ein Ergebnis der Erhebung ist festzuhalten, daß 146 ha Fläche, das sind 10,6% der Douglasienfläche allen Alters, bei der gewählten scharfen Definition als krank angesehen wurden. Die Verteilung auf die Altersspannen ergab, daß die bis zu 30jährigen nur zu 6%, die 31-60jährigen aber zu 15% und die über 60jährigen zu 10% als krank eingeschätzt wurden. Der Schwerpunkt des Krankheitsbildes ist also in der 2. Altersspanne zu finden.

Betrachtet man die räumliche Verteilung der kranken Bestände, so findet man 86% davon im Regenschattengebiet der Nord- und Ahreifel in den Forstämtern Bonn, Bad Münstereifel und auf den mittleren Buntsandstein-Standorten des Forstamtes Arenberg.

In diesem Bereich sind 25% der Douglasienbestände als krank bezeichnet worden. Gerade im Regenschattengebiet der NRW-Eifel mit Jahresniederschlägen von 550-650 mm und regelmäßiger Wiederkehr von Dürrejahren mit 300-350 mm Jahresniederschlag und Jahresdurchschnittstemperaturen zwischen 8°C und 9°C mit erhöhter Verdunstungsrate wurde und wird die Douglasie vielfach als Ersatz für die ausfallende Fichte gepflanzt, und gerade hier ist sie auch offensichtlich am stärksten geschädigt.

### **3. Das Schadbild und Interpretationshinweise**

Daß Douglasien nach Nadelvergilbung und -abfall schütter werden können, sich manchmal jahrelang mit nur einem oder zwei Nadeljahrgängen am Leben halten und oft auffällig stark harzen, ohne daß Fällungs- oder andere äußere Schädigungen erkennbar vorliegen, ist seit langem, mindestens seit 20 Jahren bekannt. Viele Bestände, die vor längerer Zeit als nicht mehr lebensfähig eingestuft wurden, leben nach wie vor und sehen heute gesünder aus als früher. In anderen Beständen ist die Erkrankung offenbar fortgeschritten. Wir finden innerhalb des Regenschattengebietes der Eifel offensichtlich gesunde Bestände mit hoher Zuwachsleistung, und wir finden auch in höheren Berglagen mit höheren Niederschlägen kranke Bestände. Es gibt auch offensichtlich gesunde Bestände mit einzelnen kranken Bäumen, manchmal auch in Gruppen gehäuft, ohne daß erkennbare Standortunterschiede dafür verantwortlich gemacht werden könnten. Auch gibt es offensichtlich durch Hallimaschbefall verursachte vorzeitige Ausfälle im Kulturstadium, die jedoch nur punktuell den Bestand gefährden.

Parallelen zu den immissionsbedingten Waldschäden drängten sich auf. 1984/85 wurde das Krankheitsbild der Douglasie im Raum Gemünd/Schleiden als „Neuartiger Schaden“ im Rahmen von Diplomarbeiten an der Forstlichen Fakultät in Göttingen beschrieben und Zusammenhänge zwischen Standort, Immissionsbelastung und Schadbild untersucht (PANKERT, 1984; MEYER, 1985). Dabei wurden biotisch bedingte Schäden ausgeschlossen und Mangan-Überschuß als wesentliche Ursache vermutet.

Wie wir auch aus z.T. eigenen Herkunftsversuchen wissen, spielt gerade bei der Douglasie die Herkunftsfrage eine große Rolle. Dennoch wäre es nach meiner Einschätzung leichtfertig, aufgrund des örtlichen okularen Befundes in den NRW-Eifel-Beständen einen monokausalen Zusammenhang zwischen dem Krankheitsbild und der Herkunft des Saat- oder Pflanzgutes feststellen zu wollen. Die Beobachtung, daß es auch in offensichtlich gesunden und wüchsigen Beständen oft kranke Individuen gibt, läßt die Frage aufkommen, ob es sein kann, daß ein Gengemisch oder gar Herkunftsgemisch vorliegt, wenn die Erbveranlagung etwa eine dominierende Rolle als Auslöser des Krankheitsbildes spielen sollte. Hierzu gibt es einen m.E. sehr wichtigen Hinweis von Kennern der Douglasienvorkommen in den USA und in British Columbia: nämlich daß das in Deutschland vorgefundene Krankheitsbild auch in der Heimat der Douglasie vorkommt, daß es auch dort offensichtlich gesunde und zuwachskräftige natürliche und künstliche Douglasienbestände mit eingestreuten kranken Individuen gibt und daß es in den zugelassenen Douglasien-Saatgutgewinnungsgebieten in den USA neben gesunden gutwüchsigen auch kranke und kränkelnde Bestände gibt, von denen es im übrigen leichter und gewinnbringender ist, Saatgut zu gewinnen. Ist also zu vermuten, daß das Saatgut aus den USA und Canada doch ein stärkeres Gengemisch ist als wir bisher wußten, selbst wenn dies nur in den zugelassenen Erntegebieten besorgt wurde? Und ist nicht der Befund, daß unsere Douglasienbestände auf armen trockenen mittleren Buntsandstein und im Regenschattengebiet der Nordeifel stärker und häufiger geschädigt sind als im höheren Bergland, ein Hinweis darauf, daß wir für diesen Standort andere Herkünfte einsetzen müssen als die zuwachskräftigsten nordamerikanischen aus Gebieten mit anderem Klima?

Jedenfalls steht für mich fest, daß der Schaden in unseren Douglasienbeständen schon beachtlich ist, daß dieser Schaden womöglich hätte verhindert oder vermindert werden können, wenn man über genauere Kenntnisse der Schadursachen gewußt hätte, und daß es höchste Zeit wird, sich dieses Themas mit ernsthaftem Einsatz wissenschaftlich zu widmen.

#### 4. Literatur

ANONYMUS (1997): Erhebungen über Douglasienvorkommen und -schäden in der NRW-Eifel. Forstamt Bad Münstereifel.

MEYER, M. (1985): Bodenversauerung und Mangan-Überschuß. Untersuchungen in Douglasienbeständen über Buntsandstein in der Nordeifel. Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen, 82 Seiten.

PANKERT, CH. (1984): Untersuchungen über neuartige Schäden in Douglasienbeständen im Raum Gemünd/Eifel. Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Georg-August-Universität Göttingen, 52 Seiten mit Anhang.

# Schadsituation der Douglasie in Rheinland-Pfalz

- Symptome und Ausmaß der Erkrankung, bisherige Untersuchungen -

Joachim Block  
Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz  
Abt. Waldschutz  
D-67705 Trippstadt

**Keywords:** Douglas-fir, *Pseudotsuga menziesii*, manganese, needle analyses, fertilization, liming

## Summary

Title of the paper: The damage situation of Douglas-fir in Rhineland-Palatinate – Symptoms and extent of the disease, previous investigations -.

Since the middle of the sixties, a disease affecting Douglas-fir is observed in Rhineland-Palatinate which is most apparently not caused by animals, needle and root fungi or different organisms. Extensive needle and soil analyses indicate manganese surplus to be the origin of this disease. In most of the analyzed affected Douglas-fir stands, excessively high amounts of manganese were found both in the soil and in the needles. Diseased trees mostly showed higher manganese contents than trees which were found to be still free of symptoms. Frequently high manganese contents were associated with very low contents of phosphorus and magnesium in the needles - also on the sites where the levels of these elements in the soil seem to be satisfactory. An obstruction of the phosphorus and magnesium uptake in the presence of high manganese levels in the soil is indicated by this fact. On the other hand, the results obtained from needle analyses do not point out a deficiency of trace elements to be the cause of the disease.

The fertilization tests performed so far did not bring about a significant reduction in the uptake of manganese in the needles and the elimination of the damage symptoms.

**Schlüsselwörter:** Douglasie, *Pseudotsuga menziesii*, Mangan, Nadelanalysen, Düngung, Kalkung

## Zusammenfassung

Seit Mitte der 60er Jahre wird in Rheinland-Pfalz eine Douglasienkrankung beobachtet, die offensichtlich nicht durch Tiere, Nadel- und Wurzelpilze oder andere Organismen verursacht wird. Umfangreiche Nadel- und Bodenanalysen weisen auf Manganüberschuß als Erkrankungsursache hin. In der Mehrzahl der untersuchten, erkrankten Douglasienbestände wurden sowohl im Boden als auch in den Nadeln exzessiv hohe Mangangehalte gefunden. Dabei wiesen erkrankte Bäume meist höhere Mangangehalte auf als noch symptomfreie Bäume. Häufig waren hohe Mangangehalte mit sehr niedrigen Nadelgehalten an Phosphor und Magnesium verbunden – auch auf Standorten, an denen die Gehalte dieser Elemente im Boden ausreichend erscheinen. Dies deutet auf eine Behinderung der Phosphor- und Magnesiumaufnahme bei hohen Mangangehalten im Boden hin. Demgegenüber geben die Befunde der Nadelanalysen keine Hinweise auf einen Spurenelementmangel als Erkrankungsursache.

In Düngungsversuchen ist es bislang nicht gelungen, die Manganaufnahme in die Nadeln entscheidend zu reduzieren und die Schadsymptome zu beseitigen.

## 1. Einführung und Befunde älterer Untersuchungen

Erste Hinweise auf nicht durch herkömmliche Schaderreger verursachte Schäden in Douglasienbeständen in Rheinland-Pfalz liegen aus dem Jahr 1964 für das Forstamt Saarburg-Ost vor. Dort wurden in einem ca. 30-jährigen Douglasienbestand starker Nadelverlust und Harzfluß auch an ungeasteten herrschenden und vorherrschenden Bäumen beobachtet. Untersuchungen von Stammabschnitten im Institut für Holzkunde und Holznutzung der Universität München (Prof. Dr. von PECHMANN) ergaben keine Hinweise auf Pilzbefall, aber „eine von der Norm stark abweichende Entwicklung der letzten sechs bis sieben Jahresringe“.

Im Frühjahr 1971 bereiste Dr. SCHÖNHAR von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg erkrankte Douglasienbestände ebenfalls im Forstamt Saarburg-Ost. Die ca. 40-jährigen Douglasien zeigten eine auffallend schütterere Benadelung sowie bereits einzelne Ausfälle. Weder an den Trieben noch an den Ästen oder am Stamm wurden tierische Schädlinge oder pflanzliche Parasiten gefunden. Dagegen zeigten die untersuchten Feinwurzeln eine Infektion durch *Cylindrocarpon radicola*. Dieser Pilz wurde allerdings als Sekundärparasit eingewertet, der nur geschwächte Wurzeln befällt. Als Primärursache wurde eine Schwächung der Douglasienwurzeln durch Sauerstoffmangel auf dem betroffenen tonhaltigen Lehmboden aus Tonschiefer angenommen (SCHÖNHAR 1971).

Bei einer Bereisung dieser Bestände durch die Waldbau- und Forsteinrichtungsreferenten des Ministeriums und der Forstdirektion Koblenz im November 1971 wurde allerdings angesichts der Bodeneigenschaften in einem besichtigten Bodeneinschlag ausgeführt, daß Bodenverdichtungen als Ursache für die Wurzelfäule kaum in Betracht kämen. Bereits anläßlich dieser Bereisung wurde angeregt, mit Hilfe von Absaaten aus den Schadbeständen zu prüfen, ob es sich bei den Schadflächen um Anbauten der grauen Douglasie handele.

Ende der 70er und Anfang der 80er Jahre häuften sich dann Meldungen rheinland-pfälzischer Forstämter zu unerklärlichen Schäden in Douglasienbeständen.

Im Herbst 1978/Frühjahr 1979 wurden von der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (Dr. KÖNIG) Rindenpartien aus dem Bereich der Rindenrisse und Nekrosen sowie Wurzelstöcke erkrankter Douglasien aus dem Forstamt Mayen untersucht. Die mykologischen Untersuchungen ergaben nur einen sekundären

Befall durch saprophytische Pilze, welche am Absterben der Rindenpartien nicht beteiligt waren. Vermutet wurde eine „abiotische“ Erkrankungsursache. Die Untersuchung der Wurzelstöcke ergab, daß weder Hallimaschbefall noch Befall durch *Fomes annosus* vorlag.

In den Jahren 1979 bis 1983 wurden wiederholt erkrankte Douglasienbestände in den Forstämtern Saarburg-Ost, Daun-Ost, Adenau und Nastätten durch Dr. SCHÖNHAR bereist und Probenmaterial aus diesen Forstämtern untersucht. Dabei wurden die gleichen Schadphänomene wie bei den vorangegangenen Bereisungen beobachtet (fortschreitender Nadelverlust, starker Harzfluß, einzelbaumweise Ausfälle), ohne daß Anzeichen einer Verursachung durch pilzliche Parasiten oder tierische Schädlinge festzustellen waren. Als Schadursachen wurden „ungünstige Bodenfaktoren“ und darüber hinaus „zu dichter Stand in der Jugend“ vermutet.

Auch Untersuchungen von Dr. HARTMANN, Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, an Douglasien im Forstamt Adenau im Jahr 1986 ergaben keine Hinweise auf Nadelpilze oder Hallimaschbefall als Schadursache.

Untersuchungen an Nadel-, Boden- und Wurzelproben erkrankter Douglasienbestände aus dem Forstamt Adenau durch das Institut für Pflanzenkrankheiten der Universität Bonn (Prof. Dr. NIENHAUS) im Jahr 1986 konnten weder Viren oder ähnliche Erreger noch parasitische Nematoden nachweisen. Auch Isolierungsversuche von Pilzen an Nadeln verliefen negativ. Biotische Ursachen der Schäden an den untersuchten Bäumen wurden daher ausgeschlossen.

Erste Hinweise auf Manganüberschuß als Ursache der beobachteten Douglasienschäden gab eine am Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen durchgeführte Diplomarbeit über Douglasienschäden in der Nordeifel (MEYER 1985). Bei einer vorausgegangenen forstpathologisch-beschreibenden Diplomarbeit am Institut für Forstpflanzenkrankheiten der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Hann. Münden, wurden in den untersuchten Beständen biotische Ursachen weitgehend ausgeschlossen und Immissionseinwirkungen als Schadursache vermutet (PANKERT 1984). MEYER (1985) fand in den untersuchten erkrankten Douglasienbeständen außergewöhnlich hohe Mangankonzentrationen in der Gleichgewichtsbodenlösung, am Austauscherkomplex und in den Nadeln. Aus diesen Befunden leitete er die Hypothese ab, daß der Säureinput aus der Atmosphäre Pufferreaktionen

von Protonen mit Mangan-Mischoxiden auslöst, die zu toxischen Konzentrationen von  $Mn^{++}$  in der Bodenlösung führen. In den Nadeln werden die aufgenommenen, überschüssigen Manganionen dann deponiert, was möglicherweise zu einer Verringerung der Assimilationsleistung sowie einer Störung im Wasser- und Stoffhaushalt der Bäume führen könne. Als Abhilfemaßnahme schlug er eine Kalkung mit 2 Tonnen Mg-haltigem Kalkmergel vor.

Erste orientierende Analysen von Nadeln erkrankter Douglasien aus dem Forstamt Adenau im Jahr 1985 durch die Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Speyer im Auftrag des Forstamtes Adenau und im Jahr 1986 durch die Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt erbrachten sehr hohe Mangangehalte von bis zu 11.000 ppm im zweiten Nadeljahrgang und deuteten daraufhin, daß Manganüberschuß möglicherweise auch in Rheinland-Pfalz eine wesentliche Schadensursache sein könnte. Gestützt wurde diese Annahme durch Beobachtungen und Analysen durch Dr. SCHÖNE im Forstamt Wittlich-West. Aus den Befunden von Nadelanalysen und einfachen Versuchen einer Eisenchelatbehandlung abgeschnittener Douglasienzweige folgerte er, daß wahrscheinlich ein durch Manganüberschuß bewirkter Eisenmangel die im Forstamt Wittlich-West und in ganz Südwestdeutschland verbreitete Douglasienerkrankung verursache (SCHÖNE 1987).

Im Jahr 1986 begann die neu gegründete Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz mit umfassenden Untersuchungen zu der immer bedrohlicher erscheinenden Douglasienerkrankung. Über landesweite Erhebungen zum Auftreten, Art und Ausmaß der Schadsymptome, der betroffenen Standorte und über umfangreiche Boden- und Nadelanalysen sowie eingehende diagnostische Düngungsversuche sollte insbesondere die von MEYER (1985) und SCHÖNE (1987) formulierte Hypothese einer durch Manganüberschuß induzierten Erkrankung geprüft werden.

## 2. Symptome der Douglasienerkrankung in Rheinland-Pfalz

Nach den in Kapitel 1 aufgeführten älteren Beobachtungen, den Angaben der Forstämter anlässlich einer landesweiten Umfrage (vgl. Kap. 3) und den hiesigen Erfahrungen (vgl. ZOTH 1990) treten an den erkrankten Bäumen Nadelverfärbungen, Kronenverlichtungen, Harzfluß, Triebstauchungen und z.T. auch Wuchsanomalien auf. Die Nadelverfärbungen zeigten sich insbesondere in Form von Vergilbungen der älteren Nadeln, die an der Nadelspitze beginnen und dann zur Nadelbasis fortschreiten. Die lichtexponierten Nadeloberseiten sind in der Regel stärker betroffen als die lichtabgewandten Nadelunterseiten. Später färben sich die vergilbten Nadeln braun und fallen ab. Die Vergilbungen und Kronenverlichtungen beginnen im unteren Kroneninneren und breiten sich dann zur Kronenperipherie aus. In vielen Fällen zeigen bereits in einem frühen Erkrankungsstadium bei häufig noch weitgehend voller Benadelung die jüngsten Nadeljahrgänge weißgelbe Ausbleichungen, die Symptomen einer Eisenmangelchlorose ähneln. Ältere Nadeljahrgänge erscheinen in dieser Phase häufig auffallend dunkelgrün bis violettbraun überlaufen.

Ein besonders auffälliges Schadmerkmal ist starker Harzfluß am Stamm insbesondere am Kronenansatz, häufig aber auch über den gesamten Stammbereich hinweg. An vielen Bäumen treten auf der Unterseite starker Kronenäste große, in der Regel aber überwallte Längsrisse verbunden mit starkem Harzfluß auf.

In fortgeschrittenem Stadium stellen sich an einigen Bäumen Wuchsdeformationen in Form von auffälligen Triebstauchungen und büscheligen Ersatztriebbildungen bis hin zur Ausbildung von Hexenbesen ein.

Die beobachteten Schadsymptome deuten auf Mangel an unterschiedlichen Mineralstoffen (Magnesium, Eisen, Phosphor) hin (vgl. SEIBT 1971, BAULE 1978, BERGMANN 1988). Messungen der Terminaltrieblängen in drei erkrankten Beständen im Forstamt Adenau zeigten, daß erkrankte Bäume bis 1982/83 gleiches, z.T. auch merklich besseres Höhenwachstum aufwiesen als symptomfreie Bäume und ab 1983/84 im Wachstum stark nachließen und dann unterlegen waren (ZOTH 1990).

Nach den Befunden einer von DELB (1989) durchgeführten luftbildgestützten Schadinventur im Bereich der Hohen Acht (Forstämter Adenau und Mayen) treten die

Schäden in den Beständen einzelstamm- bis truppweise, vereinzelt auch nesterweise auf. Ein Zusammenhang zwischen Standortseinheit und Schadverteilung wurde nicht beobachtet.

Symptombefallene Bäume können sich offensichtlich sowohl wieder erholen als auch innerhalb weniger Jahre absterben.

Stark erkrankte Bestände verlichten. Die Schäden scheinen nach Beobachtungen in einem Untersuchungsbestand im Forstamt Adenau in Schüben voranzuschreiten.

### **3. Schadausmaß und Standortabhängigkeit der Douglassienerkrankung**

Im Jahr 1987 wurden mit Unterstützung der Forstdirektionen alle Forstämter des Landes zur Douglassienerkrankung befragt. Die Befragung bezog sich auf das Ausmaß der betroffenen Douglasienfläche, die auftretenden Symptome, den Zeitpunkt des ersten Beobachtens der Erkrankung, die Verteilung der Schadbäume im Bestand, die betroffenen Alters- und Ertragsklassen, die betroffenen Herkünfte und die betroffenen Standorte.

Angegeben wurden Schäden auf 1.320 Hektar, das sind etwa 5 % der Douglasienfläche in Rheinland-Pfalz. Douglassienschäden wurden aus ganz Rheinland-Pfalz gemeldet. Besonders große Schadflächen wurden in den Forstämtern Adenau, Ahrweiler, Cochem, Bernkastel, Wittlich-Ost, Elmstein-Süd, Hinterweidenthal-Ost, Hochspeyer und Otterberg festgestellt. In der Mehrzahl der Forstämter wurde die Erkrankung erstmalig Anfang der 80er Jahre beobachtet. Die Erkrankung tritt offensichtlich unabhängig von der Ertragsklasse, hauptsächlich einzelstamm- bis horstweise in Beständen der Altersklassen I bis III auf. Erkrankte Bestände sind in allen Höhenstufen und Expositionen anzutreffen, mit einer Häufung in süd- und westexponierten Hanglagen. Die erkrankten Bestände stocken auf sehr unterschiedlichen Substraten von Rankern aus Quarzit bis hin zu tiefgründigen Braunerden aus Basalt. Besonders häufig sind geschädigte Bestände auf devonischen Grauwacken und Tonschiefern, Unterem und Oberem Rotliegendem und Mittlerem Buntsandstein anzutreffen. Die von der Intensität

her gravierendsten Schäden treten offensichtlich auf devonischen Grauwacken und Tonschiefern sowie auf Oberem Rotliegenden auf.

Die Angaben über die betroffenen Herkünfte waren leider so lückenhaft, daß hieraus keine Schlußfolgerungen abzuleiten waren.

Wie sich das Schadausmaß seit 1987 entwickelt hat, läßt sich nicht konkret angeben. Bei den jährlichen Forstschutzmeldungen der Forstämter werden offensichtlich nur besonders auffällige oder neue Schadfälle angegeben. Hohe Schadflächen wurden in den letzten Jahren von den Forstämtern Wittlich (100 ha), Otterberg (60 ha) und Winnweiler (50 ha) gemeldet. In diesen Forstamtsbereichen ist das Schadausmaß offensichtlich angestiegen.

#### **4. Befunde von Nadel- und Bodenanalysen**

Aus den Meldungen der Forstämter wurden eine Reihe von Douglasienbeständen für eingehende Nadel- und Bodenanalysen ausgewählt. Über diese Analysen sollte geprüft werden, ob Beziehungen zwischen bodenchemischen und nadelanalytischen Merkmalen und der Schadausprägung bestehen. In die Untersuchung wurden sowohl erkrankte Bestände auf allen für den Douglasienanbau in Rheinland-Pfalz bedeutsamen Standorten als auch zum Vergleich einige symptomfreie Bestände einbezogen. In den erkrankten Beständen erfolgten die Untersuchungen sowohl an symptomfreien als auch an erkrankten Bäumen. Eine differenzierte Beschreibung der Auswahlkriterien, der Bestandes- und Standortparameter der Untersuchungsbestände und der Probenahme- und Analysemethoden enthält ZOTH (1990).

Der auffälligste Befund der Nadelanalysen sind die verbreitet sehr hohen Mangangehalte, die z. T. sehr deutlich über den in der Literatur beschriebenen Werten liegen (vgl. z.B. VAN DEN BURG 1985). Auch in symptomfreien Beständen wurden Mangangehalte von bis zu 7.000 ppm im 1. und bis zu 8.800 ppm im 3. Nadeljahrgang gemessen. In erkrankten Douglasien reichen die Mangangehalte bis zu 17.400 ppm im

3. Nadeljahrgang einer erkrankten Douglasie im Forstamt Rengsdorf. In der Regel sind die Mangangehalte im 3. Nadeljahrgang deutlich höher als im 1. Nadeljahrgang. Dies deutet daraufhin, daß die älteren Nadeln als Depot und möglicherweise auch zur Entsorgung von überschüssigem Mangan benützt werden:

In erkrankten Beständen sind zumeist höhere Mangangehalte anzutreffen als in symptomfreien Beständen auf ähnlichem Standort des gleichen Forstamtsbereichs. Innerhalb der erkrankten Bestände weisen erkrankte Bäume meist höhere Mangangehalte auf als symptomfreie Bäume (Abb. 1).

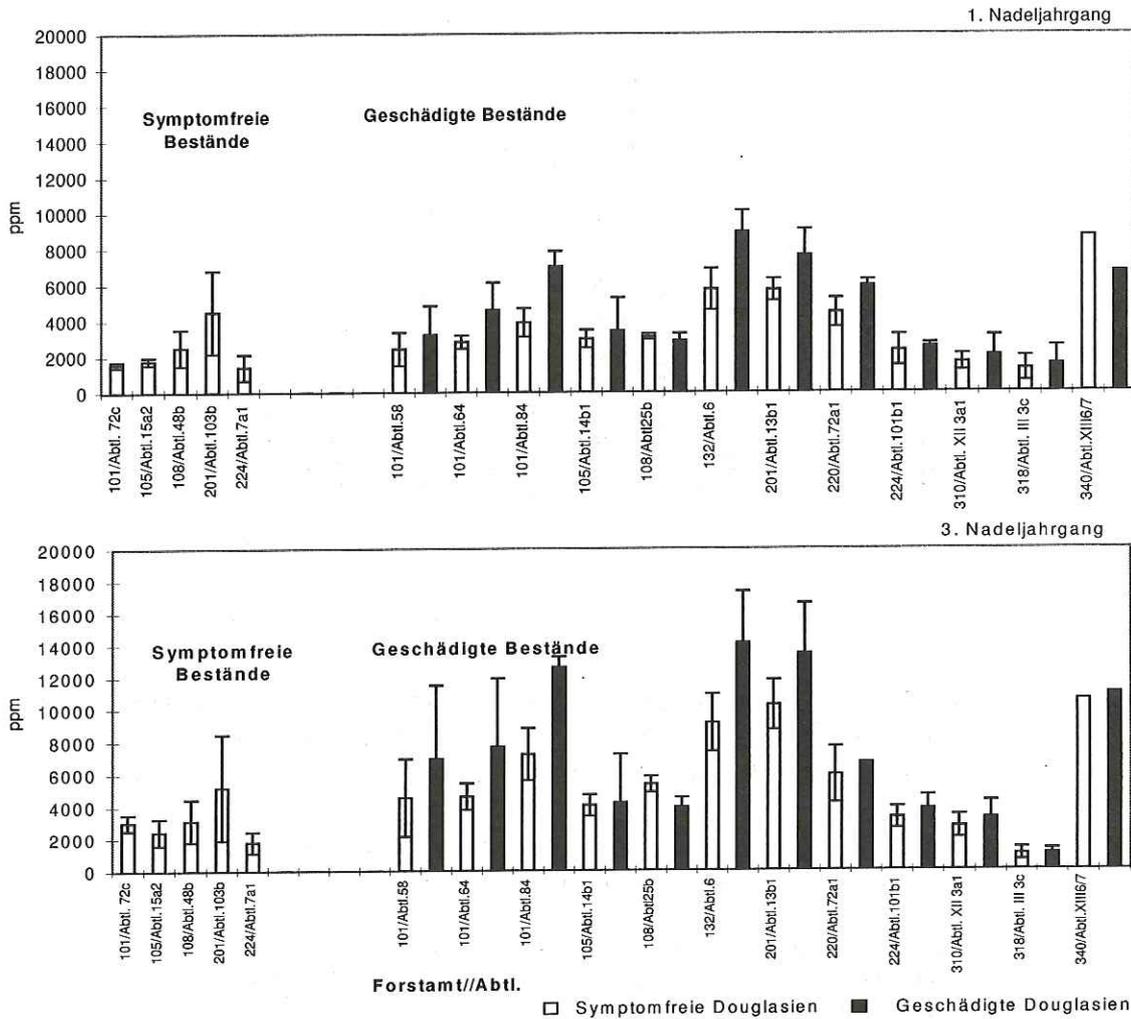


Abb. 1: Mangangehalte in den Nadeln des 1. und 3. Nadeljahrgangs symptomfreier und geschädigter Douglasien in symptomfreien und geschädigten Beständen (arithm. Mittelwerte und Standardabweichungen von 3 bis 6 Proben je Standort).

Manganese contents as found in the current and in the third year needles of symptom-free and damaged Douglas-firs in symptom-free and damaged stands (arithmetic means and standard deviation of 3 to 6 samples per stand).

101: Adenau	108: Cochem	201: Bernkastel	224: Wittlich-West	318: Hochspeyer
105: Bad Münster	132: Rengsdorf	220: Saarburg-Ost	311: Elmstein-Süd	340: Winnweiler

Hohe Mangangehalte in den Douglasiennadeln korrespondieren in der Regel mit hohen Mangangehalten in der Humusauflage und im Mineralboden. So wurden in den drei Beständen mit den höchsten Mangangehalten in den Nadeln (101-Abt. 84, 132-Abt. 6, 201-Abt. 13) im Humus Mangangehalte bis zu 13.300 ppm (HNO<sub>3</sub>-Druckaufschluß), austauschbare Mangangehalte im obersten Mineralboden von bis zu 12 µmol<sub>c</sub>/g Boden (NH<sub>4</sub>Cl-Perkolations), entsprechend 18 % der effektiven Kationenaustauschkapazität (Abb. 2), und Gehalte an leicht reduzierbarem Mangan (Methode SHERMAN) von bis zu 1000 mg/kg Boden gefunden.

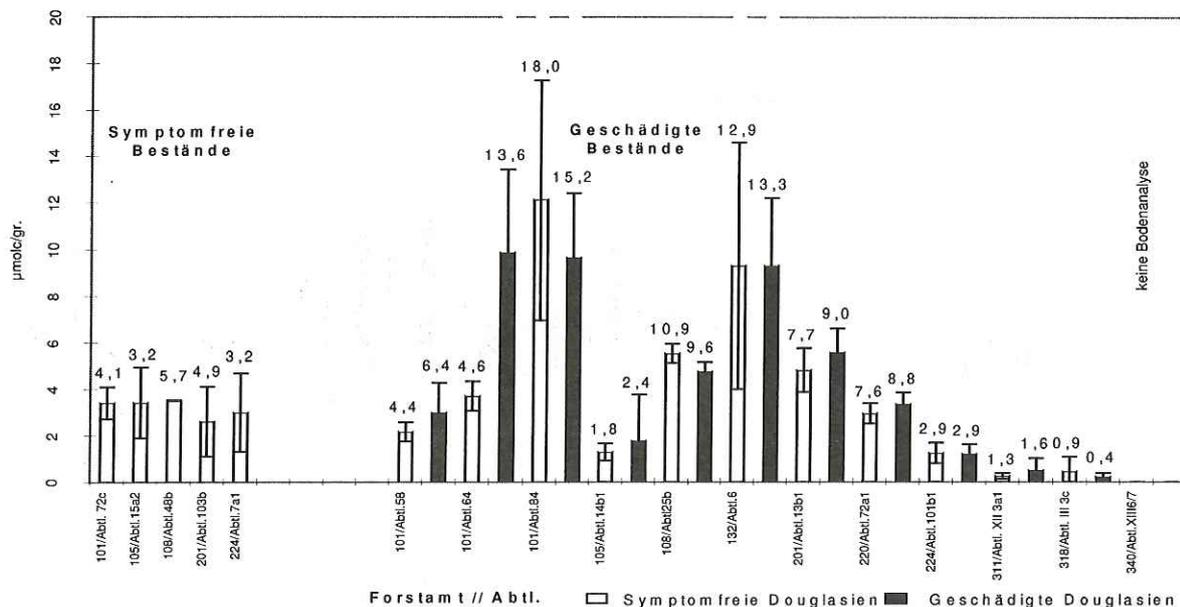


Abb. 2: Austauschbare Mangangehalte im Oberboden (Ah-Horizont oder Mineralbodentiefenbereich 0-20 cm) symptomfreier und geschädigter Douglasienbestände (arithm. Mittelwerte und Standardabweichungen von 3 bis 6 Proben je Standort).

Die Zahlen über den Säulen geben den prozentualen Anteil von Manganionen an der effektiven Kationenaustauschkapazität an.

Exchangeable manganese contents as found in the top soil (Ah horizon or mineral soil depth 0-20 cm) of symptom-free and damaged Douglas-fir stands (arithmetic means and standard deviation of 3 to 6 samples per plot).

The figures given above the columns indicate the portion of the effective cation exchange capacity for manganese ions (in %).

101: Adenau	108: Cochem	201: Bernkastel	224: Wittlich-West	318: Hochspeyer
105: Bad Münster	132: Rengsdorf	220: Saarburg-Ost	311: Elmstein-Süd	340: Winnweiler

Die vergleichsweise geringen Mangangehalte in symptomfreien und geschädigten Bäumen am Standort Hochspeyer (318-Abt. III) stehen im Einklang mit nur geringen Mangangehalten im Humus (283 bis 566 ppm) und im Mineralboden (austauschbare

Mangangehalte < 1% der AKe, leicht reduzierbares Mangan < 10 mg/kg). Hier dürfte Manganüberschuß als entscheidende Schadursache auszuschließen sein (siehe Kap. 5). Auffällig sind neben den hohen Mangangehalten die verbreitet sehr geringen Phosphorgehalte in den erkrankten Douglasienbeständen. Sie liegen mit Werten zwischen 0,07 und 0,12% im 1. Nadeljahrgang und zwischen 0,04 und 0,11% im 3. Nadeljahrgang meist deutlich unterhalb des von BERGMANN (1988) für Douglasie angenommenen Bereichs „ausreichender“ Phosphorgehalte (0,12 bis 0,30%). In den symptomfreien Beständen sind die Phosphorgehalte meist etwas höher als in den erkrankten Beständen und dort in den erkrankten Bäumen häufig tendenziell höher als in den symptomfreien (Abb. 3).

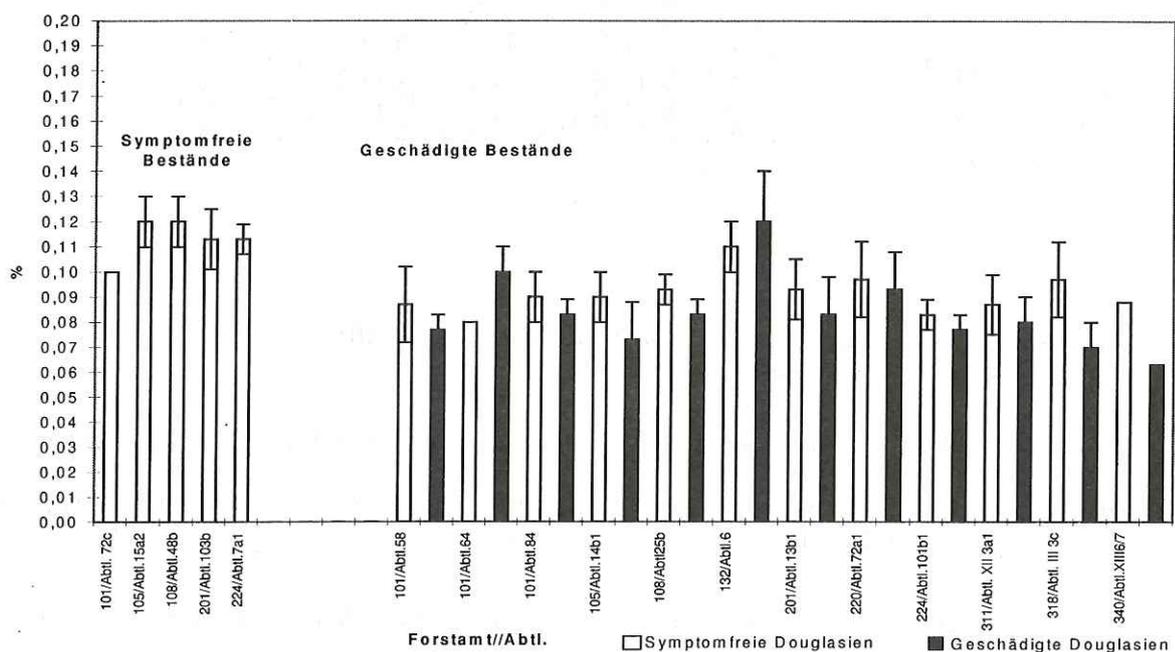


Abb. 3: Phosphorgehalte in den Nadeln des ersten Nadeljahrgangs symptomfreier und geschädigter Douglasien in symptomfreien und geschädigten Beständen.

Phosphorus contents as found in the current-year needles of symptom-free and damaged Douglas-firs in symptom-free and damaged Douglas-fir stands.

101: Adenau	108: Cochem	201: Bernkastel	224: Wittlich-West	318: Hochspeyer
105: Bad Münster	132: Rengsdorf	220: Saarburg-Ost	311: Elmstein-Süd	340: Winnweiler

Auffällig niedrige Phosphorgehalte in den Nadeln sind sowohl auf Standorten mit niedrigen Phosphorgehalten im Boden zu finden (z.B. Flächen 318-Abt. III und 310-Abt. XII auf Mittlerem Buntsandstein, Fläche 220-Abt. 72 auf Decklehm und 105-Abt. 14 auf Rhyolith) als auch auf Standorten mit vergleichsweise hohen Phosphorgehalten

im Boden (z.B. Flächen 101-Abt. 58, 101-Abt. 84 und 108-Abt. 25 auf Grauwacke/Tonschiefer sowie Fläche 210-Abt. 13 auf Terrassenschottern der Mosel) (vgl. Abb. 3 mit Abb. 4). Bei den letzteren Beständen ist die schwache Phosphorversorgung der Bäume aus dem Phosphorgehalt im Boden nicht erklärbar.

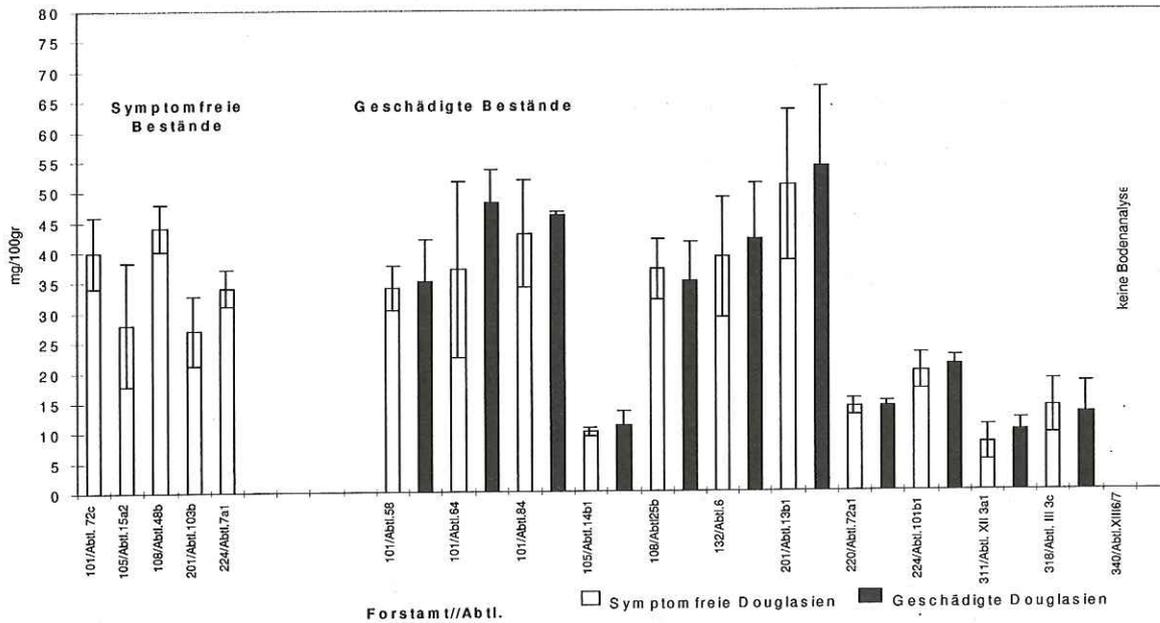


Abb. 4: Phosphorgehalte im Oberboden symptomfreier und geschädigter Douglasienbestände.

Phosphorus contents as found in the top soil of symptom-free and damaged Douglas-fir stands.

101: Adenau	108: Cochem	201: Bernkastel	224: Wittlich-West	318: Hochspeyer
105: Bad Münster	132: Rengsdorf	220: Saarburg-Ost	311: Elmstein-Süd	340: Winnweiler

Ausgesprochen niedrig sind auch die Magnesiumgehalte in den erkrankten Douglasienbeständen. Mit Werten zwischen 550 und 1.300 ppm Magnesium im 1. und 340 bis 1.300 ppm im 3. Nadeljahrgang liegen die Gehalte zumeist deutlich unter den von BERGMANN (1988) für Douglasie als ausreichend erachteten Werten (1.000 bis 2.500 ppm). In den nicht erkrankten Vergleichsbeständen lagen die Magnesiumgehalte meist merklich über den Befunden aus den erkrankten Untersuchungsbeständen (Abb. 5). Innerhalb der erkrankten Bestände unterscheiden sich erkrankte und symptomfreie Bäume in ihrem Magnesiumgehalt dagegen kaum. Geringe Magnesiumgehalte in den Nadeln sind auf Standorten mit sehr unterschiedlichem Magnesiumgehalt im Boden zu beobachten (vgl. Abb. 5 mit Abb. 6).

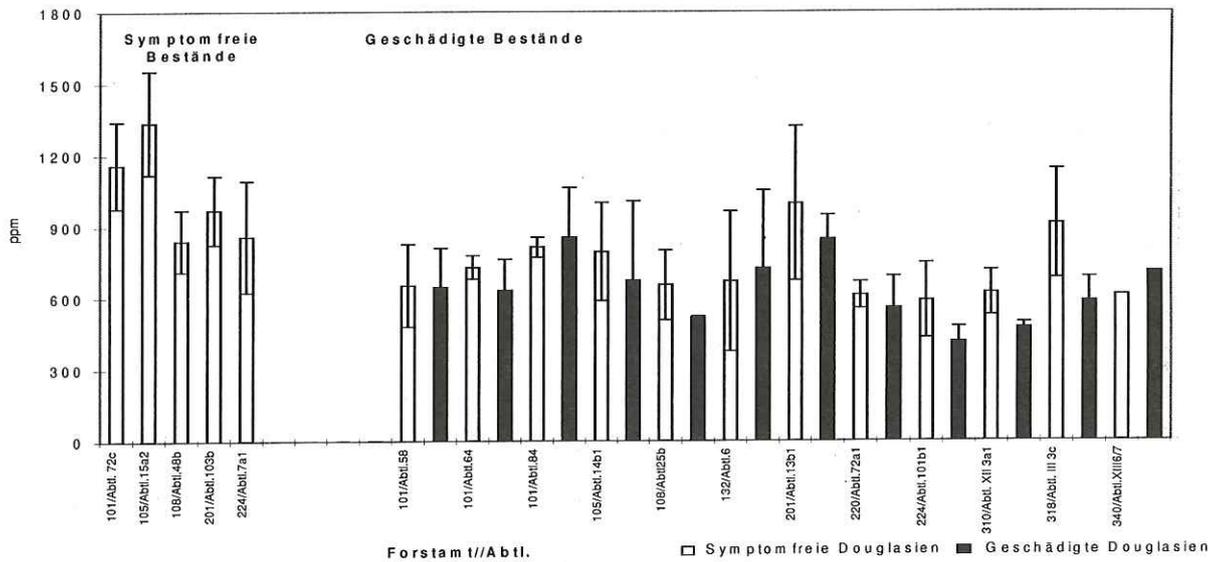


Abb. 5: Magnesiumgehalte in den Nadeln des 3. Nadeljahrgangs symptomfreier und geschädigter Douglasien in symptomfreien und geschädigten Beständen.

Magnesium contents as found in the third year needles of symptom-free and damaged Douglas-firs in symptom-free and damaged stands.

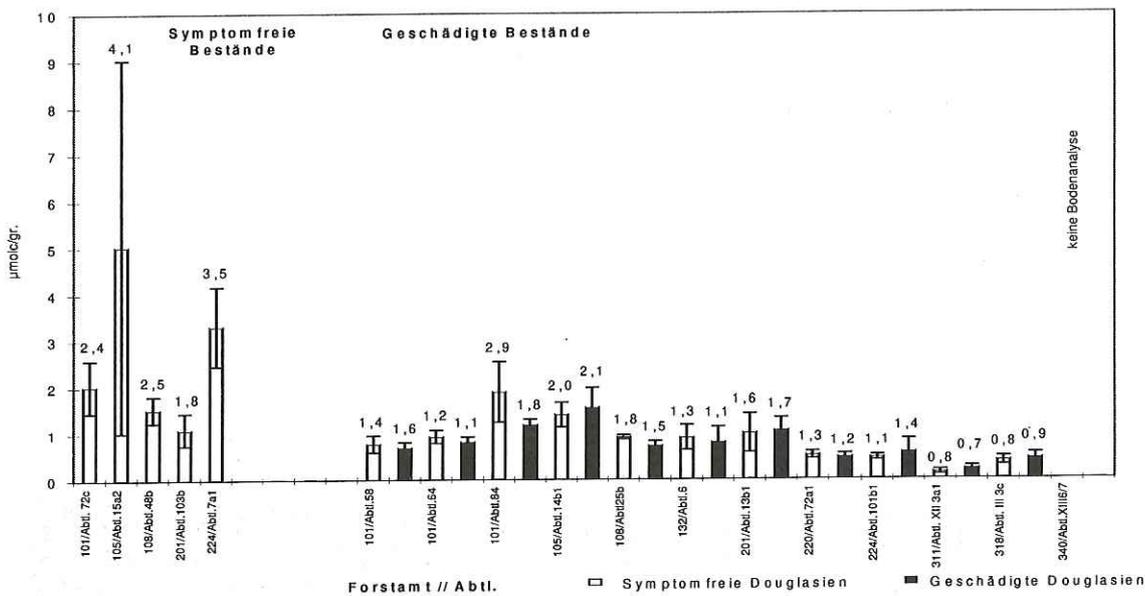


Abb. 6: Austauschbare Magnesiumgehalte im Oberboden symptomfreier und geschädigter Douglasienbestände. Die Zahlen über den Säulen geben den prozentualen Anteil von Magnesiumionen an der effektiven Kationenaustauschkapazität an.

Exchangeable magnesium contents in the upper soil of symptom-free and damaged Douglas-fir stands. The figures given above the columns indicate the portion of the effective cation exchange capacity for magnesium ions (in %).

101: Adenau	108: Cochem	201: Bernkastel	224: Wittlich-West	318: Hochspeyer
105: Bad Münster	132: Rengsdorf	220: Saarburg-Ost	311: Elmstein-Süd	340: Winnweiler

Im Kaliumgehalt der Nadeln unterscheiden sich symptomfreie und erkrankte Bestände offensichtlich nicht. Die Kaliumgehalte der erkrankten Bäume liegen häufig innerhalb des von BERGMANN (1988) angegebenen Bereichs ausreichender Kaliumgehalte für Douglasien (6.000 bis 11.000 ppm) oder nur wenig darunter.

Bei den Spurennährstoffen war kein Zusammenhang zwischen der Erkrankung und den Nadelgehalten zu erkennen. Die gemessenen Eisengehalte lagen meist um 100 ppm (Abb. 7) und damit sehr deutlich über den als unzureichend erachteten Richtwerten (z.B. 20 ppm, vgl. BLOCK *et al.* 1992). Beim Zink wurden Gehalte zwischen 23 ppm (1. Nadeljahrgang, symptomfreier Baum im Bestand 108-Abt. 25) und 255 ppm (1. Nadeljahrgang, symptomfreier Baum im Bestand 318-Abt. III) gemessen. Die Zinkgehalte liegen damit alle innerhalb der von BERGMANN (1988) als ausreichend erachteten Gehaltsspanne (15 bis 80 ppm). Dies trifft auch für die Kupfergehalte zu, die sich sowohl in symptomfreien als auch in erkrankten Bäumen mit Gehalten zwischen 2 und 6 ppm im 1. Nadeljahrgang in dem bei Fichten meist gemessenen Bereich befinden (vgl. BLOCK *et al.* 1991) und auch von BERGMANN (1988) als für die Douglasie ausreichend angesehen werden.

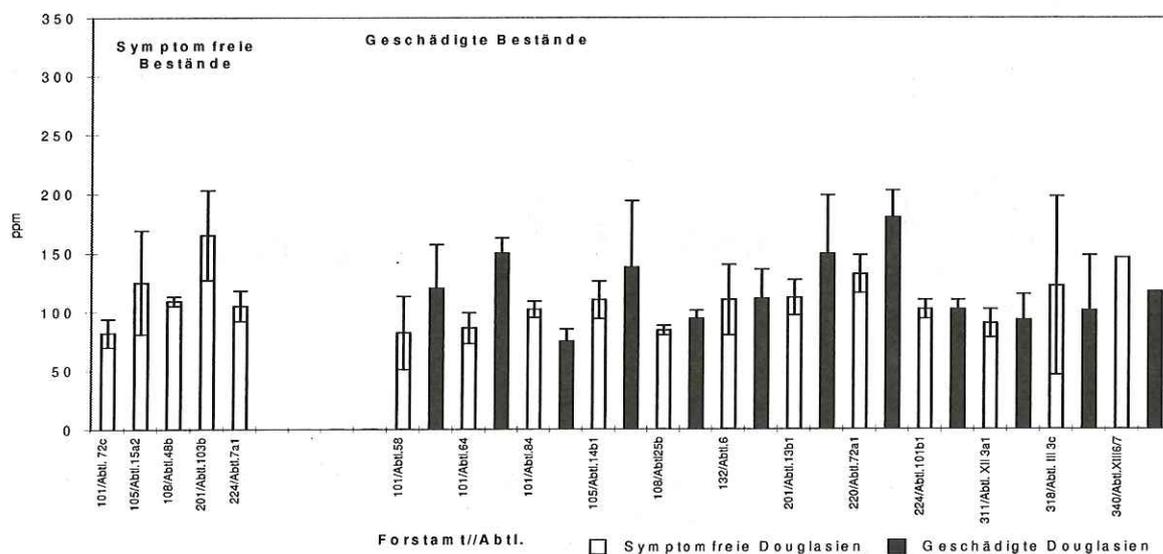


Abb. 7: Eisengehalte in den Nadeln des ersten Nadeljahrgangs symptomfreier und geschädigter Douglasien in symptomfreien und geschädigten Beständen

Iron contents as found in the current-year needles of symptom-free and damaged Douglas-firs in symptom-free and damaged stands.

101: Adenau	108: Cochem	201: Bernkastel	224: Wittlich-West	318: Hochspeyer
105: Bad Münster	132: Rengsdorf	220: Saarburg-Ost	311: Elmstein-Süd	340: Winnweiler

An Proben der Standorte 101, 108 und 340 wurden darüber hinaus Bor- und Molybdänanalysen durchgeführt. Bei Untersuchungen eines Douglasiensterbens in British Columbia durch CARTER *et al.* (1983), das wie im hiesigen Raum mit Harzflußsymptomen verbunden war, wurde Bormangel als Erkrankungsursache diagnostiziert. In den hiesigen Beständen lagen die gefundenen Borgehalte mit 16 bis 40 ppm in einjährigen Nadeln über den von CARTER *et al.* als kritisch erachteten Werten (8-12 ppm) und meist auch über den von BERGMANN (1988) als ausreichend erachteten Gehalten (20 ppm). Die Molybdängehalte lagen in der hiesigen Untersuchung zwischen 0,073 und 0,098 ppm und damit in einem Bereich, der in Fichtenbeständen häufig angetroffen wird (FIEDLER UND RÖSLER 1988, LANG 1995) und von BERGMANN (1988) auch für die Douglasie als ausreichend erachtet wird. Weder beim Bor noch beim Molybdän waren zwischen symptomfreien und erkrankten Bäumen Gehaltsunterschiede festzustellen.

## 5. Diagnostische Düngungsversuche

Zur Überprüfung der Hypothese manganüberschußinduzierter Nährstoffmängel oder -ungleichgewichte und zur Ableitung möglicher Gegenmaßnahmen wurden 1989 in drei erkrankten Douglasienbeständen diagnostische Düngungsversuche angelegt. Für die Versuche wurden Bestände auf unterschiedlichen Standorten und mit unterschiedlicher Symptomatik ausgewählt.

Beim Versuchsbestand **Adenau (101-Abt. 84)** handelt es sich um einen ca. 37-jährigen (1989) Douglasienreinbestand unbekannter Provenienz mit einzelnen beigemischten Buchen und Traubeneichen auf einem steilen Mittelhang südlicher Exposition in einer Höhenlage von 420 bis 470 m über NN. Der Bestand stockt auf einer flachgründigen, z.B. rankerartigen Braunerde aus unterdevonischen Grauwacken und Tonschiefern. Die Humusform ist ein mullartiger bis typischer Moder mit neigungsbedingten Skelettanteilen.

In diesem Bestand wurde das gesamte, in Kapitel 2 beschriebene Symptomenspektrum der Douglasienerkrankung beobachtet. Deutliche Schäden treten an etwa einem Viertel der Bäume auf.

Der Versuchsbestand **Cochem (108-Abt. 25)** war bei der Versuchsanlage 16 Jahre alt. Er stockt an einem mäßig nach Nordwesten geneigtem Mittelhang in einer Höhenlage von 280 bis 300 m über NN auf einer mittelgründigen Braunerde aus Decklehm über unterdevonischen Tonschiefern. Die Humusform ist ein mullartiger Moder. Trotz geringerer Jahresniederschlagssumme als am Standort Adenau (650 mm in Cochem, 750 mm in Adenau) ist die Wasserversorgung an diesem Standort merklich günstiger.

Als Schadsymptome traten in diesem Bestand deutliche Nadelvergilbungen und Frühfruktifikation, aber keine übermäßigen Nadelverluste oder Harzfluß auf. Bei der Versuchsanlage wurde angenommen, daß dieser Bestand am Beginn der Krankheitsentwicklung stand.

Der Versuchsbestand **Hochspeyer (318-Abt. III)** ist ein bei Versuchsanlage 16-jähriger Douglasienreinbestand auf einem schwach geneigten, nordwestexponierten Unterhang in einer Höhenlage von 300 bis 320 m über NN. Der Bestand stockt auf einer tiefgründigen podsoligen Braunerde aus Mittlerem Buntsandstein - Trifels-Schichten. Bei 750 mm Jahresniederschlag dürfte auf dem Schatthang die Wasserversorgung kein begrenzender Faktor sein. Die Humusform ist ein rohhumusartiger Moder bis Rohhumus. Als Schadsymptome treten fahlgrüne Nadelverfärbungen, Nadelvergilbungen, mittlere bis starke Nadelverluste und verkürzte Nadel- und Triebausbildungen auf. Ausbleichungen des jüngsten Nadeljahrgangs und Harzfluß wurden an diesem Standort nicht beobachtet.

Das Düngekonzept wurde gemeinsam mit der Arbeitsgruppe Forstdüngung Rheinland-Pfalz erarbeitet. Folgende Düngevarianten wurden eingerichtet:

- Kohlensaurer Magnesiumkalk (feingemahlen 0-0,9 mm) mit 30 bis 40%  $MgCO_3$ -Anteil; Aufwandmenge: 6 t/ha

Mit dieser Variante sollte versucht werden, über pH-Wert-Anhebungen die Manganverfügbarkeit im Boden zu verringern und damit einen evtl. Manganüberschuß abzubauen. Zugleich war bei dieser Variante eine Verbesserung der Magnesiumversorgung zu erwarten.

- Cederan P 23 mit 23% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; Aufwandmenge: 780 kg/ha = 180 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha  
Mit dieser Variante sollte ein gegebenenfalls vorhandener Phosphormangel beseitigt werden.
- Kieserit (MgSO<sub>4</sub>) mit 27% MgO; Aufwandmenge: 600 kg/ha = 160 kg MgO/ha.  
Diese Variante wurde nur an den Standorten Adenau und Hochspeyer eingerichtet. Mit ihr sollte ein evtl. vorhandener Magnesiummangel beseitigt werden, ohne die Befunde durch Aufkalkungseffekte zu beeinflussen.
- Nitrophoska blau mit 12% N, 12% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 17% K<sub>2</sub>O und 2% MgO; Aufwandmenge: 1000 kg/ha = 120 kg N/ha, 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, 170 kg K<sub>2</sub>O/ha und 20 kg MgO/ha.  
Diese Variante wurde nur am Standort Hochspeyer eingerichtet, weil dort trotz ausreichender Wasserversorgung das außergewöhnlich schlechte Wachstum der Douglasien auf umfassende Nährstoffmängel schließen ließ.
- Fetrilon (Fe-Chelat) mit 13% Fe; Aufwandmenge: 80 kg/ha = 10,5 kg Fe/ha  
Dieses Mittel wurde nur am Standort Adenau eingesetzt, da dort deutliche Ausbleichungen des jüngsten Nadeljahrganges auf Eisenmangel hinwiesen.
- Kalkammonsalpeter mit 27% N; Aufwandmenge: Adenau und Hochspeyer 450 kg/ha = 120 kg N/ha, Cochem 500 kg/ha = 135 kg N/ha  
Die Stickstoffdüngung sollte durch ihre wachstumsfördernde Wirkung evtl. unterschwellig vorhandene Mineralstoffmängel verstärken, um diese besser diagnostizieren zu können.

Auf allen Versuchspartzen erfolgten periodisch bodenchemische Untersuchungen, Nadelanalysen und Kronenzustandsbonituren. Eine eingehende Beschreibung der Versuchsanlagen und der durchgeführten Untersuchungen enthält ZOTH (1990).

Am Standort **Adenau** zeigte die Kalkapplikation den deutlichsten Effekt auf den chemischen Bodenzustand. Im Ah-Horizont der gekalkten Parzelle sind der pH-Wert sowie die austauschbaren Gehalte an Magnesium und Calcium gegenüber der unbehandelten Parzelle deutlich erhöht und die Gehalte an austauschbarem Aluminium und auch an austauschbarem Mangan deutlich verringert (Tab. 1). Auch im Bv-Horizont hat sich die Kalkung in einer Erhöhung der austauschbaren Magnesium- und Kalziumgehalte ausgewirkt. Allerdings sind die Effekte 5 Jahre nach der Kalkung noch vergleichsweise gering.

Tab. 1: Mineralboden-Analysebefunde des Düngeversuchs Adenau; Probenahme 1994 - 5 Jahre nach der Düngung; C und N in %, AKe und entsprechende Kationen in  $\mu\text{mol/g}$ .

Results of a mineral soil analysis in the fertilization test Adenau; sampling in 1994 - 5 years after the application of the fertilizers; C and N are given in %; Ake and the cations in  $\mu\text{mol/g}$ .

		Nullfläche		MgSO <sub>4</sub>		Ca(Mg)CO <sub>3</sub>		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		Fe-Chelat		KAS	
		Ah	Bv	Ah	Bv	Ah	Bv	Ah	Bv	Ah	Bv	Ah	Bv
pH(CaCl <sub>2</sub> )	von	3,5	3,6	3,5	3,8	4,6	3,7	3,3	3,7	3,5	3,6	3,5	3,6
	bis	3,7	3,7	3,7	3,9	5,3	3,8	3,6	3,7	3,7	3,8	3,6	3,7
C	MW	5,1	1,5	5,7	1,4	4,8	1,8	4,4	1,8	5,0	1,5	4,6	1,7
	STD	1,6	0,2	0,2	0,4	0,5	0,3	0,5	0,3	0,6	0,3	0,7	0,2
N	MW	0,3	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1
	STD	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
C/N	MW	19	15	22	20	20	18	20	18	21	16	20	17
	STD	1	1	2	3	2	2	1	1	2	2	1	1
AKE	MW	84	59	86	45	113	54	76	54	75	48	72	48
	STD	13	5	7	4	29	2	3	12	4	2	8	6
Na	MW	1,5	1,4	1,6	1,5	1,5	1,5	1,4	1,5	1,5	1,4	1,4	1,4
	STD	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
K	MW	3,0	1,6	2,5	1,8	3,1	1,7	2,9	1,7	3,5	1,9	2,8	1,6
	STD	0,5	0,0	0,5	0,6	1,1	0,4	0,3	0,5	0,4	0,6	0,8	0,2
Ca	MW	24,8	3,4	14,5	2,3	67,5	5,1	20,8	5,1	18,3	2,6	14,6	2,4
	STD	10,6	1,0	2,5	0,2	21,5	2,1	0,9	4,4	3,8	0,5	6,2	0,9
Mg	MW	3,9	1,1	3,1	1,1	35,8	4,1	2,5	4,1	2,7	0,9	1,7	0,7
	STD	1,9	0,1	0,5	0,2	7,9	1,3	0,2	0,6	0,5	0,0	0,4	0,2
H	MW	5,9	1,8	5,3	1,1	0,0	1,2	8,5	1,2	4,8	1,6	4,9	1,9
	STD	1,8	0,3	1,9	0,7	0,0	0,4	4,2	3,3	1,9	0,3	0,2	0,9
Fe	MW	0,4	0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	0,4	0,1	0,3	0,2	0,2	0,0
	STD	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,4	0,2	0,2	0,0	0,1
Mn	MW	10,0	1,7	9,3	1,2	3,6	1,4	5,8	1,4	12,3	2,2	9,3	1,6
	STD	4,7	0,3	1,2	0,2	0,9	0,4	1,2	1,4	2,4	0,5	2,7	0,3
Al	MW	35	48	49	36	2	39	33	39	32	37	38	38
	STD	6	3	8	4	2	2	4	10	6	2	6	5

Die übrigen Düngungsvarianten hatten keine erkennbaren Effekte auf den Bodenchemismus.

Auf die Nadelspiegelwerte hatte die Kalkung trotz der hohen Aufwandmenge und der deutlichen Effekte im Boden keine merklichen Auswirkungen (Tab. 2). Offensichtlich ist es weder gelungen, die Manganaufnahme spürbar zu reduzieren noch die Magnesiumversorgung der Bäume zu verbessern.

Tab. 2: Nadelspiegelwerte des diagnostischen Düngungsversuchs Adenau ; Mittelwert (fett gedruckt) und Standardabweichung; Düngemittelapplikation im Frühjahr 1989.  
V = symptomfreie Bäume, K = erkrankte Bäume.

Needle element levels as found in the diagnostic fertilization test Adenau; mean and standard deviation; application of the fertilizers in spring 1989.  
V = symptom-free trees, K = diseased trees.

Variante	Jahr	N [%]		P [%]		K [ppm]		Ca [ppm]		Mg [ppm]		Mn [ppm]		Fe [ppm]	
		V	K	V	K	V	K	V	K	V	K	V	K	V	K
<b>1. Nadeljahrg.</b>															
Vor Düngung	87	<b>1,5</b>	<b>1,3</b>	<b>0,10</b>	<b>0,08</b>	<b>7483</b>	<b>6750</b>	<b>4833</b>	<b>6333</b>	<b>983</b>	<b>773</b>	<b>3667</b>	<b>6133</b>	<b>106</b>	<b>90</b>
		0,1	0,1	0,01	0,02	718	755	580	1549	127	215	645	810	18	7
Null	90	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>	<b>5233</b>	<b>5767</b>	<b>5217</b>	<b>6800</b>	<b>1117</b>	<b>1078</b>	<b>3883</b>	<b>7017</b>	<b>102</b>	<b>75</b>
		0,1	0,2	0,01	0,01	690	957	451	377	58	209	797	846	7	10
Ca(Mg)CO <sub>3</sub>	94	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>4720</b>	<b>4640</b>	<b>4110</b>	<b>4820</b>	<b>1100</b>	<b>1060</b>	<b>3850</b>	<b>5040</b>	<b>109</b>	<b>113</b>
		0,1	0,4	0,01	0,01	660	1262	603	1069	112	90	104	1683	8	18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	90	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>0,11</b>	<b>0,10</b>	<b>5183</b>	<b>4767</b>	<b>6500</b>	<b>6667</b>	<b>1133</b>	<b>1033</b>	<b>5017</b>	<b>6150</b>	<b>105</b>	<b>93</b>
		0,2	0,5	0,00	0,01	325	683	527	828	104	153	580	1249	13	25
MgSO <sub>4</sub>	94	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>	<b>0,11</b>	<b>0,13</b>	<b>4660</b>	<b>4170</b>	<b>3940</b>	<b>4300</b>	<b>1150</b>	<b>1030</b>	<b>3390</b>	<b>3850</b>	<b>116</b>	<b>154</b>
		0,1	0,1	0,02	0,01	737	1145	1032	218	276	161	729	416	12	25
Fe-Chelat	90	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	<b>5383</b>	<b>5717</b>	<b>6183</b>	<b>8450</b>	<b>1140</b>	<b>1067</b>	<b>5517</b>	<b>8433</b>	<b>96</b>	<b>95</b>
		0,1	0,1	0,02	0,01	737	1145	1032	218	276	161	729	416	12	25
KAS	94	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>3730</b>	<b>3950</b>	<b>4430</b>	<b>6600</b>	<b>1140</b>	<b>1210</b>	<b>4520</b>	<b>7520</b>	<b>83</b>	<b>86</b>
		0,2	0,3	0,01	0,03	161	910	966	635	197	146	229	1727	30	13
KAS	90	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	<b>5233</b>	<b>5883</b>	<b>5583</b>	<b>7050</b>	<b>1077</b>	<b>932</b>	<b>4200</b>	<b>5267</b>	<b>95</b>	<b>81</b>
		0,1	0,1	0,02	0,02	1061	810	1077	1562	126	211	701	1033	9	9
KAS	94	<b>1,5</b>	<b>1,4</b>	<b>0,09</b>	<b>0,08</b>	<b>4910</b>	<b>5210</b>	<b>6040</b>	<b>5180</b>	<b>1310</b>	<b>956</b>	<b>2980</b>	<b>4740</b>	<b>98</b>	<b>88</b>
		0,1	0,1	0,02	0,02	1061	810	1077	1562	126	211	701	1033	9	9
<b>3. Nadeljahrg.</b>															
Vor Düngung	87	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>5133</b>	<b>3833</b>	<b>7417</b>	<b>10883</b>	<b>773</b>	<b>713</b>	<b>6083</b>	<b>11017</b>	<b>137</b>	<b>134</b>
		0,2	0,4	0,02	0,02	1327	742	1578	2922	215	164	1577	2071	24	9
Null	90	<b>1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>3867</b>	<b>3533</b>	<b>9183</b>	<b>11500</b>	<b>812</b>	<b>855</b>	<b>7217</b>	<b>12633</b>	<b>126</b>	<b>98</b>
		0,1	0,1	0,01	0,00	681	293	1854	1179	42	209	1617	651	16	16
Ca(Mg)CO <sub>3</sub>	94	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>3730</b>	<b>3940</b>	<b>6230</b>	<b>7710</b>	<b>970</b>	<b>890</b>	<b>5480</b>	<b>8360</b>	<b>144</b>	<b>143</b>
		0,2	0,3	0,01	0,02	867	1150	2432	1680	80	35	1480	3387	16	13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	90	<b>1,5</b>	<b>1,4</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>4250</b>	<b>2883</b>	<b>9083</b>	<b>9533</b>	<b>585</b>	<b>525</b>	<b>7700</b>	<b>11100</b>	<b>132</b>	<b>105</b>
		0,2	0,3	0,01	0,02	867	1150	2432	1680	80	35	1480	3387	16	13
MgSO <sub>4</sub>	94	<b>1,7</b>	<b>1,5</b>	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>	<b>4010</b>	<b>3050</b>	<b>6230</b>	<b>7920</b>	<b>926</b>	<b>917</b>	<b>5520</b>	<b>9930</b>	<b>138</b>	<b>100</b>
		0,2	0,3	0,01	0,02	867	1150	2432	1680	80	35	1480	3387	16	13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	90	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>	<b>4017</b>	<b>3333</b>	<b>9550</b>	<b>10567</b>	<b>750</b>	<b>628</b>	<b>7533</b>	<b>10467</b>	<b>119</b>	<b>125</b>
		0,1	0,1	0,00	0,00	407	558	1693	1210	104	12	1533	723	19	32
MgSO <sub>4</sub>	94	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>0,09</b>	<b>0,10</b>	<b>3810</b>	<b>3870</b>	<b>6200</b>	<b>6510</b>	<b>1070</b>	<b>664</b>	<b>5210</b>	<b>5560</b>	<b>158</b>	<b>164</b>
		0,1	0,1	0,00	0,00	407	558	1693	1210	104	12	1533	723	19	32
Fe-Chelat	90	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>3383</b>	<b>3300</b>	<b>9650</b>	<b>12833</b>	<b>853</b>	<b>703</b>	<b>9533</b>	<b>14300</b>	<b>113</b>	<b>104</b>
		0,2	0,2	0,01	0,01	794	444	1983	651	305	14	1828	2352	24	36
KAS	94	<b>1,6</b>	<b>2,0</b>	<b>0,05</b>	<b>0,07</b>	<b>2220</b>	<b>2980</b>	<b>6380</b>	<b>9690</b>	<b>1010</b>	<b>896</b>	<b>6350</b>	<b>11100</b>	<b>118</b>	<b>117</b>
		0,1	0,1	0,01	0,01	180	491	180	1069	136	110	813	3175	29	32
KAS	90	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>	<b>3700</b>	<b>3283</b>	<b>8750</b>	<b>10467</b>	<b>755</b>	<b>637</b>	<b>6670</b>	<b>9433</b>	<b>116</b>	<b>112</b>
		0,1	0,1	0,01	0,01	180	491	180	1069	136	110	813	3175	29	32
KAS	94	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>3800</b>	<b>5130</b>	<b>6580</b>	<b>5660</b>	<b>1040</b>	<b>878</b>	<b>5170</b>	<b>5220</b>	<b>161</b>	<b>130</b>
		0,3	0,1	0,01	0,01	346	379	2868	3270	79	153	1415	3526	23	6
KAS	90	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>3450</b>	<b>3717</b>	<b>9667</b>	<b>13400</b>	<b>1032</b>	<b>662</b>	<b>5633</b>	<b>11417</b>	<b>108</b>	<b>94</b>
		0,3	0,1	0,01	0,01	346	379	2868	3270	79	153	1415	3526	23	6
KAS	94	<b>1,7</b>	<b>1,6</b>	<b>0,08</b>	<b>0,06</b>	<b>3540</b>	<b>3100</b>	<b>10830</b>	<b>8290</b>	<b>1050</b>	<b>945</b>	<b>4590</b>	<b>6520</b>	<b>143</b>	<b>125</b>
		0,3	0,1	0,01	0,01	346	379	2868	3270	79	153	1415	3526	23	6

Unerwartet gering sind auch die Effekte der Kieseritdüngung auf den Magnesiumgehalt der Nadeln. Allerdings verringerte die Kieseritdüngung offensichtlich die Kaliumaufnahme.

Die Phosphatdüngung wirkte sich in einer merklichen Erhöhung des Phosphorgehalts der Nadeln aus. Die Kalkammonsalpeter-Düngung führte zu erhöhten Calcium- und Magnesiumgehalten an den symptomfreien Bäumen. Die Fetrilon-Applikation konnte offensichtlich keine mittelfristig wirksame Erhöhung des Eisengehalts der Nadeln bewirken.

Keine der Düngungsvarianten hatte einen durchschlagenden Effekt auf den Kronenzustand der Douglasien. Das mittlere Nadelverlustprozent stieg auf allen Parzellen bis 1992 deutlich an und ist nur auf der mit Phosphat gedüngten Parzelle wieder gesunken (Abb. 8). Die Nadelvergilbung nahm ebenfalls bis 1992 erheblich zu und ist dann bis 1994 wieder zurückgegangen.

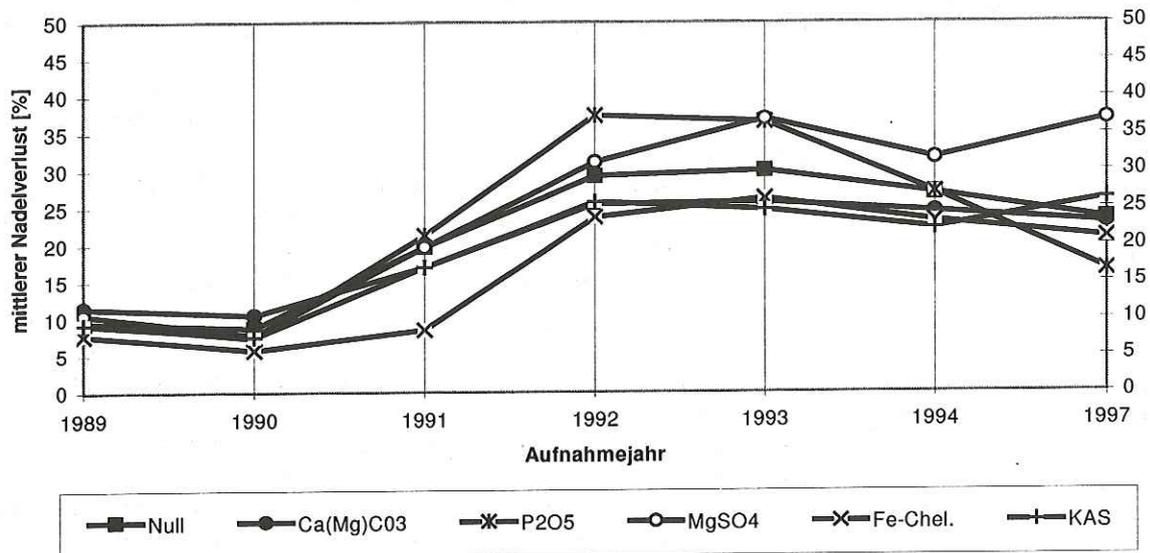


Abb. 8: Entwicklung der Kronenverlichtung auf den einzelnen Parzellen des diagnostischen Düngungsversuchs Adenau; dargestellt ist der mittlere Nadelverlust von je 20 Beobachtungsbäumen.

Development of crown thinning on the different lots of the diagnostic fertilization test Adenau; given is the mean needle loss of 20 sample trees each.

Am Standort **Hochspeyer** zeigten sich deutlich stärkere Düngeeffekte sowohl auf die Nadelspiegelwerte als auch auf den Gesundheitszustand der Bäume.

3 Jahre nach der Applikation waren in den Nadeln auf der gekalkten und der mit Kieserit gedüngten Parzelle merklich erhöhte Magnesiumgehalte, auf der Phosphatgedüngten Parzelle deutlich erhöhte Phosphor- und Magnesiumkonzentrationen bei

verringerten N-Gehalten und auf der mit Kalkammonsalpeter gedüngten Parzelle deutlich erhöhte Stickstoffkonzentrationen festzustellen (Tab. 3). Die Volldüngung erhöhte sowohl die Kalium- als auch die Phosphorgehalte der Nadeln. Die Mangankonzentrationen sind auf allen Parzellen vergleichsweise gering. Die geringsten Mangangehalte weist die gekalkte Parzelle auf.

Tab. 3: Nadelspiegelwerte des diagnostischen Düngungsversuchs Hochspeyer im Jahr 1992 (3 Jahre nach der Düngemittelapplikation); V = symptomfreie Bäume, K = erkrankte Bäume

Needle element levels as found in the diagnostic fertilization test Hochspeyer in 1992 (3 years after the application of the fertilizers); V = symptom-free trees, K = diseased trees.

Variante	N [%]		P [%]		K [ppm]		Ca [ppm]		Mg [ppm]		Mn [ppm]		Cu [ppm]	
	V	K	V	K	V	K	V	K	V	K	V	K	V	K
<b>1. Nadeljahrg.</b>														
Null	1,42	1,44	0,066	0,061	5433	5640	2080	1960	934	825	443	411	3,1	3,0
Ca(Mg)CO <sub>3</sub>	1,52	1,41	0,065	0,057	4643	4907	3250	2433	1420	1037	295	244	2,7	2,7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,22	1,13	0,168	0,146	5388	4413	5110	3373	1113	959	538	545	3,2	2,6
MgSO <sub>4</sub>	1,33	1,41	0,073	0,065	5183	5213	2840	1893	1217	1068	578	496	3,1	2,8
KAS	1,55	1,62	0,063	0,055	4793	4497	2600	2790	816	787	506	526	3,0	2,7
NPK-Volldüng.	1,42	1,32	0,120	0,119	6233	6133	2300	1983	828	770	384	380	2,6	2,3
<b>3. Nadeljahrg.</b>														
Null	2,12	2,04	0,048	0,045	2640	2307	4767	3443	687	502	707	529	2,1	1,3
Ca(Mg)CO <sub>3</sub>	1,85	1,78	0,050	0,041	2363	2660	6587	4080	980	622	517	295	1,6	2,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,10	1,03	0,169	0,139	3150	3250	13540	8797	1230	1014	1413	936	1,8	2,1
MgSO <sub>4</sub>	1,78	1,85	0,051	0,046	2130	2617	7633	4717	1160	1047	1330	1122	1,8	1,7
KAS	3,18	3,01	0,044	0,044	1863	2200	5157	4183	442	503	803	730	1,6	1,5
NPK-Volldüng.	1,24	1,23	0,070	0,064	3810	3427	6297	5200	615	438	1083	861	1,8	1,5

Die jährlichen Schadansprachen zeigten eine deutliche Abnahme der Nadelverlustprozente und damit eine merkliche Verbesserung des Gesundheitszustandes der Bäume auf der mit Phosphat und der mit NPK-gedüngten Parzelle (Abb. 9).

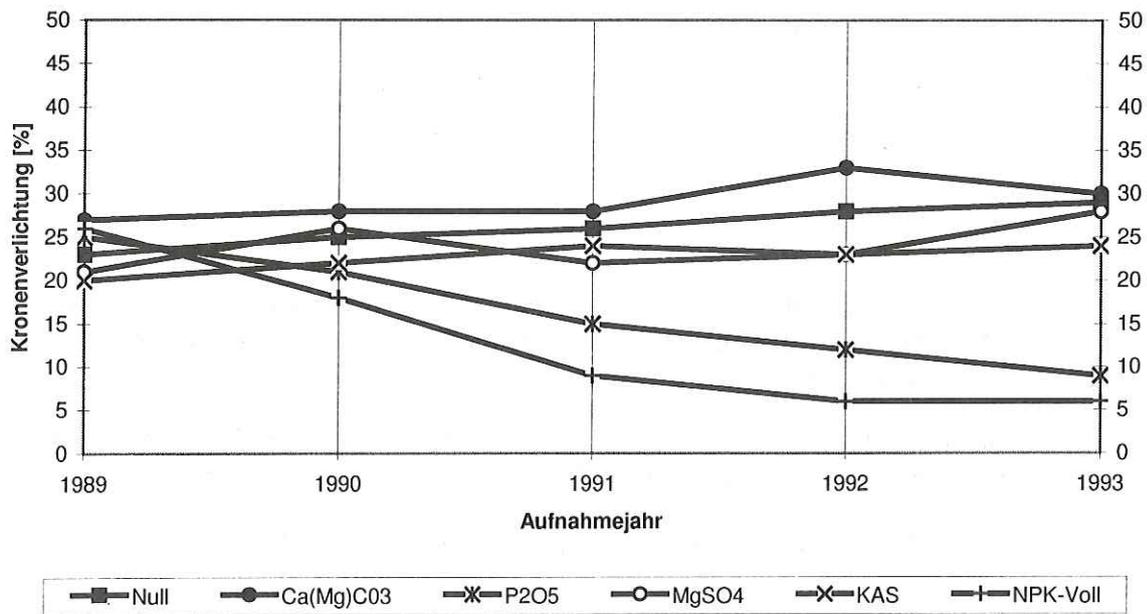


Abb. 9: Entwicklung der Kronenverlichtung auf den einzelnen Parzellen des diagnostischen Düngungsversuchs Hochspeyer; dargestellt ist der mittlere Nadelverlust von je 30 Beobachtungsbäumen.

Development of crown thinning on the different lots of the diagnostic fertilization test Hochspeyer; given is the mean needle loss of 30 sample trees each.

Gleichzeitig war auf diesen Parzellen ein deutlich verbessertes Wachstum festzustellen. Auf den übrigen Parzellen veränderte sich der Vitalitätszustand im Beobachtungszeitraum nicht.

Die an diesem Standort beobachteten Schäden wurden offensichtlich durch Phosphormangel verursacht, der durch die Phosphatdüngung behoben werden konnte.

Im Versuchsbestand **Cochem** nahm die Vergilbung auch in den nicht gedüngten Bestandteilen deutlich ab, so daß der Bestand inzwischen insgesamt gesund erscheint. Vitalitätsunterschiede zwischen den Düngungsvarianten sind nicht zu erkennen. Allerdings sind die Mangangehalte in den Nadeln mit Werten von z.T. über 5.000 ppm nach wie vor sehr hoch. Daher soll der Bestand weiter beobachtet werden.

Auf die Nadelspiegelwerte wirkte sich die Kalkung in einer merklichen Erhöhung der Magnesiumgehalte aus (Tab. 4).

Zugleich zeigt die gekalkte Parzelle in beiden Nadeljahrgängen die geringsten Mangankonzentrationen. Die Phosphordüngung bewirkte eine merkliche Erhöhung der sehr schwachen Phosphorgehalte in den Nadeln. Demgegenüber verursachte die Kalkammonsalpeterdüngung offensichtlich eine merkliche Reduktion der P-, K- und

Mg-Gehalte. Nährelementmangelsymptome sind auf der KAS-Parzelle bislang allerdings noch nicht erkennbar.

Tab. 4: Nadelspiegelwerte des diagnostischen Düngungsversuchs Cochem; 3. Nadeljahrgang des 7. Quirls, Mittelwert (fett gedruckt) und Standardabweichung; V = symptomfreie Bäume, K = erkrankte Bäume.

Needle element levels as found in the diagnostic fertilization test Cochem (third year needles of the 7. whorl; mean and standard deviation; V = symptom-free trees, K = diseased trees..

Variante	Jahr	N [%]		P [ppm]		K [ppm]		Ca [ppm]		Mg [ppm]		Mn [ppm]		Fe [ppm]	
		V	K	V	K	V	K	V	K	V	K	V	K	V	K
<b>1. Nadeljahrg.</b>															
Vor Düngung	87	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>0,09</b>	<b>0,07</b>	<b>5400</b>	<b>5183</b>	<b>4133</b>	<b>3483</b>	<b>885</b>	<b>817</b>	<b>2950</b>	<b>2817</b>	<b>169</b>	<b>102</b>
		0,1	0,1	-	0,006	1130	1815	1136	480	93	32	522	993	97	13
Null	90	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	<b>0,10</b>	<b>0,08</b>	<b>6933</b>	<b>7483</b>	<b>4417</b>	<b>3983</b>	<b>978</b>	<b>892</b>	<b>3083</b>	<b>2867</b>	<b>84</b>	<b>94</b>
		0,1	0,1	0,01	0,01	693	289	252	889	108	128	153	379	4	7
Ca(Mg)CO <sub>3</sub>	94	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>0,08</b>	<b>0,08</b>	<b>5280</b>	<b>6180</b>	<b>4610</b>	<b>3760</b>	<b>1050</b>	<b>1020</b>	<b>3740</b>	<b>2980</b>	<b>85</b>	<b>76</b>
		0,1	0,1	-	0,01	535	637	458	355	53	73	100	252	12	9
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	94	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>	<b>5830</b>	<b>5510</b>	<b>4800</b>	<b>5280</b>	<b>1330</b>	<b>1320</b>	<b>2200</b>	<b>2440</b>	<b>121</b>	<b>138</b>
		0,1	0,2	0,01	0,02	5983	6683	4400	4367	910	987	3017	3133	87	90
KAS	90	<b>2,0</b>	<b>2,1</b>	<b>0,08</b>	<b>0,07</b>	<b>5550</b>	<b>5700</b>	<b>4850</b>	<b>4067</b>	<b>928</b>	<b>843</b>	<b>3283</b>	<b>3070</b>	<b>80</b>	<b>74</b>
		0,1	0,3	0,01	0,01	312	867	397	715	108	71	29	406	2	5
KAS	94	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>	<b>4660</b>	<b>4940</b>	<b>4200</b>	<b>4150</b>	<b>902</b>	<b>905</b>	<b>3320</b>	<b>3250</b>	<b>92</b>	<b>96</b>
		-	-	58	-	458	275	2314	737	87	121	477	1316	11	9
<b>3. Nadeljahrg.</b>															
Vor Düngung	87	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>3350</b>	<b>3333</b>	<b>6333</b>	<b>5350</b>	<b>562</b>	<b>525</b>	<b>3900</b>	<b>3917</b>	<b>155</b>	<b>177</b>
		-	-	58	-	458	275	2314	737	87	121	477	1316	11	9
Null	90	<b>1,5</b>	<b>1,7</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>4233</b>	<b>4417</b>	<b>7133</b>	<b>4850</b>	<b>653</b>	<b>517</b>	<b>5350</b>	<b>3933</b>	<b>155</b>	<b>147</b>
		0,1	0,2	-	0,01	115	462	1040	1132	147	3	492	592	22	25
Ca(Mg)CO <sub>3</sub>	94	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>3620</b>	<b>3590</b>	<b>6560</b>	<b>5940</b>	<b>763</b>	<b>786</b>	<b>5270</b>	<b>4710</b>	<b>117</b>	<b>104</b>
		0,1	0,2	0,01	-	333	404	945	765	114	67	601	293	18	5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	94	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>0,07</b>	<b>0,06</b>	<b>3590</b>	<b>3640</b>	<b>7400</b>	<b>7400</b>	<b>1160</b>	<b>1200</b>	<b>3370</b>	<b>3380</b>	<b>131</b>	<b>140</b>
		0,1	0,1	0,01	0,01	4067	3917	6183	5500	583	477	4617	4367	127	140
KAS	90	<b>2,0</b>	<b>2,1</b>	<b>0,06</b>	<b>0,06</b>	<b>3533</b>	<b>4250</b>	<b>7217</b>	<b>5233</b>	<b>553</b>	<b>503</b>	<b>5167</b>	<b>3950</b>	<b>160</b>	<b>140</b>
		0,1	0,2	0,01	0,01	275	950	1211	1878	78	106	575	1021	15	10
KAS	94	<b>1,9</b>	<b>2,1</b>	<b>0,06</b>	<b>0,05</b>	<b>2620</b>	<b>2820</b>	<b>6840</b>	<b>6560</b>	<b>605</b>	<b>613</b>	<b>5230</b>	<b>4560</b>	<b>118</b>	<b>127</b>
		0,1	0,2	0,01	0,01	275	950	1211	1878	78	106	575	1021	15	10

Zur Prüfung, ob die auffallende Ausbleichung des jüngsten Nadeljahrgangs an vielen erkrankten Douglasien tatsächlich auf Eisenmangel zurückzuführen ist, wurde im Versuchsbestand Adenau ein spezieller „Eisen-Stammdüngungsversuch“ durchgeführt. Wie vorstehend beschrieben, hatten die Bäume an diesem Standort auf bodenappliziertes Eisenchelat weder im Kronenzustand noch hinsichtlich des Eisengehaltes in den Nadeln erkennbar reagiert. Da dies auf einer durch Manganüberschuß in der Bodenlösung behinderten Eisenaufnahme beruhen könnte, wurde Ende Mai 1994 an neun Douglasien mit typischen Schadsymptomen ein

Eisenpräparat unmittelbar in den Stamm appliziert. Hierbei handelt es sich um sogenannte Promi-Ferro-Kapseln der spanischen Firma Promisol S. A., Lerida.

Dieses Präparat wurde zur Beseitigung von Eisenchlorosen an Obstbäumen entwickelt. Die Zusammensetzung wurde von der Firma nicht preisgegeben. Nach Herstellerangaben soll es etwa zwei bis drei Jahre lang kontrolliert und kontinuierlich Eisen in den Saftstrom der Pflanzen abgeben. Hierbei werde der Saft-pH-Wert und das Redox-Gleichgewicht positiv beeinflusst und damit der Eisentransport in den Pflanzen verbessert.

An den behandelten Bäumen und an nicht behandelten Vergleichsbäumen mit vergleichbarer Symptomatik erfolgten jährlich Aufnahmen der Kronenverlichtung, der Vergilbung und weiterer Schadsymptome.

Bislang zeigte sich keine Verbesserung des Zustands der behandelten Bäume. Die Kronenverlichtung ist weitgehend unverändert geblieben. Die Vergilbung hat sich offensichtlich sogar verstärkt (Tab. 5). Auch die auf Eisenmangel hindeutende Ausbleichung des jeweils jüngsten Nadeljahrgangs blieb unverändert erhalten. Nadelanalysen durch das Botanische Institut der Universität Mainz an Probenmaterial aus den Jahren 1995 und 1996 zeigten keine erhöhten Gesamteisengehalte in den behandelten Bäume (KAUS 1997, in diesem Heft).

Tab. 5: Entwicklung des Kronenzustandes von mit Promi-Ferro-Kapseln versehenen Bäumen und unbehandelten Vergleichsbäumen am Standort Adenau – Abt. 84a; Düngemittelapplikation im Mai 1994

VLP: mittleres Nadelverlustprozent von je 9 Bäumen ± Standardabweichung;  
VGP: mittleres Vergilbungsprozent (differenzierte Vergilbungsbonitierung nur bei Aufnahme 1997).

Development of the crown condition of trees supplied with Promi-Ferro capsules and untreated reference trees of stand Adenau - Abt. 84a; application of the fertilizers in May 1994.

VLP: mean needle loss (in %) calculated from 9 trees ± standard deviation;

VGP: mean yellowing (in %) (differentiated yellowing boniture only for the survey 1997).

		Mai 1994	Juni 1995	März 1997
Behandelte Bäume	VLP	42 ± 19	57 ± 23	57 ± 26
	VGP	?	?	24 ± 24
Unbehandelte Bäume	VLP	43 ± 20	59 ± 25	54 ± 25
	VGP	?	?	13 ± 22

## 6. Elementverteilung in Bast und Splintholz symptomfreier und erkrankter Douglasien

Bei Apfelbäumen werden Rindenschäden (Internal Bark Necrosis - IBN) mit Manganüberschuß sowie mit Bormangel in Verbindung gebracht (SHELTON *et al.* 1970, CROCKER AND KENWORTHY 1973). Rindenproben mit den IBN-Symptomen zeigten Mangan- und Calciumanreicherungen in der Nähe der Nekrosen (CROCKER AND KENWORTHY 1973). Diese Beobachtung gab Anlaß zu prüfen, ob auch im Bereich des Harzflusses an den erkrankten Douglasien Mangananreicherungen oder auffällige An- bzw. Abreicherungen anderer Elemente auftreten. Dies könnte auf eine Beeinträchtigung des Nährelementtransports hindeuten und die zum Teil unzureichenden Nährstoffgehalte in Nadeln erkrankter Bäume auch auf Böden mit ausreichenden Nährstoffgehalten erklären helfen.

Untersucht wurden jeweils drei Bäume mit und ohne Harzflußsymptomen aus dem Untersuchungsbestand Adenau (101-Abt. 84, vgl. Kap. 5) und zum Vergleich drei Bäume aus einem in der Nähe gelegenen symptomfreien 31-jährigen Douglasienbestand mit ähnlichen Standortbedingungen (101-Abt. 174). Analysiert wurden die Gehalte an P, S, K, Ca, Mg, Na, Mn, Cl, Fe, Zn, Cu, B und teilweise auch N, Al, Cd, Pb im Bast- und im Splintholz aus verschiedenen Stammbereichen (Bäume ohne Harzfluß: Stammfuß, Mitte astfreier Bereich, 1 m unterhalb der grünen Krone, Mitte grüne Krone; Bäume mit Harzfluß: Stammfuß, untere Hälfte des Harzflußbereichs, obere Hälfte des Harzflußbereichs, oberhalb des Harzflußbereichs). Die Bäume des symptomfreien Bestandes wiesen im Bast deutlich geringere Mangangehalte und merklich höhere Kalium- und Magnesiumgehalte auf, als die Bäume des erkrankten Bestandes (Tab. 6). Innerhalb des erkrankten Bestandes zeigten Bäume mit Harzfluß höhere Mangangehalte und meist niedrigere Kalium- und Magnesiumgehalte als Bäume ohne Harzfluß. In den Spurennährstoffgehalten waren keine Unterschiede zwischen erkrankten und symptomfreien Bäumen zu erkennen. Die Befunde der Bastanalysen stimmen demnach mit entsprechenden Befunden von Nadelanalysen überein (vgl. Kap. 4).

In den Splintholzgehalten war keine Differenzierung nach der Baumvitalität zu beobachten. Auffällige Mangananreicherungen oder An- bzw. Abreicherungen anderer Elemente im Bereich des Harzflusses waren weder im Bast noch im Splintholz festzustellen.

Tab. 6: Elementverteilung im Bast symptomfreier und erkrankter Douglasien im Forstamt Adenau - Mittelwert aus drei Probestämmen und Standardabweichung; Angaben in ppm

Element distribution as found in the bast of symptom-free and diseased Douglas-firs in the forest district Adenau - means calculated from 3 sample trees and standard deviation; data are given in ppm.

**Symptomfreie Bäume aus einem ungeschädigten Bestand**

P	K	Ca	Mg		Mn	S	Cl	Al	Fe	Zn	Cu	B
690	4543	2130	652	10-11m	471	385	105	328	12	49	1,7	12,8
40	1101	351	166		91	40	9	68	2	19	0,7	2,4
600	4487	2163	572	5-5,8m	402	353	126	264	10	42	1,8	11,4
30	1019	371	194		38	41	32	12	4	24	0,9	2,6
590	4653	2470	582	3-3,5m	412	377	162	239	12	42	3,1	10,1
110	2210	607	180		114	49	33	34	7	23	2,3	1,4
580	3917	2163	507	0,3m	341	336	158	150	10	34	1,7	8,1
50	510	761	219		159	20	10	11	2	24	1	1,6

**Symptomfreie Bäume aus einem geschädigten Bestand**

P	K	Ca	Mg		Mn	S	Cl	Al	Fe	Zn	Cu	B
560	3943	1683	375	11-12m	1669	302	134	439	19	42	2	14,4
180	756	138	107		752	62	51	140	6	4	0,4	3
530	3787	1750	344	5-5-7m	1694	277	137	449	19	44	2,2	11,1
170	509	118	87		715	47	48	168	5	5	0,4	1
550	3830	1740	347	3-3,4m	1700	288	152	447	20	47	2,8	10,2
150	952	171	104		861	33	31	200	9	10	0,3	1,7
580	4110	2220	408	0,3m	975	307	168	241	13	39	3,2	8,7
180	1287	240	96		106	72	48	166	1	3	0,3	1,6

**Bäume mit Harzfluß aus einem geschädigten Bestand**

P	K	Ca	Mg		Mn	S	Cl	Al	Fe	Zn	Cu	B
600	3190	2493	443	13-15m	4100	405	224	286	22	60	3,3	13,8
50	104	888	30		881	81	49	233	9	15	0,6	4,7
580	2507	2273	245	8,5-10m	4010	419	151	298	21	62	4,9	10
30	476	492	43		1720	30	71	206	8	18	1,1	1,9
630	3003	3023	286	5-8m	4503	433	210	333	22	77	5,1	10,1
20	709	910	88		2372	82	69	271	10	33	1,2	2,9
550	2610	2670	281	0,3-2m*	4153	364	166	365	25	70	4,3	9,2
60	452	1195	93		1713	42	66	260	18	20	1,3	3,2

\* Harzflußbereich

## 7. Diskussion und Schlußfolgerungen

Die bis Mitte der 60er Jahre zurückreichenden Untersuchungen verschiedener Institutionen zur Douglasienerkrankung in Rheinland-Pfalz und in der angrenzenden nordrhein-westfälischen Nordeifel erbrachten keine Hinweise auf eine Verursachung der Schäden durch Tiere, Nadel- und Wurzelpilze oder andere Organismen. Demgegenüber unterstützen die umfangreichen Nadel- und Bodenanalysen die von MEYER (1985) formulierte Hypothese einer durch Manganüberschuß induzierten Erkrankung. In der Mehrzahl der untersuchten erkrankten Douglasienbestände wurden sowohl im Boden als auch in den Nadeln exzessiv hohe Mangangehalte gefunden. Dabei wiesen erkrankte Bäume meist höhere Mangangehalte auf als noch symptomfreie Bäume. Häufig waren hohe Mangangehalte mit sehr niedrigen Nadelgehalten an Phosphor und Magnesium verbunden – auch auf Standorten, an denen die Gehalte dieser Elemente im Boden ausreichend erscheinen. Dies könnte auf eine Behinderung der Phosphor- und Magnesiumaufnahme bei hohen Mangangehalten im Boden hindeuten. Allerdings ist bislang nicht bekannt, auf welchem Mechanismus eine derartige Behinderung beruhen kann.

Die hiesigen Nadelanalysen geben keine Hinweise auf eine Verursachung der Schäden durch manganinduzierte Spurenelementmängel, wie von SCHÖNE (1987, 1992 a, b, c) vermutet. Die festgestellten Eisen-, Kupfer-, Zink-, Bor- und Molybdän-Gesamtgehalte in den Nadeln erkrankter Douglasien lagen in der Regel in einem Bereich, der für die Versorgung der Douglasien als ausreichend erachtet wird und zeigen keine Differenzierung zwischen erkrankten und symptomfreien Bäumen. Denkbar ist allerdings, daß die überaus hohen Mangangehalte z.B. über eine Beeinflussung der Redoxverhältnisse den physiologisch verfügbaren Anteil des jeweiligen Spurennährstoffs reduzieren. Unter diesen Umständen wäre auch bei vergleichsweise hohen Gesamtgehalten des jeweiligen Spurenelements eine Beeinträchtigung der Spurenelementernährung nicht auszuschließen. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden eingehende physiologische Untersuchungen durch das Institut für Allgemeine Botanik der Universität Mainz angeregt (vgl. KAUS 1997, in diesem Heft).

Wie bereits von MEYER (1985) aufgeführt, dürften die hohen Konzentrationen mobiler Manganionen im Ökosystem auf einer aktuell ablaufenden Pufferung von atmogen

eingetragenen oder im Ökosystem intern gebildeten Säuren durch Manganoxide beruhen. Pufferreaktionen durch Manganoxide spielen insbesondere im pH-Bereich zwischen 4 und 5 eine wesentliche Rolle (ULRICH 1981). Bei pH-Werten  $> 5$  wird Mangan in der Bodenmatrix fest gebunden und gelangt nur in sehr geringen Mengen in den Stoffkreislauf. Bei fortschreitender Bodenversauerung wird Mangan demgegenüber nahezu vollständig mit dem Sickerwasser aus dem Ökosystem ausgetragen. Die Mangangehalte im Boden und in den Vegetationsorganen werden dann sehr klein. Hohe Mangangehalte deuten daher auf eine beginnende, noch nicht allzuweit fortgeschrittene Versauerung hin. Aufgrund der hohen Mobilität der Manganionen bestehen zwischen den Mangankonzentrationen aller Ökosystemkompartimente meist sehr enge Korrelationen (BLOCK UND WUNN 1996).

Da der Vorrat an Manganoxiden im allgemeinen sehr begrenzt ist und im Zuge der Bodenversauerung aufgebraucht wird (vgl. ULRICH 1981), ist es durchaus möglich, daß die Mangankonzentrationen und hiermit möglicherweise verbundene Schadeinwirkungen im Laufe der Zeit zurückgehen. Allerdings ist der Zeithorizont dieser Veränderungen derzeit nicht abschätzbar. Auf der anderen Seite erscheint es auch denkbar, durch pH-Anhebungen mittels Kalkung Mangan stärker an der Bodenmatrix zu binden und so die Gehalte mobiler Manganionen zu reduzieren. Allerdings ist die Tiefenwirksamkeit einer Kalkungsmaßnahme meist sehr begrenzt, da eine Einarbeitung des Kalks in der Regel nicht möglich ist (aufstockender Bestand, Hanglage etc.). Hierauf ist es wohl auch zurückzuführen, daß es im diagnostischen Düngeversuch Adenau trotz der hohen Aufwandmenge von 6 t feinvermahlenem Dolomit/ha bislang nicht gelungen ist, die Manganaufnahme in die Nadeln zu reduzieren.

Die nadelanalytischen Befunde und vor allem die Ergebnisse des diagnostischen Düngeversuchs Hochspeyer belegen, daß nicht alle mit Nährelementmangelsymptomen verbundenen Douglasienschäden in Rheinland-Pfalz mit Manganüberschuß in Verbindung stehen. In einigen untersuchten Beständen haben offensichtlich geogen und durch die Nutzungsgeschichte bedingte Nährstoffmängel auch bei geringen Mangangehalten die Schädigung hervorgerufen. In diesen Beständen war kein Harzsticken an Stamm und Ästen zu beobachten. Demgegenüber war dieses Symptom in allen Schadbeständen mit exzessiv hohen Mangankonzentrationen in den Nadeln immer zu finden. Möglicherweise ist das Harzsticken ein differentialdiagnostisches Merkmal für die manganinduzierte Erkrankung.

In erkrankten Douglasienbeständen ohne Harzfluß, die als Humusform Rohhumus aufweisen und in lichten Partien zur Ausbildung von *Calluna*-Vegetation neigen, sollte über Nadelanalysen die Phosphorversorgung geprüft werden. Bei unzureichenden Phosphorgehalten erscheint auf diesen Standorten eine Phosphatdüngung mit weicherdigem Rohphosphat oder in Verbindung mit Kalkung mit teilaufgeschlossenen Phosphaten angebracht.

In Douglasienbeständen, in denen die Schäden vermutlich durch Manganüberschuß verursacht werden (Harzsticken, sehr hohe Mangangehalte in den Nadeln) können demgegenüber bislang keine Maßnahmen zur Reduzierung der Manganüberschüsse oder zur Beseitigung von induzierten Nährelementmängeln empfohlen werden. Die Kalkung erwies sich bei der Verringerung der Manganaufnahme als nicht hinreichend wirksam.

Auch Spurenelementdüngungen erscheinen beim gegenwärtigen Wissensstand als nicht sinnvoll, da bislang nicht hinreichend geklärt ist, inwieweit Spurenelementmängel an der Schadentstehung beteiligt sind. Außerdem handelt es sich hierbei lediglich um eine Symptombekämpfung mit vermutlich, wenn überhaupt, zeitlich nur sehr begrenzter Wirkungsdauer.

## 8. Literatur

- BAULE, H. (1978): Grundlagen der Forstpflanzenernährung und -düngung. -Die Bedeutung der einzelnen Nährstoffe-. Forstpflanzen - Forstsamen Nr. II, 78, S. 34-42.
- BERGMANN, W. (1988): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 1988, 762 Seiten.
- BLOCK, J., BOPP, O., GATTI, M., HEIDINGSFELD, N., ZOTH, R. (1991): Waldschäden, Nähr- und Schadstoffgehalte in Nadeln und Waldböden in Rheinland-Pfalz. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz -Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Nr. 17/91.
- BLOCK, J., HEIDINGSFELD, N., SCHÜLER, G. (1992): Ökochemische Kennwerte aus Boden- und Nadelanalysen zur Beurteilung der Kalkungs- bzw. Düngungsbedürftigkeit der Wälder. In: Unterlagen zum Seminar: „Aktuelle Ergebnisse aus der Arbeit der Forstlichen Versuchsanstalt des Landes Rheinland-Pfalz, Juli 1992.

- BLOCK, J. UND WUNN, U. (1996): Beziehungen zwischen Bodenparametern, Nadelinhaltsstoffen und Kronenzustand.  
*In: Sensitivität rheinland-pfälzischer Waldböden gegenüber Bodendegradation durch Luftschadstoffbelastung. Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz* Nr. 35/96, S. 15-42.
- CARTER, R., OTCHERE-BOATENG, I., KLINKA, K. (1983): Dieback of a 30-year-old Douglas-fir plantation in the Brittain River Valley, British Columbia: Symptoms and Diagnosis. *Forest Ecology and Management*, 7, S. 249-263.
- CROCKER, T. AND KENWORTHY, A. (1973): Investigations of internal bark necrosis in 'Delicious' apple trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 98(6), S. 559-562.
- DELB, H. (1989): Einzelbaumweise CIR-Luftbildinterpretation zur Kartierung kleinräumlicher Verteilungsmuster in geschädigten Douglasienbeständen. Diplomarbeit am Institut für Forsteinrichtung und Forstliche Betriebswirtschaft – Abteilung Luftbildmessung und Fernerkundung, Universität Freiburg, 92 Seiten.
- FIEDLER, H. J. UND RÖSLER H. J. (1988): Spurenelemente in der Umwelt. Enke Verlag Stuttgart, 278 Seiten.
- LANG, F. V. (1995): Molybdän auf sauren Waldstandorten –Vorräte, Mobilität und DOC-Sorptionskonkurrenz-. Bayreuther Bodenkundliche Berichte, Bayreuth 1995, Band 45.
- MEYER, M. (1985): Bodenversauerung und Mangan-Überschuß. Untersuchungen in Douglasienbeständen über Buntsandstein in der Nordeifel. Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen, 82 Seiten.
- PANKERT, CH. (1984): Untersuchungen über neuartige Schäden in Douglasienbeständen im Raum Gemünd/Eifel. Diplomarbeit an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Göttingen, 52 Seiten.
- SCHÖNE, D. (1987): Eine Mangan- induzierte Eisenchlorose bei Douglasie.  
*Allgemeine Forst Zeitschrift*, Nr. 45/1987, S. 1154-1157
- SCHÖNE, D. (1992a): Standorts- und immissionsbedingte Ernährungsstörungen bei Douglasie im Mosel-Eifelraum. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 163. Jg., 3, S. 53-60.
- SCHÖNE, D. (1992 b): Standort- und immissionsbedingte Wachstumsstörungen bei Douglasie. *Allgemeine Forst Zeitschrift* Nr. 2/1992, S. 100-103.
- SCHÖNE, D. (1992c): Hypothesen und Beobachtungen zu Mangantoxizität und Spurenelementernährung bei Douglasien im Mosel-Eifelraum. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 163. Jg., 5, S. 88-93.
- SCHÖNHAR, S. (1971): Wurzelfäule an Douglasie. *Allgemeine Forst Zeitschrift* 26, S. 930.

- SEIBT, G. (1971): Empfehlungen zur Walddüngung in Nordwestdeutschland. Erkennungsmerkmale von Nährstoffmängel und Herbizideinwirkung. *Forst- und Holzwirt*, Nr. 9, S. 180-185.
- SHELTON, J., ZEIGER, D., JACKSON, W. (1970): Distribution of manganese-54 in Delicious apple trees in relation to the occurrence of internal bark necrosis (IBN). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 95: S. 758-762.
- ULRICH, B. (1981): Ökologische Gruppierung von Böden nach ihrem chemischen Bodenzustand. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 144, S. 289-305.
- VAN DEN BURG, J. (1985): Foliar analysis for determination of tree nutrient status – A compilation of literature data. Rijksinstituut Voor Onderzoek In De Bos- en Landschapsbouw „De Dorschkamp“ Wageningen, Rapport nr. 414, 615 Seiten.
- ZOTH, R. (1990): Untersuchungen zur Douglasienerkrankung in Rheinland-Pfalz. Interner Bericht der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, 127 Seiten.

# Nährstoffmängel, Wuchsanomalien und Manganüberschuss bei Douglasie im Mosel-Eifelraum

Dieter Schöne  
Forstamt Irrel  
D-54666 Irrel

**Keywords:** Douglas-fir, distorted growth, growth anomalies, manganese toxicity, boron deficiency, molybdenum deficiency, nitrate nutrition, acid rain, climate change, fertilization, Internal Bark Necrosis

## Summary

Title of the paper: Nutrient deficiencies, distorted growth and Internal Bark Necrosis of Douglas-fir in Germany's Eifel and Mosel regions.

Douglas-fir, introduced to Germany about 100 years ago, has produced superb, healthy stands of valuable timber during the first rotation. During the last 20 years however, acid rain and depositions of sulfur and nitrogen have produced nutritional disorders which are classified as conventional nutrient deficiencies, distorted growth in sapling stands, and an extreme excess of manganese leading to Internal Bark Necrosis (IBN) in pole size and older stands. The disorders may occur in any combination, with a particularly conspicuous association between growth anomalies and IBN. A simple prognosis model is developed and countermeasures in the form of applications of lime, macro- and micronutrients are proposed at an early stage in stand development.

**Schlüsselwörter:** Douglasie, Wachstumsanomalien, Mangantoxizität, Bormangel, Molybdänmangel, Nitraternahrung, Saurer Regen, Immissionen, Klimawandel, Treibhauseffekt, Düngung, Innere Rindennekrose

## Zusammenfassung

Eine vor etwa 100 Jahren begründete erste Douglasiengeneration hat im Eifel-Moselraum gesunde, wüchsige Starkholzbestände entstehen lassen. Unter dem Einfluß von Immissionen breiten sich nun in jüngeren Beständen zunehmend Wuchsstörungen aus. Sie erscheinen als herkömmliche Nährstoffmängel von P, K, Mg, als Wuchsanomalien im Dickungsstadium und als eine stets von Manganüberschuß begleitete Innere Bastnekrose (IBN). Die Ernährungsstörungen können einzeln oder zusammen auftreten. Zwischen den Triebanomalien und IBN scheint eine besonders enge Verflechtung zu bestehen. Ein einfaches Prognosemodell wird entwickelt. Kalkungen sowie Düngungen sollten bereits bei der Begründung oder im Jungbestand vorgenommen werden.

## 1. Ausblick

Zur Evolution der Baumarten gehört auch ihre entwicklungsgeschichtliche Anpassung an ökologische Besonderheiten ihres natürlichen Lebensraumes. Nach etwa einhundertjähriger Erfahrung mit der Gastbaumart Douglasie wissen wir, daß unsere forstlichen Vorfahren im Hinblick auf die klimatischen und edaphischen Ansprüche der importierten Herkünfte im wesentlichen eine glückliche Wahl trafen: Wir ernten mittlerweile kerngesunde Douglasienstarkhölzer aus diesen ersten Anbauten und vermarkten sie für hochwertige Verwendungen zu Preisen, die jene für Fichte übertreffen.

In unseren Wäldern mehren sich aber Bilder von augenscheinlich kümmernden, kränkenden oder mißgeformten jüngeren Douglasienbeständen (MEYER, 1985). Sie sind vor allem eine Folge immissionsbedingten Wandels unserer Standorte und gleichzeitig Mahnung, derzeit ablaufende und weitere, in Zukunft durch den Treibhauseffekt zu erwartende Veränderungen bereits jetzt im Anbaukonzept und in der waldbaulichen Behandlung der Douglasie zu berücksichtigen.

Zum einen wissen wir, daß sich Waldböden immissionsbedingt durch den Eintrag von Stickstoff, Schwefel, Schwermetallen und Protonen verändern, und wir können die meist negativen Folgen für die Ernährung der Waldbäume nach vielen Jahren Waldschadensforschung recht gut abschätzen. Für den Douglasienanbau in Mitteleuropa zeichnen sich hieraus bereits seit etwa zwei Jahrzehnten Risiken ab, welche die optimistische Erwartungen auf hohe Erträge dämpfen und die Zukunft der Gastbaumart in unseren Wäldern überschatten könnten (MEYER, 1985; SCHÖNE, 1987, 1992b, c).

Mittlerweile wissen wir aber ebenfalls recht gut, daß, und wie auch unser Klima sich wandeln wird (Abb. 1, s. S.78). Wir brauchen die Douglasie nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen, sondern auch als Baumart, welche die künftig trockeneren, wesentlich wärmeren Sommer besser ertragen kann und welche aus ihrer Heimat die besondere Fähigkeit mitbringt, einen erheblichen Teil ihrer Assimilation von CO<sub>2</sub> und Nährstoffen im dann wesentlich milderen Winter zu vollbringen. Mehr noch: Wir brauchen die Douglasie auch, weil sie in einer globalen Strategie gegen den Klimawandel (NABUURS AND MOHREN, 1993) weit mehr des Treibhausgases CO<sub>2</sub> bindet und bei energetischer Nutzung ihres hohen Zuwachses fossile Energieträger weit effektiver substituiert als andere Baumarten (vgl. hierzu Abb. 2, s. S.79).

Es gilt also, die bestechenden Möglichkeiten der Gastbaumart Douglasie zu nutzen und diese Vorzüge dem verbreiteten Widerstand gegen den Anbau des "Exoten" entgegenzuhalten. Gleichzeitig drängt aber die Notwendigkeit, standörtliche und immissionsbedingte Risiken wahrzunehmen, sie richtig einzuschätzen und sie zu minimieren, ehe Rückschläge im Anbau mit betriebswirtschaftlich und forstpolitisch negativen Auswirkungen eintreten.

Welche Ernährungsansprüche bringt die Gastbaumart aus der Heimat mit? Entsprechen die Standorte eines typischen 'Douglasienforstamtes', des Forstamtes Irrel in der Südeifel, jetzt und künftig diesen Anforderungen? Lassen sich frühere Wahrnehmungen im Forstamt Salmtal und hieraus formulierte Hypothesen bekräftigen (SCHÖNE, 1987; 1992a, b, c)?

## Gastbaumart Douglasie und der Klimawandel

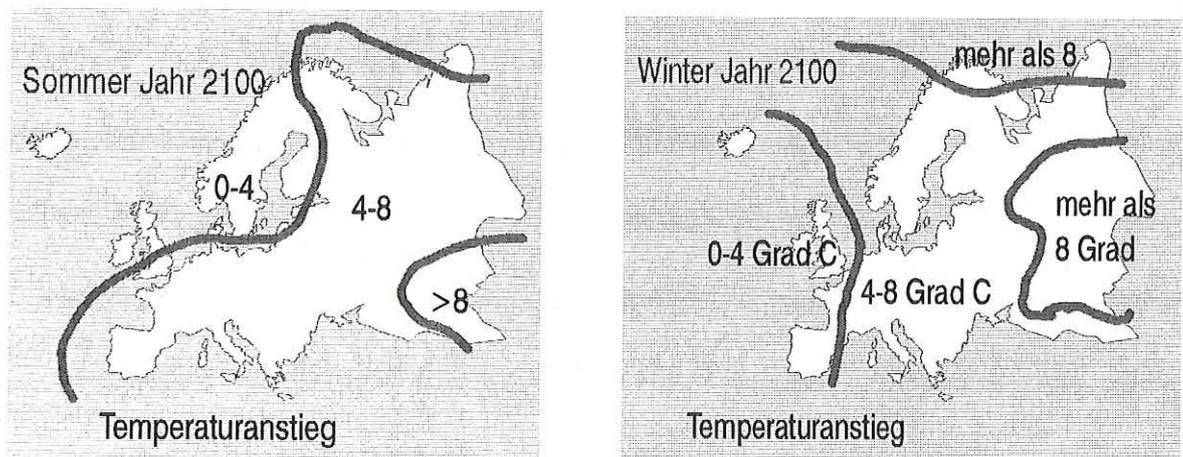
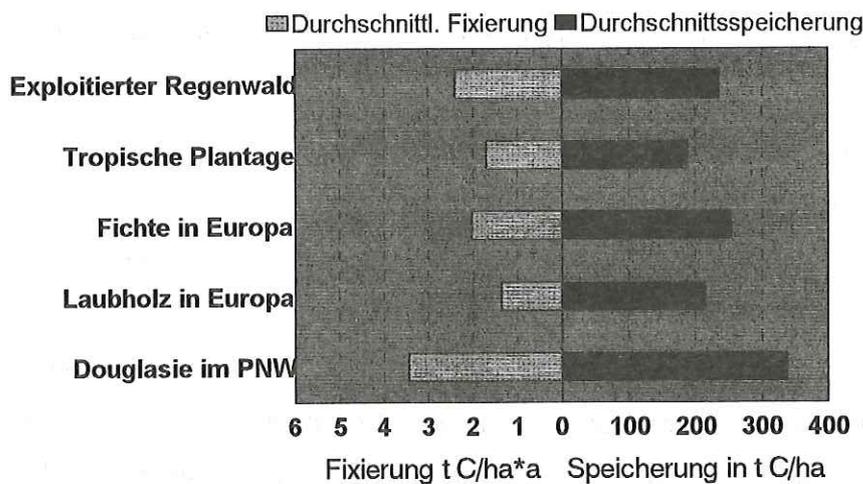


Abb. 1: Voraussichtliche Durchschnittstemperaturen im Sommer- und Winterhalbjahr im Jahre 2100 (ungefähr, nach SCHURMANN, 1995)  
 Expected mean temperatures during summer and winter of the year 2100.

## Gastbaumart Douglasie und der Klimawandel



nach Nabuurs and Mohren, 1994

Abb. 2: Durchschnittliche jährliche Kohlenstofffixierung und Durchschnittsvorrat an Kohlenstoff in verschiedenen Waldtypen.

Average annual flux of carbon and mean carbon storage in different forest types.

## 2. Methoden

Analog der früheren Untersuchungen wurden 46 Douglasienbestände verschiedenen Alters auf sauren Standorten des Unterdevonischen Tonschiefers und des Liassandsteines im Forstamt Irrel in einer systematischen Stichprobe ausgewählt und die Verteilungen ihrer Nährstoffgehalte jenen in der Heimat der Douglasie gegenübergestellt (ZINKE AND STANGENBERGER, 1979). Im Februar entnommene Proben einjähriger und zweijähriger Nadeln des 7. Quirls wurden durch die Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt (LUFÄ) Speyer analysiert. Die in der Stichprobe gewählten Bestände stocken nach der durch Fingerprobe bestimmten Textur auf nahezu reinen Sandböden, sandigen und schluffigen Lehm Böden, bis hin zu einigen sehr schluffigen Hangaueböden im Tonschiefergebiet. Die Plateaulagen des Lias enthalten diluviale Lehmbeimischungen. Die Spanne der vorgefundenen Bodentypen reicht von ausgeprägten Podsolen auf armen

Ausprägungen des Lias, über Podsolbraunerden, podsoligen Braunerden bis zu gut mesotrophen Braunerden in den Hangauen. In jedem Probebestand wurden Standortleistungsstufe, Humus- und Wuchsform, Chlorosen, Rindenrisse, Harzen und der Farbkontrast von ein- zu mehrjährigen Trieben angesprochen, und zwar vor der Einsicht in die Nadelanalyseergebnisse als Betandesdurchschnittswert.

Die gefundenen, empirischen Häufigkeitsverteilung der Konzentrationen für die untersuchten Nährstoffe N, P, K, Ca, Mg, Mn und B wurden als Verteilungstichprobe behandelt und der so hergeleiteten Verteilung 3-parametrische Weibull-Funktionen angepaßt (CLUTTER *et al.*, 1983). Die gesamte Darstellung beruht strenggenommen auf Verhältnissen in den Forstämtern Irrel und Salmtal. Behutsame Extrapolation auf andere Eifel- und Moselforstämter mit ähnlichen geologischen und klimatischen Verhältnissen erscheint aber zulässig.

### **3. Vergleich der Ernährung im Herkunftsgebiet mit Beobachtungen aus der Eifel**

Zunächst überraschend enthalten etwa 65% der Douglasienbestände im amerikanischen Herkunftsgebiet suboptimale **Stickstoffgehalte** (Abb. 3). Dies entspricht aber in guter Übereinstimmung dem Anteil der Douglasienbestände, die dort in einem regionalen Düngeversuch auf Stickstoffzufuhr mit Mehrzuwachs reagierten (MILLER *et al.*, 1986). Aufgrund der klimatischen und edaphischen Verhältnisse, wohl auch als Folge häufiger Waldbrände, ist also das Wachstum der Douglasie in der Heimat natürlich stickstoffbegrenzt. Es scheint zudem bedeutsam, daß die Douglasie dieses Element dort überwiegend als Ammonium aufnimmt (EDMONDS *et al.*, 1989) und nicht einmal über die sonst für Holzarten typische Fähigkeit verfügt (MENGEL AND KIRKBY, 1987b), das Nitrat überwiegend bereits in der Wurzel zu reduzieren (LI *et al.*, 1972).

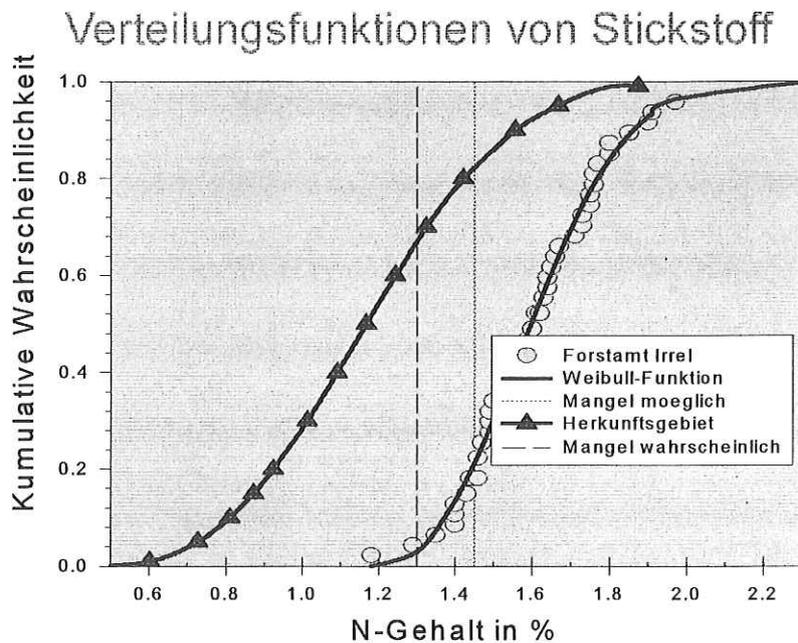


Abb. 3: Verteilungsfunktionen von Stickstoff in einjährigen Douglasiennadeln im Forstamt Irrel und im Herkunftsgebiet (ZINKE AND STANGENBERGER, 1979).

Distribution functions for nitrogen in current-year needles of Douglas-fir in the Irrel Forest and in the Pacific Northwest.

Im Vergleich hierzu enthalten Douglasien im Forstamt Irrel 'übernatürlich' hohe Stickstoffgehalte (Abb. 3). Zudem nimmt die Douglasie aller Wahrscheinlichkeit nach dieses Element hier nicht als Ammonium, sondern als Nitrat auf, welches sich in Eifelböden offenbar anreichert (MEYER, 1985). Sowohl erstaunlich hohe Gehalte von **Calcium** als auch die im Vergleich zum Herkunftsgebiet absurd hohe, nicht dem Bedarf angepasste Aufnahme von **Mangan** (Abb. 4, s. S.82) finden hierdurch eine Begründung (SCHÖNE, 1992a). Das hohe Angebot des Mangans im Boden ist darauf zurückzuführen, daß in unseren versauerten, mitunter verdichteten oder humusarmen, immissionsbeeinflussten Waldböden das zweiwertige lösliche Mangan als Folge einer Pufferreaktion von Manganoxiden oft Bodenlösung und Austauscherkomplex beherrscht (MEYER, 1985). Dazu kommen vermutlich eine Vielzahl von Versauerungs- und Reduktionsvorgängen in der Rhizosphäre der Douglasien als Reaktion auf Nährelementmangel (SCHÖNE, 1992a). Auf trockenen, armen Sandböden des Mittleren Buntsandsteines wurden so beispielsweise um Douglasienwurzeln Reduktionszonen beobachtet, die jenen der Eiche auf staunassen Standorten nicht nachstehen (Abb. 5, s. S. 82).

## Verteilungsfunktionen von Mangan

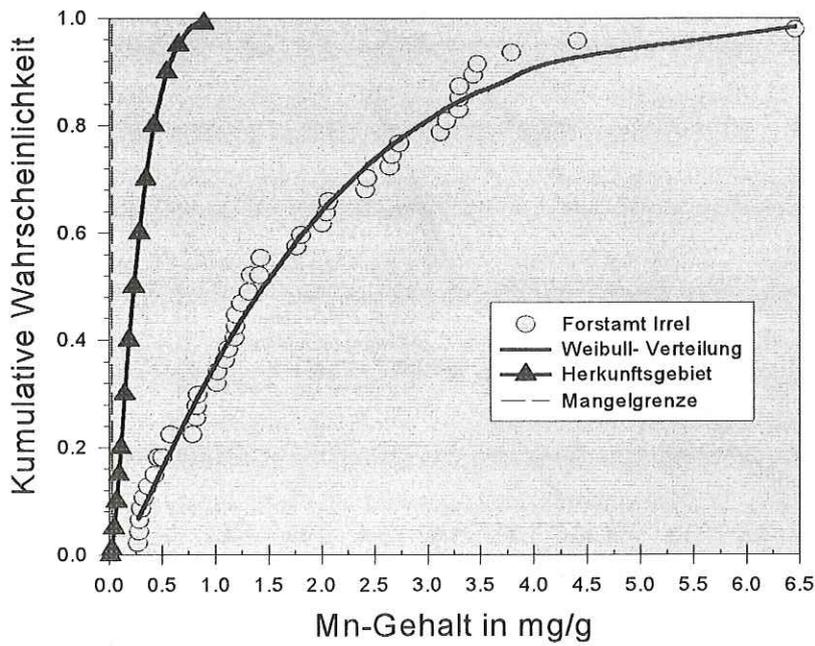


Abb. 4: Verteilungsfunktionen von Mangan in einjährigen Douglasiennadeln im Forstamt Irrel und im Herkunftsgebiet.  
Distribution functions for nitrogen in first-year needles of Douglas-fir in the Irrel Forest and in the Pacific Northwest.



Abb. 5: Bleichungszonen um Douglasienwurzeln auf trockenem Buntsandsteinboden.  
Bleaching in the root zones of Douglas-fir on dry podzolic sandstone soil.

Typische Böden im Herkunftsgebiet der Douglasie befinden sich vielfach noch im Bereich wesentlich höherer pH-Werte (SCHÖNE, 1992b), weisen sehr hohe Gehalte von organischer Substanz und - durch Beimischungen vulkanischer Asche und hohe biologische Aktivität - extrem niedere Lagerungsdichten auf. Ihre Sorptionsfähigkeit für Mangan ist derart hoch, daß es im Versuch nicht gelang, selbst mit einer Gabe von 12.000 kg/ha  $MnSO_4$  künstlich Toxizität hervorzurufen (RADWAN *et al.*, 1979). Im Herkunftsgebiet spielt Mangantoxizität deshalb keine Rolle.

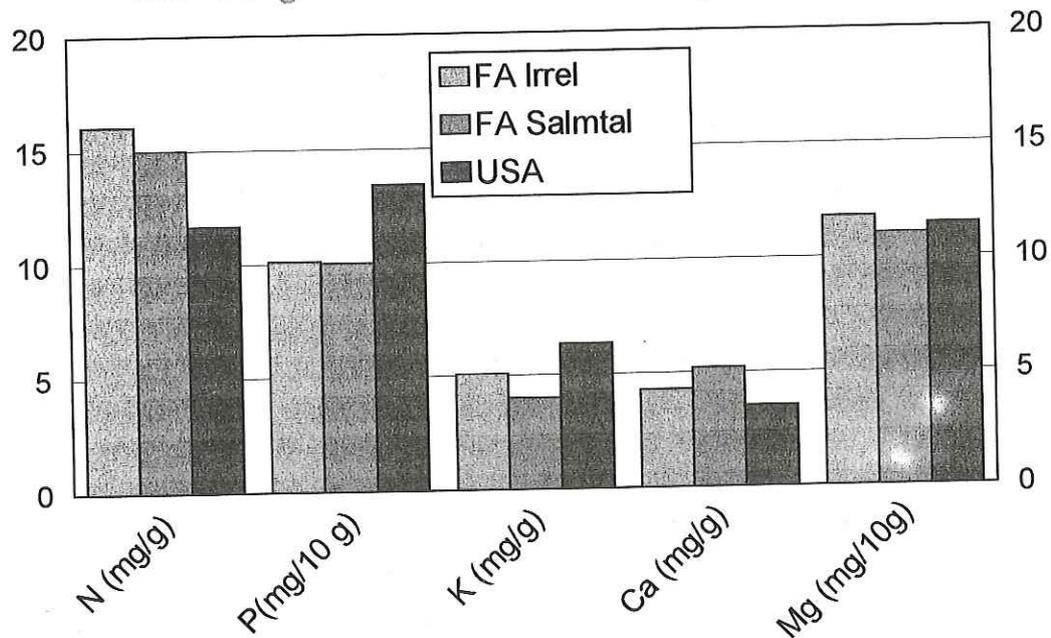
Lediglich an der gebirgigen Vorkommengrenze der Art bei sehr hohen Niederschlägen und verhältnismäßig sauren Böden spricht man bei Nadelmangangehalten von um 1.500 ppm bereits von einem die Verbreitung begrenzenden "manganese curtain" (ZINKE AND STANGENBERGER, 1979). Unter diesen Bedingungen erscheint es unwahrscheinlich, daß sich im hauptsächlichen Herkunftsgebiet selbst Mn-resistente Douglasienprovenienzen entwickelt haben könnten. Wenn es aber, wie wahrscheinlich, zumindest Unterschiede in der Manganaufnahme verschiedener Herkünfte gibt (SCHÖNE, 1971), so dürften tolerantere Provenienzen auch im Gebiet der stärker versauerten Böden in Küstennähe zu finden sein (PORADA, 1987).

Wie im Forstamt Salmtal leiden Douglasien im Forstamt Irrel nahezu ausnahmslos unter unzureichenden Gehalten von **Phosphor**, häufig auch an Mangel an **Magnesium** und **Kalium**. Vergleicht man die Ernährungssituation der Douglasie in den beiden Forstämtern, so treten deutliche Ähnlichkeiten und gemeinsame Unterschiede zum Ursprungsland hervor (Abb. 6, s. S.84).

#### 4. Folgen der Ernährungsstörungen im Gastland

Es überrascht nicht, wenn aus dieser Vielzahl von Ernährungsproblemen für Douglasien in der Eifel Wachstums- und Gesundheitsstörungen folgen. Für deren Verständnis und die waldbauliche Behandlung gilt es, drei ernährungsbedingte Problemkreise zu unterscheiden, auch wenn sie häufig gemeinsam in Erscheinung treten können.

## Ein Vergleich zur Ernährung in USA



1. Nadeljahrgang (Median der Verteilung)

Abb. 6: Mittelwerte (Median) der N-, P-, K-, Ca- und Mg-Gehalte einjähriger Douglasien-nadeln in den Forstämtern Irrel, Salmtal und im Herkunftsgebiet (rechte Säule) (ZINKE AND STANGENBERGER, 1979).

Medians of the distribution functions for N, P, K, Ca, Mg for first-year Douglas-fir needles from the Irrel and Salmtal forests and from the Pacific Northwest (right column).

### 4.1 Herkömmliche Nährstoffmängel

Douglasien aller Altersstufen mit schütterer Benadelung, dem Fehlen älterer Nadeljahrgänge, oft sehr schlankem, lichtem Wuchs, bräunlichen, bronzenen oder gelblichen Verfärbungen der älteren Nadeln oder deren Spitzen bei normal grüner Farbe des jüngsten Triebes leiden an einfachem oder mehrfachem Mangel der Nährstoffe Phosphor, Magnesium und Kalium bei reichlichem Gehalt an Stickstoff. Bei diesen Symptomen gilt es lediglich, Schütte als Ursache auszuschließen.

Derartige Mangelercheinungen treten aber schon seit langem und auch bei anderen Baumarten auf. Bemerkenswert ist allenfalls der stete, ausgeprägte Phosphormangel der Douglasien: Böden im Herkunftsgebiet enthalten große Mengen von Sesquioxiden und Allophan, einem amorphen, vulkanischer Asche entstammendem Mineral mit hoher Sorptionskraft für Phosphat. Douglasien nehmen daher auch im Herkunftsgebiet Phosphat unter erschwerten Bedingungen auf, entweder bei milden Wintertemperaturen aus der Mineralisation der organischen Auflagen oder durch Assoziation mit Mykorrhizen. Beide

Mineralisation der organischen Auflagen oder durch Assoziation mit Mykorrhizen. Beide Mechanismen wirken unter hiesigen Verhältnissen nur eingeschränkt. Zusätzlich übersteigen hiesige Stickstoffeinträge von jährlich 30-40 kg/ha bei weitem die Immissionen in Höhe von 1-2 kg/ha im Ursprungsland (EDMONDS *et al.*, 1989). Interessanterweise führten jährlich wiederholte Stickstoffdüngungen auch im Herkunftsgebiet - in einer unbeabsichtigten Simulation hiesiger Immissionen - zu stetig abnehmenden Phosphor- und Kaliumgehalten (PETERSON *et al.*, 1986). Über Verdünnungseffekte hinaus hemmt Nitrat die Phosphataufnahme (BERGMANN, 1983c) auch spezifisch. Auch im Forstamt Salmtal reduzierte eine Stickstoffdüngung die Phosphor- und Kaligehalte (MÜLLER, 1986). Derartige konventionelle Mangelschäden können durch bedachte Düngungs- und Kalkungsmaßnahmen behoben werden.

## 4.2 Wuchsanomalien in Douglasienjungwüchsen

Sehr häufig und leider noch immer vielfach unbeachtet entwickeln Douglasienjungbestände der Region zwischen dem ausgehendem Kulturstadium und dem Stangenholzalter Wachstumsanomalien (Abb. 7, 8), die von Knospenaustriebsstörungen, Schlängelwuchs, Zwieseln und Verbuschungen bis hin zu bizarren Verformungen der Haupt- und Seitentriebe reichen (Schöne, 1992b). Eingehende Untersuchungen dieses Phänomens in Nordamerika (CARTER *et al.*, 1986) deuteten allenfalls auf einen mäßigen Einfluß der Herkunft - bis zu 10% gestörter Wuchsformen in einem Bestand gelten als normal -, dafür aber auf standörtliche Besonderheiten, Feuer und Störungen im Bereich der Ernährung mit Stickstoff, Bor und Zink als häufigste Ursache. Manganüberschuß wurde dort nicht beobachtet.

Wie Bormangel beeinflusst aber auch bloßer Manganüberschuß selbst den Auxinhaushalt, beeinträchtigt die apikale Dominanz und bewirkt Verbuschungen und Wirrwuchs (MARSCHNER, 1986c). Von gestörtem Wachstum betroffenen Kulturen und Dickungen wiesen - zusätzlich zu eigentlich nur mäßig erhöhten Manganspiegeln - bei uns Borgehalte im Bereich von nur 9 bis 20 ppm auf, was bei hohen Stickstoffgehalten zumindest latenten, induzierten Mangel anzeigt (EDMONDS *et al.*, 1989). Jährlich wiederholte Stickstoffgaben führten auch in der Heimat der Douglasie zu Bormangel (MILLER *et al.*, 1986; PETERSON *et*

al., 1986). Die Boraufnahme von Douglasienprovenienzen kann bei gleichem Standort sehr unterschiedlich sein (TURNER, 1979). Deutsche Blaufichten-Weihnachtsbaumkulturen zeigen häufig klassische Bormangelsymptome (MATSCHKE UND MENZINGER, 1992).



Abb. 7,8: Douglasien mit Wuchsanomalien.  
Distorted growth in young Douglas-fir plantations.

Spurenelementmängel häufen sich auf bestimmten Standorten. Ein Schwerpunkt für das Auftreten von Bormangel sind Trockenstandorte. Die kontinuierliche Versorgung mit Bor ist hier problematisch, wird dieses Nährelement doch lediglich passiv mit dem Transpirationsstrom aufgenommen und transportiert. Dadurch ist es beispielsweise möglich, aus dem Borgehalt von Pflanzenteilen auf ihre Transpirationsaktivität zu schließen (MARSCHNER, 1986e). Zudem ist Bor in der Pflanze extrem immobil und wird nicht aus besser versorgten Pflanzenteilen in Wachstumszonen nachgeliefert. Auch

Nadelanalysen, üblicherweise nach der Vegetationszeit an den Nadeln eines Triebes vorgenommen, sagen daher wenig über akuten Bormangel aus, der sich in wachsenden Pflanzenteilen schon innerhalb weniger Trockentage entwickeln kann. Tatsächlich werden unsere Douglasien nach hiesigen Beobachtungen auch auf Trockenstandorten überdurchschnittlich stark von Triebdeformationen betroffen. Im Spätsommer durchgeführte Blatt- und Nadelanalysen in Jungbeständen von kranken Douglasien und mißgeformten Begleitbaumarten ergaben auch durchweg außerordentlich niedrige Borgehalte (Abb. 9).

### Begleitbaumarten mit Wuchsanomalien ( FA Salmtal)

Baumart	Alter	N%	Mn (ppm)	Bor (ppm)
Blaufichte	6	1.57	2252	5
Jap.Laerche	8	2.43	2196	8
E.Laerche	35	2.29	3890	7
<u>Douglasie</u>	<u>28</u>	<u>1.348</u>	<u>3144</u>	<u>5</u>
Eiche	5	3.34	5516	11
Eiche	5	3.41	4336	11
Kirsche	12	2.3	3944	8

1. Nadeljahrgang-Spaetsommerbeprobung

Abb. 9: Beispielhafte Nährgehalte von Douglasien und Begleitbaumarten aus dem Forstamt Salmtal.

Exemplary nutrient contents of Douglas-fir and associated tree species in the Salmtal forest.

Entgegen landläufiger Meinung wachsen sich Triebanomalien selten aus (Abb. 10). Sie beeinträchtigen als Stammachsenkrümmungen, Zwiesel, Astanhäufungen, Astwülste sowie als Grob- und Steiläste die Holzverwertung noch in Baumhölzern. Solche älteren Bestände mit schlechten Wuchsformen enthalten aber entgegen der Erwartung meist ausreichend Bor. Es erscheint wahrscheinlich, daß in unseren Douglasienbeständen anfänglicher, durch Schlagräumung, Verbrennen, Sulfat- und Stickstoffeinträge oder Trockenjahre induzierter Bormangel schwindet, wenn später ausreichend Bor in der organischen Auflage

akkumuliert und daraus nachgeliefert werden kann. So wurde in hiesigen Douglasien ein signifikanter Trend zu höheren Borgehalten mit zunehmendem Alter beobachtet.

Während Douglasien bei uns durchweg reichlich mit Zink versorgt waren (SCHÖNE, 1992c), deutet sich bei hohen Mangangehalten, welche die physiologische Funktion des Molybdäns in der Pflanze beeinflussen (BERGMANN, 1983b), und bei absoluten Molybdängehalten von unter 0,03 ppm (SCHÖNE, 1992c) Molybdänmangel als weitere mögliche Ursache von Deformationen an. In Ergänzung früherer Beobachtungen zeigten in einem sehr kranken Douglasienbestand Blätter von eingesprengten Vogelkirschen mit gespaltenen Mittelrippen, durchlöcherten Blattspreiten, Chlorosen sowie untypischen Umrissen geradezu lehrbuchmäßige Molybdänmangelsymptome (Abb. 11).

In Europa verursachte darüberhinaus Kupfermangel Trauerformen (OLDENCAMP AND SMILDE, 1966), die sich auch vereinzelt in Kulturen der Eifel zeigen; auch hierbei sind hohe Stickstoffzufuhren beteiligt. Auch Herbizide haben Austriebsstörungen und Mißformen verursacht (CARTER *et al.*, 1986; MATSCHKE AND MENZINGER, 1992).



Abb. 10: Wuchsanomalien bleiben erhalten und mindern die Verkaufserlöse.  
Trees do not outgrow crooked growth and do not produce sawtimber.

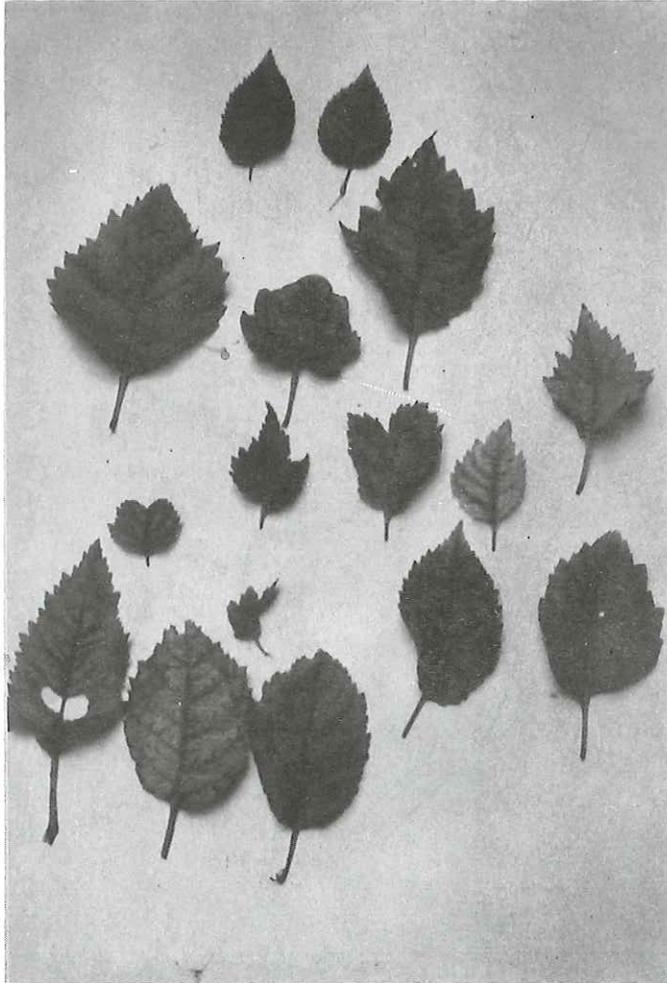


Abb. 11: Blätter der Vogelkirsche in einem Douglasienbestand mit extremem Manganüberschuss.  
Abnormal leaf forms of wild cherry growing in a Douglas-fir stand with IBN.

Wenn bei der Zuordnung der Wuchsanomalien zu absoluten oder induzierten Mängeln einzelner Spurenelemente oder ihrer Wechselwirkungen auch noch Ungewißheit verbleibt, so sollten wir der Versuchung, derartige Triebanomalien lediglich mit nicht angepaßter Herkunft zu erklären, nicht nachgeben. Schon ein Blick auf ebenfalls mißgeformte Begleitbaumarten in betroffenen Douglasienbeständen widerlegt im Übrigen diese Erklärung (Abb. 12, s. S.90).

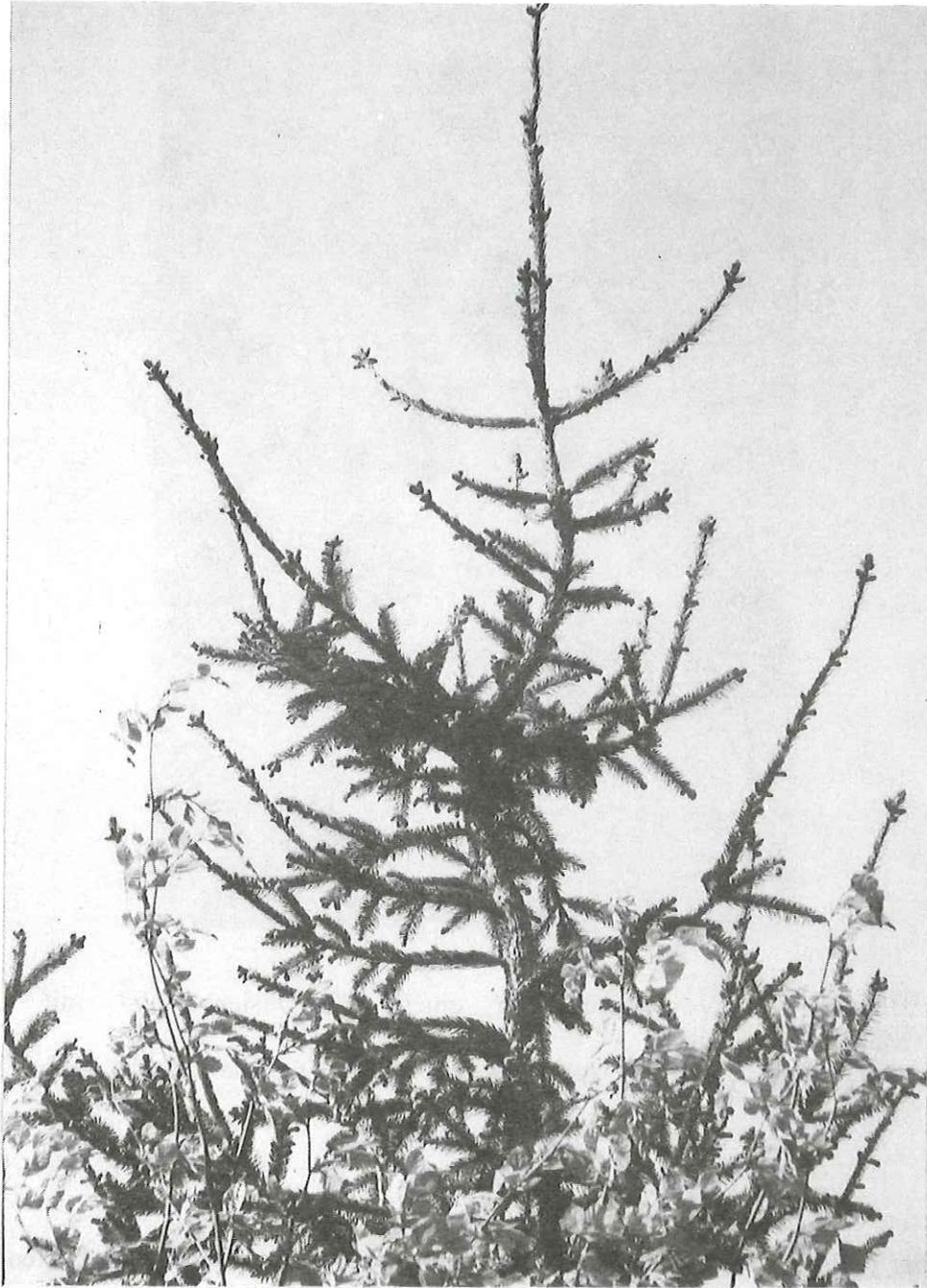


Abb. 12: Mißgeformte Fichte in Douglasienbestand mit Wuchsanomalien.

Distorted leader growth in Norway spruce in a Douglas-fir stand affected by anomalous growth.

Bei übernatürlich hohen Stickstoff- und Mangangehalten erscheinen latente oder akute Mängel an Bor, möglicherweise auch an Molybdän, einzeln oder in Wechselwirkung als wahrscheinlichste Ursache der Wuchsanomalien in Douglasienjungwüchsen.

Demnach sollte bei der Kulturvorbereitung und Begründung alles vermieden werden, was die Löslichkeit des Mangans im Boden und in der Rhizosphäre fördert und Bor- und Molybdänmangel begünstigt: So scheiden selbst leicht staunässebeeinflusste, verdichtete oder tonige Böden von vorneherein für die Douglasie aus. Hierunter fallen beispielsweise viele Standorte des Rotliegenden. Schlagabraum sollte nach Möglichkeit belassen oder schonend beiseite geräumt werden; Verbrennen muß auf jeden Fall unterbleiben. Dem Boden um die Jungpflanzen sollte dolomitischer Kalk beigemischt werden. Um den allgegenwärtigen Phosphormangel auch als Ursache für Versauerungserscheinungen in der Rhizosphäre auszuschließen, bietet sich eine Düngung mit Thomasphosphat an, welches zusätzlich die Versorgung mit Magnesium, Bor und Molybdän etwas verbessert. Eine Kalidüngung kann später nachfolgen, sobald und falls Mangelsymptome auftreten. Die Behebung nachgewiesenen Bor- oder Molybdänmangels ist schon mit sehr geringen Düngermengen möglich. So erfordern Bordüngungen etwa 2-3 kg/ha, beim Molybdän genügen bereits 100-150 g/ha des jeweiligen Elementes.

### **4.3 Innere Bastnekrose (IBN) und Manganüberschuss der Douglasie im Stangen- und Baumholzalter**

Im Stadium zwischen dem Dickungsschluss bis hin zum Starkholz mehren sich in Douglasienbeständen Bilder kränkelder, harzender Stämme als auffälligstes, spätes Symptom einer stets von altersabhängig zunehmendem Manganüberschuss begleiteten Ernährungsstörung (Abb. 13, s. S.92).

Das Harzen und die nicht unbedingt am gleichen Baum, aber immer in den betroffenen Beständen gleichzeitig auftretenden, ausgeprägten induzierten Eisenchlorosen erscheinen nach hiesigen Erfahrungen bei Mangangehalten von etwa 3.500-5.000 ppm im jüngsten Nadeljahrgang. Bereits diese weite Amplitude deutet daraufhin, daß außer dem Mangan noch andere Faktoren mitspielen. Zu diesen mag auch die Herkunft zählen.



Abb. 13: Beginnender Harzfluß in IBN-Bestand.  
Beginning resin flow in Douglas-fir affected by IBN.

Die statistische Analyse der Daten aus dem Forstamt Irrel bestätigte einige bereits im Forstamt Salmtal formulierte Hypothesen: So stiegen auch in Irrel die Mangangehalte mit dem Bestandesalter (Abb. 14, s. S.93). Ursache hierfür sind offenbar gleich zwei Teufelskreise, in die die Douglasie gerät: Zum einen nehmen Douglasien nicht nur viel Mangan auf, sie deponieren bei bestimmten Humusformen und Boden-pH-Werten auch das aus der Krone in beträchtlichen Mengen wieder ausgewaschene Mangan in den oberen Bodenschichten (MERREM, 1991b). Es kommt hier im Hauptwurzelschicht zu einer Anreicherung, auf die nicht nur die Douglasie, sondern auch assoziierte Baumarten wie die Buche mit ebenfalls erhöhter Aufnahme reagieren. Buchenbeimischung ist also kein sicheres Mittel, um die Krankheit auszuschließen (MERREM, 1991a). Zum zweiten remobilisiert die Douglasie offenbar auch intern das im Splintholz enthaltene Mangan bei der Verkernung (LINDNER, 1988; MERREM, 1991a).

## Mangan- und Phosphorgehalte als Funktion des Alters

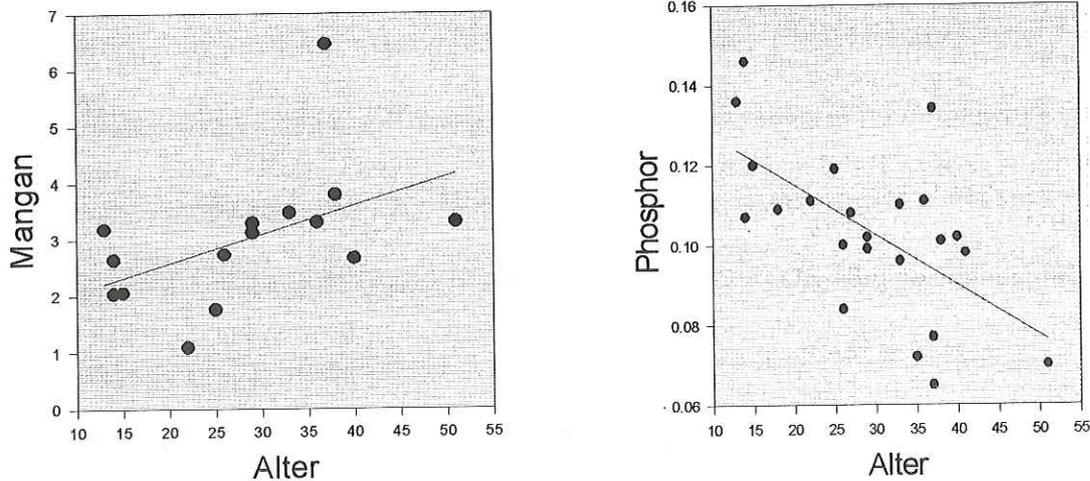


Abb. 14: Mangan- und Phosphorgehalte von Douglasiennadeln aus dem Forstamt Irrel als Funktion des Alters.

Foliage Mn- and P-contents of current-year Douglas-fir foliage from the Irrel forest as a function of stand age.

Auch eine bereits in Salmtal mehrfach festgestellte (MERREM, 1991a; SCHÖNE, 1992a) negative Korrelation zwischen Mangan- und Phosphorgehalten ließ sich erhärten (Abb. 14). Wenn es auch Berichte über eine Wechselwirkung zwischen Mangan und Phosphor gibt (TISDALE *et al.*, 1985; DOMOTO AND THOMPSON, 1976), so besteht doch auch die Möglichkeit, daß es sich, unabhängig vom Manganeinfluß, lediglich um Nitrat-induzierte Mängel von Phosphor handelt.

Listet man alle mit der Douglasienerkrankung einhergehenden Ernährungsstörungen auf, so hat man gleichzeitig alle und exakt jene Faktoren erfaßt, die auch im Pazifischen Nordwesten der USA zu einer Baumerkrankung, allerdings nicht der Douglasie, sondern der Sorte "Golden Delicious" des Apfels führten. Diese dort als 'measles' (Masern) oder Internal Bark Necrosis (IBN-Innere Rindennekrose) seit 1912 bekannte Erscheinung gleicht im Ursachenkomplex und der Symptomatik den Douglasienschäden mit Ausnahme des Harzflusses bis ins Detail.

Dort aktivierten nicht Immissionen, sondern versauernd wirkende, über lange Jahre wiederholt angewandte Stickstoffdünger den Mangan-Puffer im Boden der Obstplantagen. Die Mangangehalte, die zum Ausbruch der Erkrankung beim Apfel führten, variierten mit dem Stickstoff-, Nitrat-, Bor-, Phosphor-, Kalium-, Magnesium- und Calcium- und Eisengehalt in offensichtlich mehrfachen, komplizierten Wechselwirkungen (CROCKER AND KENWORTHY, 1973; DOMOTO AND THOMPSON, 1976; ROGERS, 1965; SHANNON, 1954; SHELTON AND ZEIGER, 1970); zusätzlich sind mildernde Einflüsse von Silicium auf Manganüberschußsymptome bekannt (MARSCHNER, 1986b). Die mögliche Rolle von Molybdänmangel, der ja ebenfalls Mangantoxizität hervorrufen kann (BERGMANN, 1983a), wurde beim Apfel nicht untersucht. Nach allem wäre es aber erstaunlich, wenn sich bei der Douglasie Chlorosen oder Rindenrisse einzelner Bestandsglieder stets beim gleichen Mangangehalt der Nadeln zeigen würden.

Die bei der Douglasienerkrankung bisher nur vermuteten Mangananreicherungen in der Rinde (MEYER, 1985) wies man beim Apfelbaum, zusätzlich zu allgemein erhöhter Mangan-Konzentration, in Form von Manganherden in der Rinde nach (CROCKER AND KENWORTHY, 1973; SHELTON AND ZEIGER, 1970). Die Douglasie entsorgt überschüssiges Mangan im Gegensatz zur Mn-resistenten Fichte nicht im Speicherbast, sondern im Leitbast (MERREM, 1991a). Das Aufplatzen der Rinde im Endstadium der Douglasienerkrankung deutet sich lange vorher in feinen Rissen an. Unter den so betroffenen Rindenpartien findet man im inneren Bast nahe dem Kambium auch bei der Douglasie braune Nekroseherde. Erreichen diese Nekrosen das Kambium, so entstehen auf der Holzseite zahlreiche Harzkanäle (BRAUN, 1982), und es kommt aus der durch ungleichmäßiges Wachstum aufreißenden Rinde zu Harzfluß.

## 5. Prognose und Entscheidung

Es erscheint möglich, und im Hinblick auf die waldbauliche Behandlung und die Astungsentscheidung ist dies dringend erwünscht, künftig von der Inneren Rindennekrose betroffene Bestände schon lange vor dem Zerfallsstadium zu erkennen. So besteht nach hiesigen Beobachtungen eine hohe Korrelation zwischen dem Auftreten von Wuchsanomalien im Jugendstadium, die sich trotz der Pflegeeingriffe in den Beständen meist erhalten (Abb. 15), den Mangangehalten und der späteren Erkrankung (Abb. 17, s. S.97). Fast immer finden sich in erkrankten Flächen auch auffallend geschwungene, meist auch schräg gestellte oder geworfene Stämme.



Abb. 15: Wuchsanomalien und Harzfluß treten, zeitlich versetzt, oft im gleichen Bestand auf.

Crooked growth and IBN appear at different stages, but appear correlated.

Der Manganüberschuss bewirkt zudem in den jüngsten Nadeln eine zunehmende, induzierte Eisenchlorose, die sich bereits im Kulturstadium darin zeigt, daß jüngste Triebe zum Zeitpunkt des Austreibens eine auffallend hellgrün-gelbe Färbung zeigen (SCHÖNE,

1987). Diese helle Triebfärbung in noch äußerlich gesunden Jungbeständen dunkelt im Laufe der Vegetationszeit zwar nach, bleibt aber noch im Spätwinter oder beginnenden Frühjahr in einem deutlichen Kontrast des letzten Triebes gegenüber den dunkler gefärbten, metallisch glänzenden Nadeln des Vorjahres erkennbar (Abb. 16). Bei bereits sehr hohen Mangankonzentrationen in älteren Beständen stockt zudem die Triebstreckung, es entstehen "Katzenpfötchen" mit weiß-gelber Farbe. So sind von Manganüberschuß betroffene Bestände schon vor dem Stadium des Harzens zu erkennen.



Abb. 16: Chlorose der jüngsten Nadeln in einem Jungbestand bei Mangangehalten um 2.000 ppm.

Chlorosis of current-year foliage in young Douglas-fir at 2.000 ppm manganese.

Diese zunächst subjektiv gewonnenen Eindrücke in den Beständen ließen sich statistisch bekräftigen: So bestanden varianzanalytisch hochsignifikante Unterschiede im Mangangehalt von Douglasienbeständen mit Fehlern der Stammform einerseits und gutformigen Beständen andererseits (Abb. 17, s. S.97).

Noch deutlicher spiegelte der Farbkontrast zwischen letztjährigen und diesjährigen Nadeln von noch äußerlich gesunden Beständen den akuten Mangangehalt und damit die Gefahr einer künftigen Erkrankung an IBN wider (Abb. 18, s. S.97).

## Mangangehalte der Nadeln und Stammformen

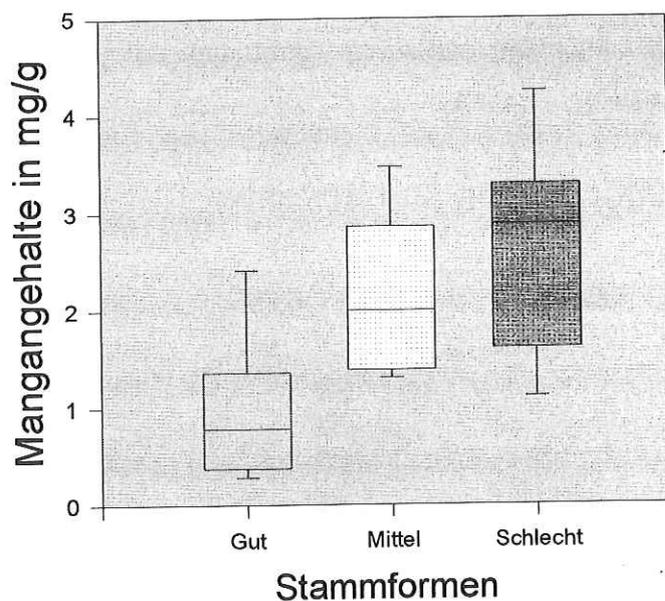


Abb. 17: Nadelmangangehalte als Funktion der geschätzten durchschnittlichen Stammform in 46 Beständen im Forstamt Irrel (gut: 24, mittel: 18, schlecht: 14 Bestände).  
Manganese contents as a function of average stem form in the Irrel forest

## Mangangehalt und Farbe des letzten Triebes

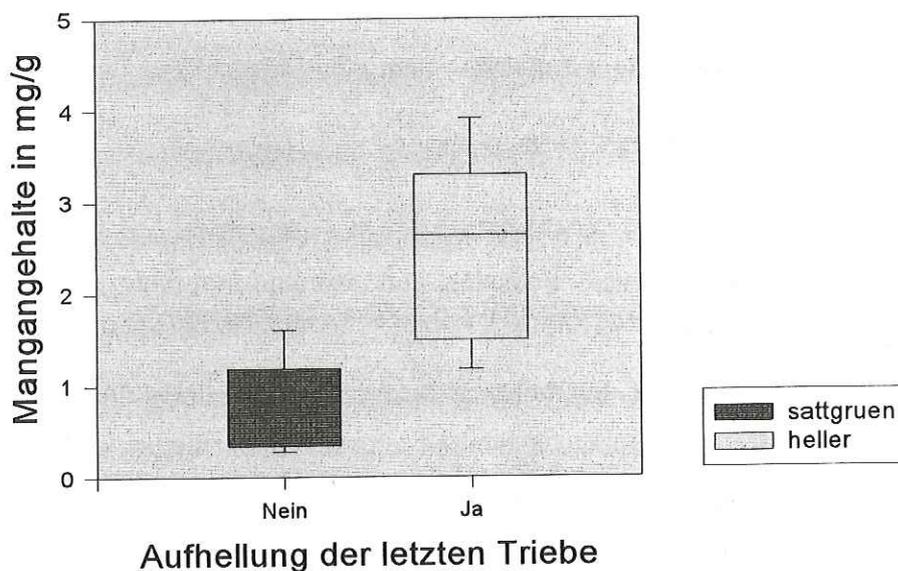


Abb. 18: Hellgrüne Farbe des jüngsten Triebes noch lange nach dem Austrieb weist auf erhöhte Mangangehalte des Bestandes hin. (ohne Triebeaufhellung 22 Bestände, mit Aufhellung 24 Bestände)  
Persistent light green colour of the youngest shoot points to excess manganese.

Der Mangengehalt variiert auch klar und statistisch signifikant mit dem Bodentyp (Abb. 19) und der Humusform (Abb. 20, s. S.99).

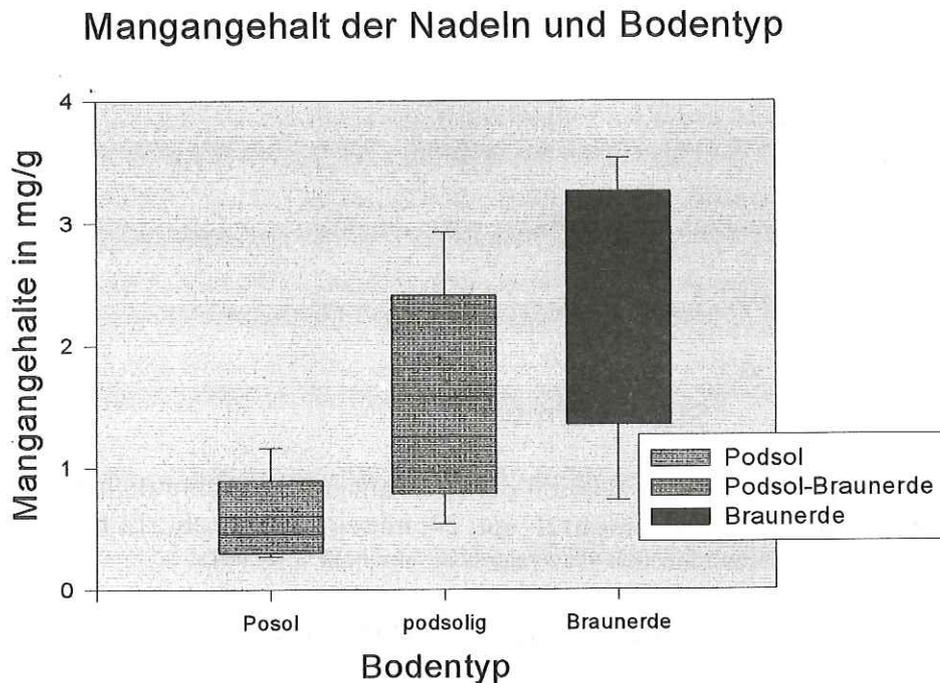


Abb. 19: Nadelmangengehalte als Funktion des Bodentyps.  
 (Podsol 9, podsoliige Braunerde 12, Braunerde 25 Bestände)  
 Manganese content of current-year foliage as a function of soil type.

So ist beispielsweise auf sandigen Podsolen mit Rohhumusaufgabe unter hiesigen Verhältnissen Mangantoxizität im Jungbestand auszuschließen. Dies stimmt mit Arbeiten überein, die zeigten, daß Mangan bei höheren pH-Werten und besseren Humusformen komplex an die organische Substanz gebunden und erhalten bleibt, daß der Anteil austauschbaren Mangans unterhalb eines Maximums bei pH 4 rasch zurückgeht, und daß bei Werten im  $A_H$  unter pH 3 schon über 90% des Mangans ausgewaschen waren (NEITE, 1989; VALLÉE, 1967).

Bei der Abwehr von IBN gilt es zusätzlich zur Standortwahl vor allem die Entstehung der geschilderten Teufelskreise zu vermeiden und dem Ausbrechen der späten Krankheitssymptome durch rechtzeitige Gegenmaßnahmen bereits in in jungen, gefährdeten Beständen vorzubeugen. Erfahrungen im Forstamt Salmtal deuten daraufhin, daß sich der beginnende Manganüberschuß in Jungbeständen noch durch Kalkungen mit

dolomitischem Kalk und durch die ebenso wichtige Behebung von akuten und latenten Nährstoffmängeln abbremsen läßt (Abb. 21, s. S.100). Wenn möglich, sollten dabei die bei der üblichen Bodenschutzkalkung ausgebrachte Kalkmenge erhöht oder die Maßnahme mittelfristig wiederholt werden.

### Mangangehalt von Douglasiennadeln als Funktion der Humusform

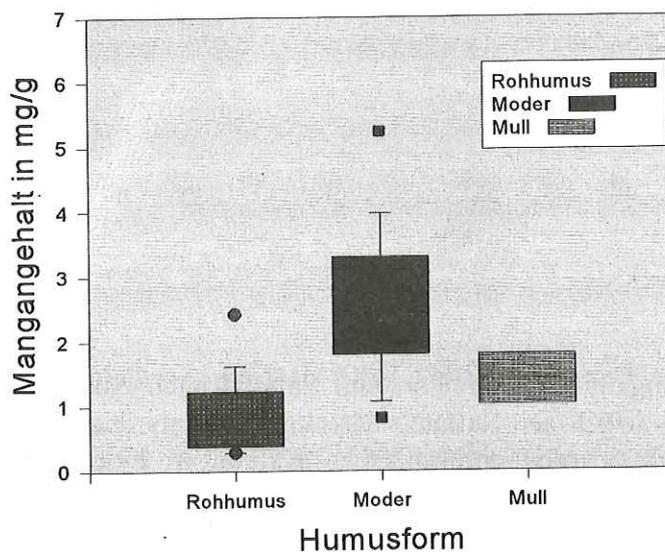


Abb. 20: Nadelmangangehalte als Funktion der Humusform.  
(Rohhumus 25, Moder 19, Mull 2 Bestände).  
Manganese content as a function of the type of humus.

Nach nunmehr zehnjähriger Beobachtung von 2 gekalkten und gedüngten und mittlerweile gesunden, damals aber schwer erkrankten Douglasienbeständen im Forstamt Salmtal (Failz, Abb. 21, s. S.100) scheint es grundsätzlich auch möglich, bereits erkrankte Bestände zu heilen. Diese Erfahrung und die bodenkundlichen und pflanzenphysiologischen Hintergründe der Erkrankung lassen aber eine rasche Gesundung nicht erwarten. Dem entsprechen auch die Erfahrungen bei der schwierigen Bekämpfung der Inneren Rindennekrose beim Apfel und die Ergebnisse eines Kalkungsversuches in erkrankten Douglasien der Nordeifel (MEYER UND ULRICH, 1990).

## Abnahme des Mangangehaltes nach Kalkung und Düngung

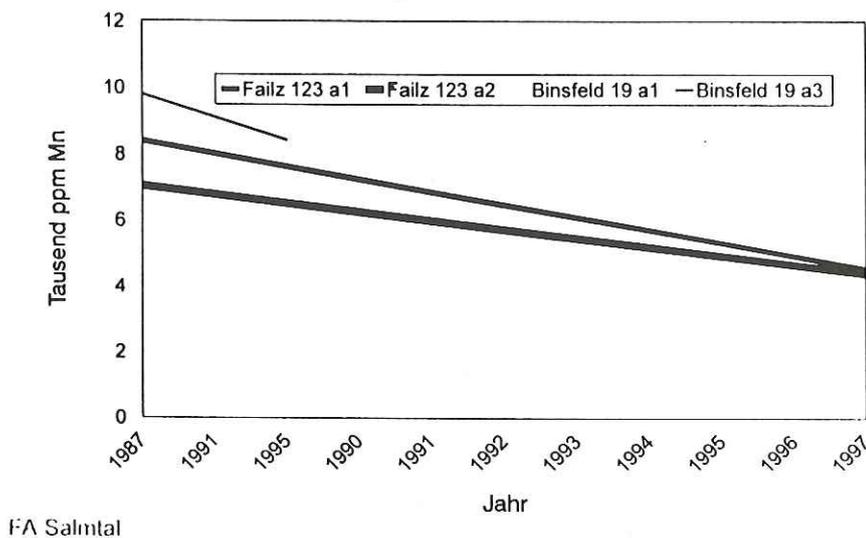


Abb. 21: Abnahme der Nadelmangangehalte im Forstamt Salmtal nach Ausbringung von 100 kg  $K_2O$ , 180 kg  $MgO$  als Sulfate, 540 kg  $CaO$  als Karbonat, sowie Bodenschutzkalkung mit 3 to/ha dolomitischen Kalkes, in Failz mit 6 to/ha dolomitischen Kalkes.

Decrease of manganese contents after liming and fertilization in the Salmtal forest.

Mit Hilfe eines Regressionsmodells, das den Humuszustand (Moder / Rohhumus) und die Nadelfärbung (Einheitsfarbe / Triebaufhellung) als Indikatorvariable enthält, erscheint es aussichtsreich, den Mangangehalt in Abhängigkeit vom Alter der Bestände zu schätzen. Das sehr einfache Modell erlaubt es, mit den binären, unabhängigen Variablen "Humusform" und "Aufhellung des jüngsten Triebes" den durchschnittlich zu erwartenden Mangangehalt in künftigen Altern einzuschätzen. Das Modell beruht auf den 46 Probebeständen im Forstamt Irrel, wurde noch nicht an einem unabhängigen Datensatz getestet und sollte deshalb nicht extrapoliert werden. Es gibt einen Trend wieder; Einzelbestände können hiervon abweichen. Es verdeutlicht aber zutreffend die altersabhängige Zunahme der Mangangehalte sowie die Beobachtung, daß auf stark versauerten Standorten die Douglasie wenn überhaupt, dann erst in hohem Alter kritische Mangangehalte erreicht.

Auf Moderstandorten andererseits, auf denen die Douglasien bereits im Kulturstadium beginnende Chlorosen der jüngsten Triebe zeigen, tritt dieses Stadium durchschnittlich schon im Alter 35-40 ein. Aufgrund der Variationsbreite des für den Ausbruch der Krankheit kritischen Mangengehaltes besteht ein Risiko aber leider auch noch für ältere, jetzt noch scheinbar gesunde Bestände.

Mit dem Aufzeigen waldbaulicher Maßnahmen gegen herkömmliche Nährstoffmängel, Wuchsanomalien und die Innere Rindennekrose von Douglasienbeständen ist den Forstleuten vor Ort nur bedingt geholfen: Auf welchen Standorten können in Zukunft betriebswirtschaftlich sinnvoll noch Douglasienbestände begründet werden? Rechnen sich Gegenmaßnahmen? In welchen Bestandesstadien empfiehlt sich ein Eingreifen, und wie sollen mit unterschiedlich hohen Risiken behaftete oder bereits erkrankte Bestände waldbaulich weiter behandelt werden? Hier geht es um wichtige, grundsätzliche, betriebswirtschaftliche Entscheidungen, die es rechtfertigen, eine Strategie unter Ungewißheit nicht lediglich *ad hoc* und nach Gutdünken, sondern im Rahmen eines förmlichen betriebswirtschaftlichen Entscheidungsmodelles, z.B. der Bayes'schen Entscheidungsanalyse, der dynamischen Programmierung oder einer stochastischen Simulation herzuleiten. Im Hinblick auf den Flächenanteil, die forstpolitische, betriebswirtschaftliche und ökologische Bedeutung der Douglasie in Rheinland-Pfalz und angesichts ihres Altersklassenaufbaues (vgl. hierzu Beitrag J. LEONHARDT, dieser Band, Abb. 3, S. 7) gilt es, keine Zeit zu verlieren.

## 6. Literatur

- BERGMANN, W. (1983): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, S. 213.
- BERGMANN, W. (1983a): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena.
- BERGMANN, W. (1983b): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, S. 213.
- BERGMANN, W. (1983c): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, S. 98.
- BRAUN, H.J. (1982): Lehrbuch der Forstbotanik. Gustav Fischer, Stuttgart, 257 Seiten, S. 101.
- CARTER, R.E., HOYER, G. AND WEBER, C.D. (1986): Factors affecting stem form in immature Douglas-fir stands. *In: Douglas-fir: Stand management for the future* (C.D. OLIVER, D. P. HANLEY, AND J. A. JOHNSON, EDS.), pp. 230-238. College of Forest Resources, University of Washington, Seattle, p. 230.
- CLUTTER, J.L., FORTSON, J.C. PIENAAR, L.V. BRISTER, G.H. AND BAILEY, R.L. (1983): Timber Management: A Quantitative Approach. John Wiley, New York, 331 pages, p. 100.
- CROCKER, T.E. AND KENWORTHY, A.L. (1973): Investigations of Internal Bark Necrosis in 'Delicious' apple trees. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 98, pp. 559-562.
- DOMOTO, P.A., AND THOMPSON, A.H. (1976): Effect of interactions of calcium, potassium, and manganese supply on Delicious apple trees as related to Internal Bark Necrosis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 101, pp. 44-47.
- EDMONDS, R.L., BINKLEY, D., FELLER, M.C., SOLLINS, P., ABEE, A. AND MYROLD, D.D. (1989): Nutrient cycling: Effects on productivity of Northwest forests. *In: Maintaining the Long-Term Productivity of Pacific Northwest Forest Ecosystems*. (D.A. PERRY, R. MEURISSE, B. THOMAS, R. MILLER, J. BOYLE, J. MEANS, C.R. PERRY, AND R.F. POWERS, EDS.), pp. 17-35. Timber Press, Portland, Oregon, p. 17.

- LI, C.Y., LU, K.C., TRAPPE, J.M. AND BOLLEN, W.B. (1972): Nitrate reducing-capacity of roots and nodules of *Alnus rubra* and roots of *Pseudotsuga menziesii*. *Plant and Soil*, 37, pp. 409-414.
- LINDNER, M. (1988): Mangan-Verteilungsmuster in Fichte und Douglasie. Diplomarbeit, Universität Freiburg, 61 Seiten.
- MARSCHNER, H. (1986a): Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, 674 pages, p. 211.
- MARSCHNER, H. (1986b): Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, 674 pages, p. 285.
- MARSCHNER, H. (1986c): Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, 674 pages, p. 287.
- MARSCHNER, H. (1986d): Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, 674 pages. p. 40.
- MARSCHNER, H. (1986e): Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, London, 674 pages, p. 81.
- MATSCHKE, J. UND MENZINGER, W. (1992): Probleme der Leittriebausbildung bei *Picea pungens glauca*. In: Beiträge zur Sache. Aus Land-,Forstwirtschaft und Gartenbau. Anbau von Weihnachtsbäumen (WETZLAR, L. ED.), S. 48-61. Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe, Münster, S. 48.
- MENGEL, K. AND KIRKBY, E.A. (1987a): Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Bern, 687 pages, p. 142.
- MENGEL, K. AND KIRKBY, E.A. (1987b): Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Bern, 687 pages, p. 179.
- MERREM, M. (1991a): Stoffhaushalt Mangan-übersorgter Douglasie und anderer Waldbäume in der südlichen Eifel. Diplomarbeit, Universität Freiburg, 59 Seiten.
- MERREM, M. (1991b): Stoffhaushalt Mangan-übersorgter Douglasie und anderer Waldbäume in der südlichen Eifel. Diplomarbeit, Universität Freiburg, 59 Seiten, S. 11.

- MEYER, M. (1985): Bodenversauerung und Manganüberschuß. Diplomarbeit, Universität Göttingen, 105 Seiten.
- MEYER, M. UND ULRICH, B. (1990): Auswirkungen einer Kalkung auf Böden mit Mangantoxizität bei Douglasienbeständen auf Buntsandstein der Nordeifel, *Forst und Holz*, 45, pp. 493-498.
- MILLER, R.E., BARKER, P.R., PETERSON, C.E. AND WEBSTER, S.R. (1986): Using Nitrogen Fertilizers in Management of Coast Douglas-fir: Regional Trends of Response. *In: Douglas-Fir: Stand Management for the Future*. College of Forest Resources (C. D. OLIVER, D. P. HANLEY, AND J. A. JOHNSON, EDS.), pp. 290-293. University of Washington, Seattle, p. 290.
- MÜLLER, B. (1986): Waldschäden an Douglasien in der Eifel. Diplomarbeit, Universität Trier.
- NABUURS, G.J. AND MOHREN, G.M.J. (1993): Carbon fixation through forestation activities. FACE / Institute for Forestry and Nature Research, Arnhem, 206 pages.
- NEITE, H. (1989): Zum Einfluß von pH und organischem Kohlenstoffgehalt auf die Löslichkeit von Eisen, Blei, Mangan und Zink in Waldböden. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 152, pp. 441-445.
- NETER, J. AND WASSERMAN, W. (1974): Applied linear statistical models. Irwin, Homewood, Illinois, 842 pages, p. 285.
- OLDENCAMP, L. AND SMILDE, K.W. (1966): Copper deficiency in Douglas-fir. *Plant and Soil*, 25, pp. 150-152.
- PETERSON, C.E., WEBSTER, S.R. BARKER, P.R. AND MILLER, R.E. (1986): Using nitrogen fertilizers in management of coast Douglas-fir. Douglas-fir. *In: Stand management for the future* (C.D. OLIVER, D.P. HANLEY AND J.A. JOHNSON, EDS.), pp. 304-309. College of Forest Resources, University of Washington, Seattle, p. 304.
- PORADA, H.J. (1987): The effect of aluminum on the growth and mineral composition of Douglas-fir and western hemlock. Ph.D. Thesis, University of Washington, Seattle (USA).

- RADWAN, M.A., SHUMWAY, S. AND DEBELL, D.S. (1979): Effects of manganese and manganese-nitrogen applications on growth and nutrition of Douglas-fir seedlings. Research Paper PNW, Vol. 265, USDA Forest Service.
- ROGERS, B.L. (1965): Internal Bark Necrosis ( Measles) on Delicious apple trees under field conditions. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 86, pp. 46-54.
- SCHÖNE, D. (1971): Nutrient uptake of conifer seedlings as related to root-CEC and competing species. M.S. Thesis, Oregon State University, Corvallis (USA).
- SCHÖNE, D. (1987): Eine Mangan-induzierte Eisenchlorose bei Douglasie. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 45, pp. 1145-1157.
- SCHÖNE, D. (1992a): Hypothesen und Beobachtungen zur Mangantoxizität und Spurenelementernährung bei Douglasie im Mosel-Eifelraum. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 163, pp. 88-93.
- SCHÖNE, D. (1992b): Standort- und immissionsbedingte Wachstumsstörungen bei Douglasie. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 47, pp. 100-103.
- SCHÖNE, D. (1992c): Standorts- und immissionsbedingte Ernährungsstörungen bei Douglasie im Mosel-Eifelraum. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 163, pp. 53-59.
- SCHUURMAANS, C.J.E. (1995): The world heat budget: Expected changes. In: D. Eisma (ed.). *Climate change*. Lewis Publishers. Boca Raton, p. 1-15.
- SHANNON, L.M. (1954): Internal Bark Necrosis of the Delicious Apple. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 64, pp. 165-174.
- SHELTON, J. AND ZEIGER, D.C. (1970): Distribution of manganese in 'Delicious' apple trees in relation to the occurrence of Internal Bark Necrosis (IBN). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 95, pp. 758-762.
- TISDALE, S., NELSON, W. AND BEATON, J. (1985): *Soil fertility and fertilizers*. Macmillan, New York, 754 pages, p. 376.

- TURNER, J. (1979): Interactions of sulfur with nitrogen in forest stands. *In: Forest Fertilization Conference* (S.P. GESSEL, R.M. KENADY AND W.A. ATKINSON, EDS.), pp.116-125. Institute of Forest Resources, University of Washington, Seattle, p. 116.
- VALLÉE, G. (1967): Etude du rôle du manganèse dans la régénération de la sapinière vosgienne. *Academie de Sciences forestières*, 24, pp. 259-275.
- VAN DEN DRIESSCHE, R. (1978): Response of Douglas-fir seedlings to nitrate and ammonium nitrogen sources at different levels of pH and iron supply. *Plant and Soil*, 41, pp. 573-588.
- ZINKE, P.J. AND STANGENBERGER, A.G. (1979): Ponderosa pine and Douglas-fir foliage analyses arrayed in probability distributions. University of Washington, Seattle, Forest Fertilization Conference.

# Mykologische Untersuchungen an unterschiedlich geschädigten Douglasien

## A. Untersuchungen des Feinwurzelsystems und der Mykorrhiza

## B. Überprüfung des Vorkommens des Wundparasiten *Phomopsis pseudotsugae* in der Rinde erkrankter Douglasien

Ulrich Eis, Andrea Kaus und Aloysius Wild  
Institut für Allgemeine Botanik  
Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
D-55099 Mainz

**Keywords:** *Pseudotsuga menziesii*, mycorrhiza, fine roots system,  
*Phomopsis pseudotsugae*

### Summary

Title of the paper: Mycological investigations on differently damaged Douglas-fir trees. A. Investigations on the fine root system and the mycorrhiza. B. Examination of the occurrence of the wound parasite *Phomopsis pseudotsugae* in the bark of damaged Douglas-fir trees.

In this study the fine root systems and the mycorrhization of three Douglas-fir trees originating from a damaged stand as well as an undamaged Douglas-fir reference tree were examined. It could be demonstrated that two of the damaged trees exhibited a significantly lower number of intact root tips than the reference tree. The third damaged Douglas-fir tree, however, scarcely differed from this reference tree. Three mycorrhiza partners predominated in all the samples examined. Concerned are *Cenococcum geophilum*, probably *Scleroderma citrinum* and another fungus which has been described in connection with spruce as *Piceirhiza nigra*. Different mycorrhiza species were found to be only marginally present.

The objective of the second part of this study was to examine whether the wound parasite *Phomopsis pseudotsugae* is meaningful for the damages affecting Douglas-fir. However, there were no indications for the presence of this fungus in the bark of damaged Douglas-fir trees.

**Schlüsselwörter:** *Pseudotsuga menziesii*, Mykorrhiza, Feinwurzelsystem,  
*Phomopsis pseudotsugae*

### Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wurden die Feinwurzelsysteme und die Mykorrhizierung von drei Douglasien aus einem geschädigten Bestand sowie von einem ungeschädigten Referenzbaum untersucht. Es zeigte sich, daß zwei der geschädigten Bäume eine deutlich niedrigere Anzahl intakter Wurzelspitzen aufwiesen als der Referenzbaum, die dritte geschädigte Douglasie unterschied sich dagegen kaum von diesem Baum.

---

Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 41/97; 107-116.

Drei Mykorrhiza-Partner traten in allen untersuchten Proben dominierend auf. Dabei handelte es sich um *Cenococcum geophilum*, vermutlich *Scleroderma citrinum* sowie einen Pilz, der bei Fichten als *Piceirhiza nigra* beschrieben ist. Weitere Mykorrhiza- Arten waren dagegen kaum vertreten.

Der zweite Teil der Studie, in dem überprüft werden sollte, ob der Wundparasit *Phomopsis pseudotsugae* eine Rolle bei der Douglasienkrankung spielt, ergab keine Hinweise eines Vorkommens dieses Pilzes im Rindbereich geschädigter Douglasien.

## **1. Einleitung**

### **1.1. Untersuchungen des Feinwurzelsystems und der Mykorrhiza**

Erkrankte Douglasien mitteleuropäischer Standorte scheinen ungehindert und unkontrolliert Mangan aufzunehmen, wobei die Ursachen dieser Nährstoffunregelmäßigkeiten weitgehend unbekannt sind. Um hierüber nähere Erkenntnisse zu erlangen, muß unter anderem der Feinwurzelbereich der Bäume untersucht werden.

Da die Douglasie ursprünglich in Nordamerika beheimatet ist, kann das Vorhandensein geeigneter Pilzpartner als Symbionten einer Mykorrhiza in den neuen europäischen Verbreitungsgebieten nicht unbedingt vorausgesetzt werden. Im Rahmen dieses Projektes sollte daher versucht werden, die einheimischen Pilzsymbionten an unterschiedlich geschädigten Douglasien zu identifizieren und zu prüfen, in welcher Zusammensetzung sie vorkommen. Ein weiterer Schritt besteht darin, den Zustand der Feinwurzelsysteme von Douglasien unterschiedlich geschädigter Standorte zu vergleichen, indem die Parameter „Feinwurzelmasse“, „Verhältnis vitaler zu subvitaler Feinwurzelmasse“ sowie die Anzahl intakter Wurzelspitzen bestimmt werden.

### **1.2 Überprüfung des Vorkommens des Wundparasiten *Phomopsis pseudotsugae* in der Rinde erkrankter Douglasien**

Bei *Phomopsis pseudotsugae* handelt es sich um einen Pilz, der in verletzte Rindbereiche eindringt und diese durch sein Wachstum, vorwiegend in Längsrichtung, abtötet. Der Ablauf der Krankheit wird sehr wesentlich dadurch bestimmt, daß der Pilz nur in einer einzigen Vegetationsperiode vordringen kann, die

mit der Bildung zahlreicher Konidiosporen und schließlichem Absterben endet, möglicherweise unterbleibt weiteres Wachstum aufgrund einer erfolgreichen Reaktion des Wirtsbaumes.

Da die Phomopsis-Krankheit keine typischen Wucherungen hervorruft, ist das Krankheitsbild nicht sehr auffällig. Der Rindenschaden wird mehr oder weniger schnell umwallt, so daß sich ein schildförmiges Rindenstück vom Holz ablöst, das so charakteristisch ist, daß die Bezeichnung 'Rindenschildkrankheit' für Stammschäden treffend ist. Die Folgen des Pilzbefalls sind für den Baum nicht tödlich. Eine erneute Schädigung in den folgenden Jahren ist so lange nicht zu erwarten, als nicht aufgrund erneuter Verletzung eine neue Infektion eintritt. Dennoch treten unerwünschte Nebenerscheinungen auf, zu denen eine übermäßige Bildung von Harzkanälen und Harz im Bereich der befallenen Rindenpartien gehört. Des weiteren können an diesen Stellen holzzerstörende Pilze in das Holz eindringen und zu einer Kernfäule führen. Bei jungen Trieben erfaßt der Pilz den ganzen Umfang, so daß die gesamte Trieb- oder Astspitze von der Befallsstelle an abstirbt (ZYCHA, 1952).

Im zweiten Teil des Projektes sollte geklärt werden, ob der Wundparasit *Phomopsis pseudotsugae* im Rindenbereich verletzter Douglasien auftritt, die fast immer ähnliche Symptome aufweisen wie eine Phomopsis-Erkrankung (Harzsticken, Absterben von Rindenpartien).

## **2. Methoden**

### **2.1 Untersuchungen des Feinwurzelsystems und der Mykorrhiza**

Im Dezember 1996 wurden von drei Einzelbäumen in einem geschädigten Douglasienbestand (Forstamt Adenau, Forstrevier Denn, Abteilung 84 a) sowie einem ungeschädigten Referenzbaum (ebenfalls Forstrevier Denn, Abteilung 175 b<sup>2</sup>) Bodenproben aus drei verschiedenen Tiefen entnommen:

A	5 cm
B	10 cm
C	15 cm

Die Probenahme erfolgte in einem Abstand von einem Meter vom Stamm. Bis zur weiteren Aufarbeitung wurden die Proben im Kühlraum bei +2°C gelagert. Im folgenden sind die Proben der einzelnen Bäume mit der Nummer des Baumes und der Bodentiefe bezeichnet. 3A kennzeichnet z.B. die Probe, die aus 5 cm Tiefe im Wurzelbereich des Baumes 3 stammt; R bezeichnet den Referenzbaum.

Von den Proben wurde zunächst das Volumen mit Hilfe eines Meßzylinders bestimmt. Unter Verwendung eines Plastiksiebs wurden die Bodenpartikel schonend ausgewaschen. Die Feinwurzeln wurden aussortiert und gesammelt. Unter Feinwurzeln sind die Wurzeln zu verstehen, deren Durchmesser kleiner als 2 mm ist.

Unter dem Binokular wurden die Feinwurzeln in „vitale“ und „subvitale“ unterschieden. Vitale Wurzeln zeichnen sich durch einen hellen Zentralzylinder und hohe Zerreißfestigkeit aus. An den vitalen Feinwurzeln wurden die intakten Wurzelspitzen gezählt, d.h. turgeszente Wurzelspitzen, die keinerlei Beschädigungen zeigten. Auch mykorrhizierte Wurzelspitzen ohne Schädigungen, die sich an vitalen Feinwurzeln befanden, wurden als intakte Wurzelspitzen gewertet.

Sowohl von den vitalen als auch von den subvitalen Feinwurzeln wurde das Trockengewicht bestimmt.

## **2.2 Überprüfung des Vorkommens des Wundparasiten *Phomopsis pseudotsugae* in der Rinde erkrankter Douglasien**

Vier Einzelbäume aus dem oben beschriebenen geschädigten Bestand wurden gefällt. Von diesen Bäumen wurden im Bereich von Harzsticken aus der Rinde, dem Bast und dem Holz mit Hilfe eines Meißels Proben entnommen und auf sterilen Malzagar überführt. Diesem Nährboden war Streptomycin zugegeben (50 mg/l), um das Wachstum von Bakterien zu unterbinden. Alle entstehenden Pilzkulturen wurden isoliert, nochmals auf Malzagarplatten überimpft und so weiter kultiviert.

Mit Hilfe einer Vergleichskultur von *Phomopsis pseudotsugae*, die freundlicherweise von der Biologischen Bundesanstalt in Braunschweig zur Verfügung stand, wurde das Vorkommen dieses Pilzes mikroskopisch überprüft, nachdem die isolierten Pilzkulturen eine geeignete Größe erreicht hatten.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

#### 3.1 Untersuchungen des Feinwurzelsystems und der Mykorrhiza

Die Gesamtfeinwurzelmasse, d.h. die Masse aller vitalen und subvitalen Feinwurzeln (0-2 mm), sowie das Verhältnis vitaler/subvitaler Feinwurzelmasse erlaubten keine deutliche Unterscheidung zwischen dem Referenzbaum und den geschädigten Douglasien. In Abbildung 1 sind die Verhältnisse von vitaler zu subvitaler Feinwurzelmasse dargestellt.

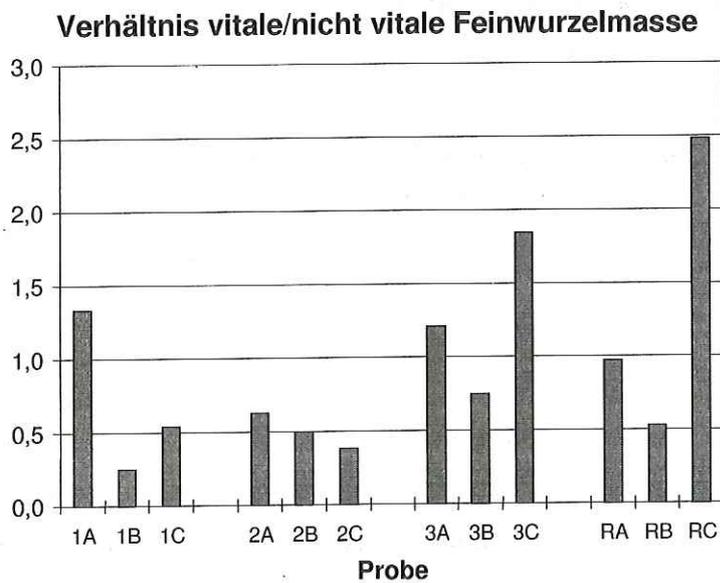


Abb. 1: Verhältnisse von vitaler zu nicht vitaler Feinwurzelmasse der drei geschädigten Prohebäume und des Referenzbaumes.

Ratios of vital/non-vital fine root mass as found for the three damaged Douglas-fir trees and the reference tree.

Wie die Abbildung 2 zeigt, nimmt die Anzahl intakter Wurzelspitzen mit zunehmender Bodentiefe ab, sowohl in Bezug auf das Volumen der Bodenprobe als auch in Bezug auf das Trockengewicht der Feinwurzelmasse der Probe.

Zwei der geschädigten Douglasien (1A und 2A) ließen sich anhand dieses Parameters sehr deutlich von dem Referenzbaum unterscheiden. Zum dritten geschädigten Baum (3A) ergaben sich dagegen kaum Unterschiede.

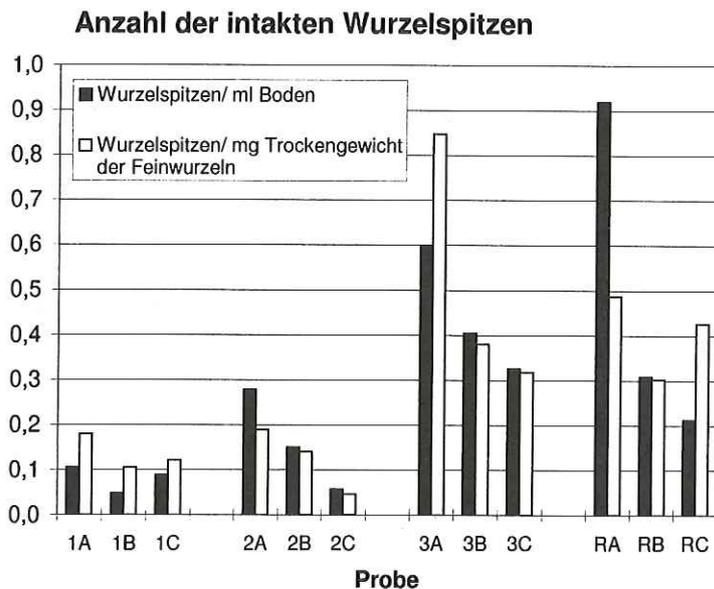


Abb. 2: Anzahl der intakten Wurzelspitzen pro Volumen und pro Trockengewicht der Feinwurzeln der drei geschädigten Probestämme und des Referenzbaumes.

Number of intact root tips per volume and per dry mass of the fine roots of three damaged Douglas-fir trees and the reference tree.

Die gleichen Ergebnisse waren zu beobachten, wenn die Anzahl intakter Wurzelspitzen auf das Trockengewicht der *vitalen* Feinwurzelmasse (0-2 mm) bezogen wurde. Man nennt diese Kenngröße auch die „relative Wurzelspitzenhäufigkeit“. Geschädigte und ungeschädigte Fichten (*Picea abies*) ließen sich anhand dieses Parameters klar unterscheiden, der bei ungeschädigten Bäumen deutlich höhere Werte zeigte (EICHHORN, 1987). Um detailliertere Aussagen für geschädigte und ungeschädigte Douglasien treffen zu können, wäre eine vergrößerte Stichprobenzahl erforderlich.

EICHHORN (1987) beobachtete bei Fichten für die relative Wurzelspitzenhäufigkeit Werte bis 1.100/g Frischgewicht; in der vorliegenden Studie beträgt deren Maximalwert bei Douglasien 1.500/g *Trockengewicht*. Geht man davon aus, daß die Frisch- zu Trockengewicht- Verhältnisse von Wurzeln 3-4 betragen, besitzen Fichten einen etwa dreifach höheren Wert dieses Parameters als Douglasien. Da der größte Teil der vitalen Wurzelspitzen mykorrhiziert ist, liegt die Ursache dieser Beobachtung sicherlich in einem geringeren Mykorrhizierungsgrad der Douglasienfeinwurzeln.

Drei Pilzpartner der Mykorrhiza waren in allen Bodenproben dominant; es ergaben sich keine deutlichen Unterschiede in der Artenzusammensetzung dieser drei Pilze zwischen den geschädigten Douglasien und dem Referenzbaum.

Zu diesen drei vorherrschenden Arten gehört *Cenococcum geophilum* (Abb. 3), der eindeutig identifiziert werden konnte. Charakteristisch für diesen Pilz sind das tiefschwarze Myzel und davon ausgehende ebenfalls schwarze Hyphen. Sein Vorkommen als Mykorrhiza-Partner von *Pseudotsuga menziesii* wurde bereits beschrieben (HUNT *et al.*, 1983).

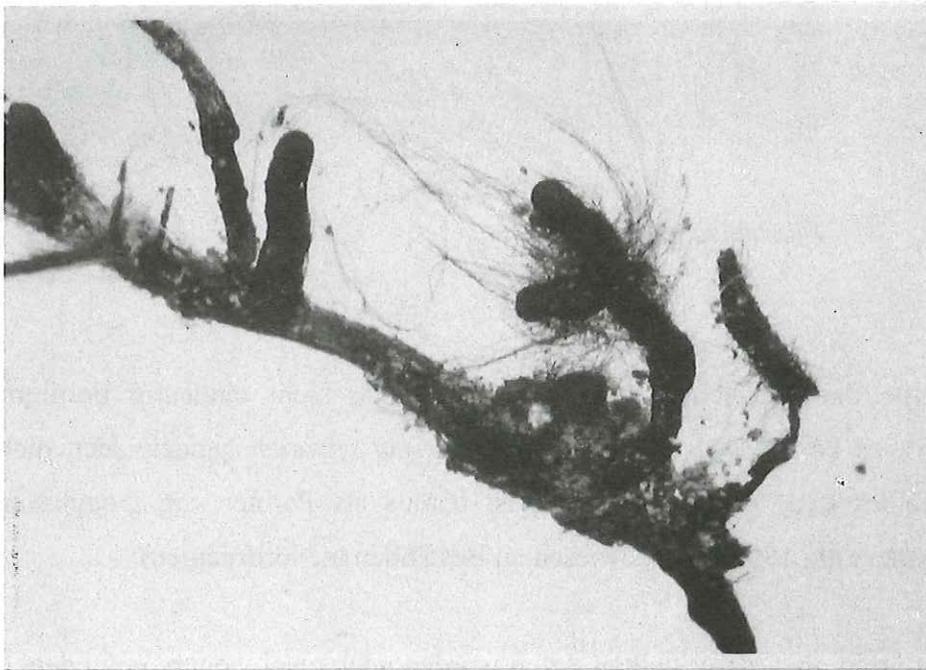


Abb. 3: *Cenococcum geophilum*.

Eine zweite der dominierenden Arten ist ein Mykorrhiza-Pilz, der bereits bei der Fichte beschrieben wurde und den Namen *Piceirhiza nigra* erhalten hat (Abb. 4) und in AGERER (1995) detailliert beschrieben ist. Das Vorkommen des Pilzes in Douglasien konnte hier anhand dieser Bestimmungsliteratur nachgewiesen werden.

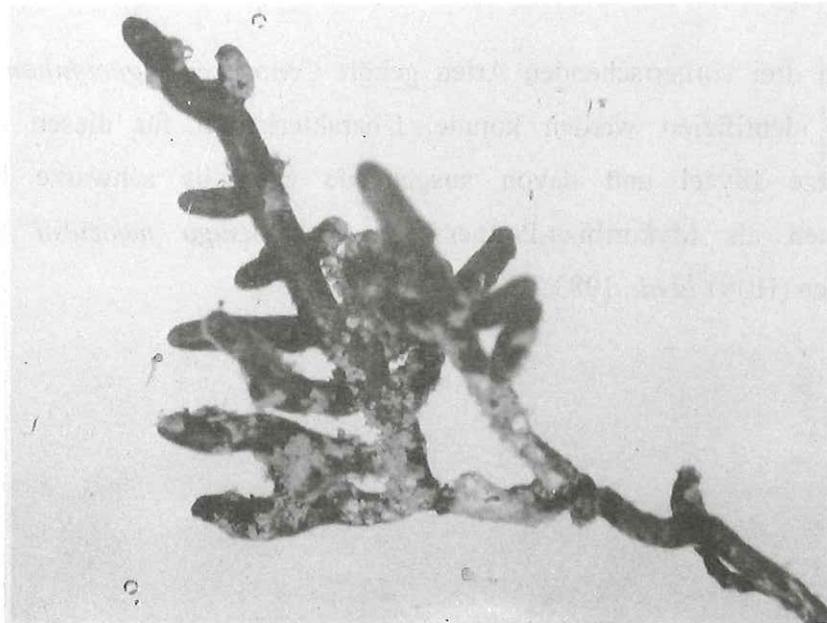


Abb. 4: *Piceirhiza nigra*.

Die dritte der beobachteten Arten konnte noch nicht eindeutig bestimmt werden (Abb. 5); es könnte sich dabei um *Scleroderma citrinum* handeln, den dickschaligen Kartoffelbovisten. Auch dieser Pilz ist bereits als Partner von Douglasien bekannt (PARLADE *et al.*, 1996; nachgewiesen an Beständen in Nordspanien).

Neben diesen oben dargestellten Arten wurden noch zwei weitere gefunden, die jedoch nur in einzelnen Proben vorkamen und nicht näher identifiziert wurden.

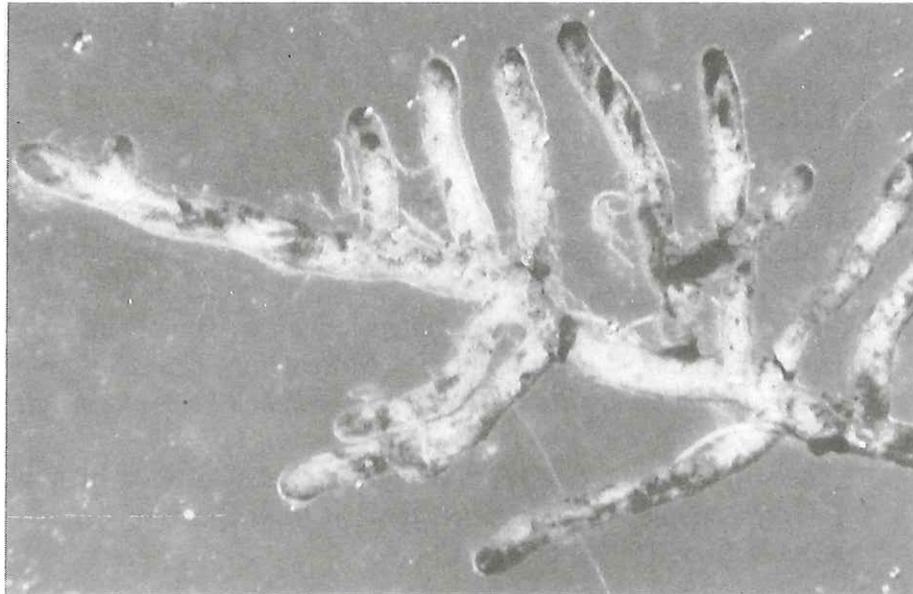


Abb. 5: *Scleroderma citrinum*.

### 3.2 Überprüfung des Vorkommens des Wundparasiten *Phomopsis pseudotsugae* in der Rinde erkrankter Douglasien

Anhand der mikroskopischen Untersuchungen mit Hilfe einer Vergleichskultur konnte *Phomopsis pseudotsugae* in keinem der drei Stammbereiche Holz, Bast bzw. Rinde gefunden werden. Dieses Ergebnis weist daraufhin, daß dieser Wundparasit bei der Douglasienkrankung in dem untersuchten Bestand keine große Rolle spielt.

Es konnten lediglich saprophytische, nicht schädliche Pilze identifiziert werden, darunter *Candida spec.* sowie verschiedene Aureo-Basidiomyceten.

## 4. Danksagung

Die Autoren danken der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz in Trippstadt für ihre Unterstützung und Mitarbeit bei der Durchführung dieses Projektes.

## 5. Literatur

- AGERER, R. (1995): Colour atlas of ectomycorrhizae. Einhorn-Verlag Eduard Dietenberger, Schwäbisch Gmünd.
- EICHHORN, J. (1987): Vergleichende Untersuchungen von Feinwurzelsystemen bei unterschiedlich geschädigten Altlichten (*Picea abies* KARST.). *Forschungsberichte der Hessischen Forstlichen Versuchsanstalt*, Band 3.
- HUNT, G. A. AND FOGEL, R. (1983): Fungal hyphal dynamics in a western Oregon [USA] douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii*] stand. *Soil biology and biochemistry*, 15. Jg., 641-650.
- PARLADE, J., ALVAREZ, I. F. AND PERA, J. (1996): Ability of native ectomycorrhizal fungi from Northern Spain to colonize Douglas-fir and other introduced conifers. *Mykorrhiza*, 6. Jg., pp. 51-55.
- ZYCHA (1952): Die Phomopsis-Krankheit von Douglasie und Japanlärche. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 71. Jg., S. 5-80.

# Physiologische Aspekte der Erkrankung der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* var. *viridis*)

Andrea Kaus und Aloysius Wild  
Institut für Allgemeine Botanik  
Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
D-55099 Mainz

**Keywords:** *Pseudotsuga menziesii*, manganese toxicity,  
physiological iron deficiency

## Summary

Title of the paper: Physiological aspects of the disease affecting Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *viridis*).

The disturbance of the nutrient balance induced by a surplus of manganese is discussed as the main cause of the disease striking Douglas-fir trees. In this context a close examination of the iron balance is of great interest. Despite of high total iron contents, the damaged Douglas-firs show symptoms similar to that which becomes apparent by an iron deficiency chlorosis and in which mainly the redox state of iron seems to be affected ("physiological iron deficiency"). The first results of this study support this assumption.

During this research project iron dependent systems (e.g. activities of iron dependent enzymes, structure of chloroplasts etc.) are being scrutinized by the use of various microtechnical and chemical methods. It is the aim to examine the hypothesis of manganese toxicity and to elucidate the interrelation between cause and effect of the disturbance of the nutrient balance.

**Schlüsselwörter:** *Pseudotsuga menziesii*, Mangan-Toxizität,  
physiologischer Eisenmangel

## Zusammenfassung

Als Ursachenhypothese der Erkrankung, die an Douglasien zu beobachten ist, wird ein durch Manganüberschuß induzierter Nährstoffmangel diskutiert. In diesem Zusammenhang ist die Untersuchung des Eisenhaushalts von besonderem Interesse. Da die erkrankten Douglasien trotz hoher Gesamteisenwerte der Nadeln Symptome ähnlich einer Eisenmangelchlorose zeigen, scheint vor allem der Redoxzustand des Eisens betroffen zu sein („physiologischer Eisenmangel“). Die ersten Ergebnisse, die hier vorgestellt werden, unterstützen diese Annahme.

Im weiteren Verlauf des Forschungsprojektes sollen eisenabhängige Systeme mittels diverser mikrotechnischer und chemischer Verfahren untersucht werden (z.B. die Aktivität eisenabhängiger Enzyme, die Struktur der Chloroplasten usw.). Ziel ist es, die Hypothese der Mangan-Toxizität zu überprüfen und durch das Verständnis der Kausalzusammenhänge von Ursache und Wirkungen der Störungen im Nährstoffhaushalt Gegenmaßnahmen ergreifen zu können.

---

Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 41/97; 117-127.

## 1. Einleitung

Die Ursachen der seit etwa 15-20 Jahren an der Douglasie *Pseudotsuga menziesii* var. *viridis* beobachteten Erkrankung sind noch weitgehend unklar. Da die betroffenen Bäume extrem hohe Mangan-Spiegelwerte in den Nadeln zeigen, liegt die Vermutung nahe, daß es sich hier um Auswirkungen übermäßiger immissionsbedingter Mangan-Freisetzung im Boden („Mangan-Toxizität“) handelt.

Als Ursachenhypothese wird ein durch Mangan-Überschuß induzierter Nährstoffmangel diskutiert. Da die Douglasien trotz hoher Gesamteisengehalte der Nadeln Symptome ähnlich einer Eisenmangelchlorose zeigen, scheint vor allem der Eisenhaushalt betroffen („physiologischer Eisenmangel“).

Um die Hypothese der Mangan-Toxizität bei besonderer Berücksichtigung des Eisenhaushaltes zu überprüfen, werden an Nadelproben diverse biochemische Untersuchungen durchgeführt.

Die Erfassung der Nährstoffgehalte der Nadeln ermöglicht Aussagen über schädigungsabhängige Schwankungen im Nährstoffspiegel.

Da ein physiologischer Eisenmangel nicht anhand der Messung des Gesamteisengehaltes erfaßt werden kann, ist es außerdem notwendig, den Gehalt an  $\text{Fe}^{2+}$  und den gesamten anorganischen Anteil des Eisens ( $\text{Fe}^{2+}$  und  $\text{Fe}^{3+}$ ) nachzuweisen.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Probenmaterial

Für die vorliegende Untersuchung wurden 1995 und 1996 die letzten drei Nadeljahrgänge von Zweigen des 7. Wirtels unterschiedlich stark geschädigter Douglasien (8-10 Bäume pro Variante) geerntet und separat weiterverarbeitet. Als Referenzen dienten zum einen ungeschädigte Douglasien eines ungeschädigten Bestandes, zum anderen, quasi als Negativreferenzen, Douglasien von einem

Kalkstandort mit „echter“ Eisenmangelchlorose (siehe Tab. 1). Zur Dokumentation wurden die Einzelergebnisse pro Variante gemittelt.

Tab. 1: Übersicht über die untersuchten Douglasien.

An overall view of the Douglas-fir trees under study.

<b><u>Varianten:</u></b>	
• Referenzbäume = ungeschädigte Douglasien aus einem ungeschädigten Bestand (Forstamt Adenau, Abt. 84a)	<b>R</b>
• Symptomfreie Douglasien aus einem geschädigten Bestand (Forstamt Adenau, Abt. 72c)	<b>G</b>
• Symptomtragende Douglasien aus einem geschädigten Bestand (Forstamt Adenau, Abt. 72c)	<b>Fe</b>
• Symptomtragende Douglasien aus einem geschädigten Bestand, die mit Eisenpatronen bestückt sind (Forstamt Adenau, Abt. 72c)	<b>FeP</b>
• "Negativreferenzen" = Douglasien von einem Kalkstandort mit Eisenmangelchlorose (Forstamt Irrel)	<b>C</b>

## 2.2 Mineralstoffanalyse

Getrocknetes, gemahlenes Nadelmaterial wurde bei 160°C mit konzentrierter Salpetersäure unter Druck verascht. Mittels ICP-Technik konnten die Gesamtgehalte der Mineralstoffe erfaßt werden.

## 2.3 Nachweis von Fe<sup>2+</sup> und Fe<sup>3+</sup>

Das Nadelmaterial wurde mit Citratpuffer (modifiziert nach BOOß 1983) in einem Dismembrator homogenisiert. Der Überstand nach der Zentrifugation wurde mit einem Farbindikator (4,7 Diphenyl-1,10-phenanthrolin-*dinatriumsalz*), der mit Fe<sup>2+</sup> zu einen roten Farbkomplex reagiert, versetzt. Durch die photometrische Bestimmung der Extinktion bei 540 nm kann der Gehalt an Fe<sup>2+</sup> in der Lösung errechnet werden. Zur

Bestimmung des Gesamtgehaltes des löslichen Eisens wurde die gesamte Probe mit Ascorbinsäure reduziert und in entsprechender Weise gemessen.

## **2.4 Bestimmung des Chlorophyllgehaltes**

Gefrorenes Nadelmaterial wurde mit DMSO (Dimethylsulfoxid) 15 Stunden inkubiert und der Überstand bei 750 nm, 663 nm und 645 nm mittels eines Photometers gemessen. Der Chlorophyllgehalt errechnete sich nach der Formel von HARBONE (1973).

## **3. Erste Ergebnisse und Diskussion**

Die beprobten Varianten des geschädigten Bestandes (Forstamt Adenau, Abt. 72c) weisen extrem hohe Mangangehalte auf, wobei auch die Werte der okular ungeschädigten Varianten dieses Bestandes deutlich über der Mangan-Konzentration der Referenzbäume (Abt. 84a) liegen. Eine normale Akkumulation des Mangans älter werdender Nadeln ist in allen Varianten zu beobachten. Von 1995 zu 1996 zeigt sich eine leichte Abnahme der Werte (Abb. 1).

Die hier dokumentierten Ergebnisse der Mangananalysen von Nadeln betroffener Douglasien spiegeln Beobachtungen wider, die früher auch schon in anderen Beständen gemacht wurden (ZOTH, 1990; SCHÖNE, 1987). Es wird daher als Ursachenhypothese ein durch Mangan-Überschuß induzierter Nährstoffmangel („Mangan-Toxizität“) diskutiert, der als Auswirkung übermäßiger immissionsbedingter Mangan-Freisetzung im Boden betrachtet werden kann. Sinkt der pH-Wert des Bodens und damit das Redoxpotential, dann wird vermehrt höherwertiges Mangan zu  $Mn^{2+}$  reduziert und damit pflanzenverfügbar (MENGEL, 1991).

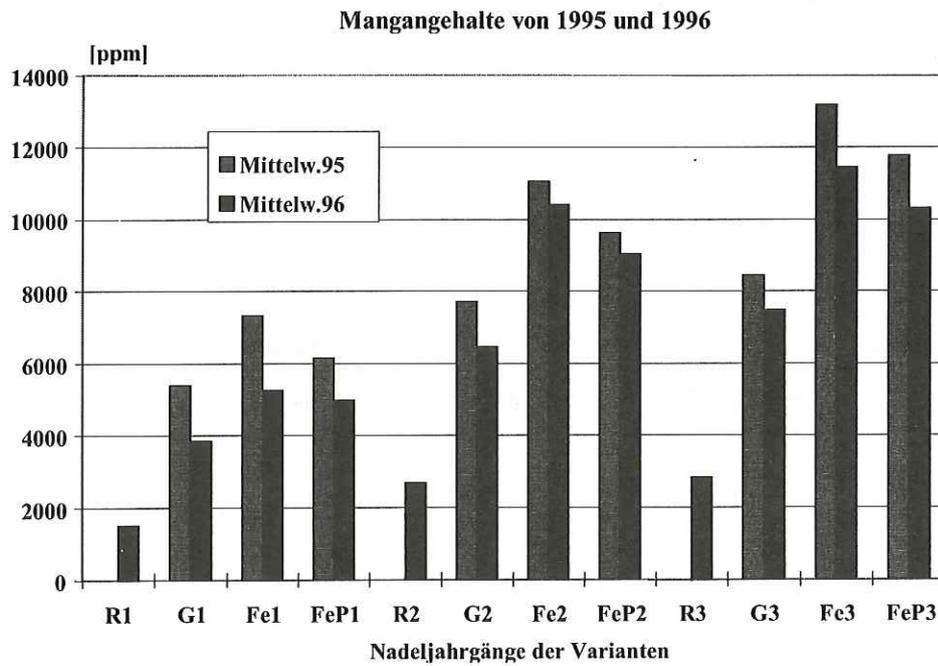


Abb. 1: Mangangehalte der Varianten.

Total contents of manganese per variant.

Tab. 2: Übersicht über die Wirkung von Mangan-Überschuß.

An overall view of the effect of manganese surplus.

**Wirkungen von Mangan-Überschuß:**

- Ablagerungen von oxidierten Mn-Verbindungen (Nekrosen, Braunfärbungen)
- Kompetitive Hemmung von Aufnahme, Transport und Translokation von Ca-, Mg- und Fe-Ionen
- Verdrängung der Ionen vom Wirkort
- Verminderung der Reduktion von  $Fe^{3+}$  zu  $Fe^{2+}$
- Hemmung der Katalase- und Förderung der Peroxidase-Aktivität
- Verstärkter Abbau der Indol-3-essigsäure [IES] (Wuchsstörungen)

Mangan kann in hohen Konzentrationen einige Auswirkungen auf pflanzliche Organismen haben (siehe Tab. 2). In vielen Fällen zeigen sich die Symptome der Mangan-Toxizität als Nekrosen und Chlorosen (NABEL *et al.*, 1988; Horiguchi *et al.*, 1988). In diesen Zusammenhang scheint der induzierte Nährstoffmangel z.B. von Eisen, Magnesium und Calcium dominierend oder zumindest beteiligt (Horst, 1988). Der durch Mangan-Überschuß induzierte Eisen- und Magnesium-Mangel liegt entweder in der inhibierten Aufnahme oder Unregelmäßigkeiten auf zellulärer Ebene begründet (Marschner, 1995).

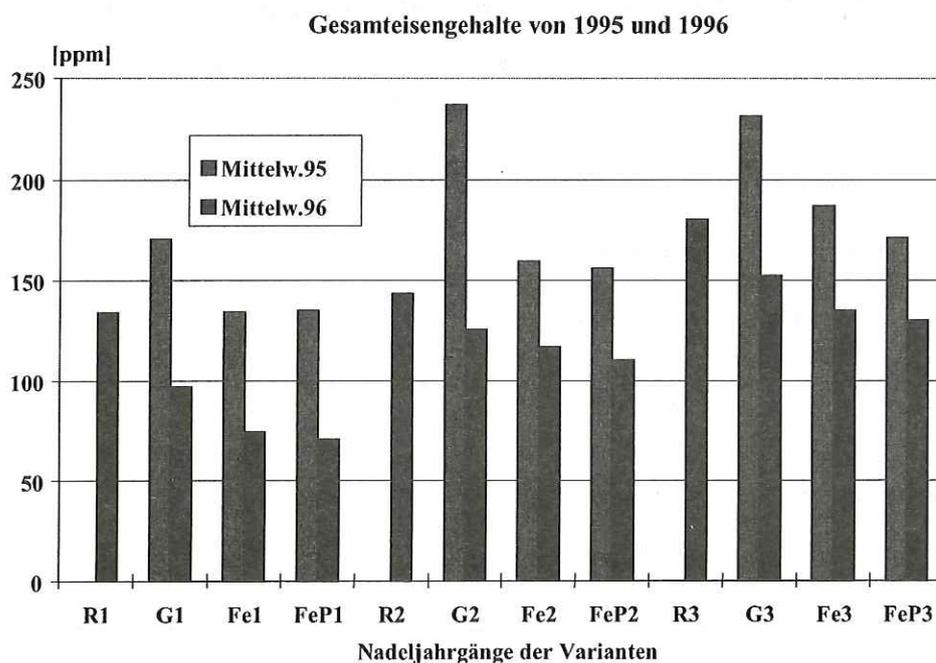


Abb. 2: Eisengehalte der Varianten.

Total contents of iron per variant.

Der Eisenhaushalt ist hier von besonderem Interesse, da die betroffenen Douglasien in ihren jüngsten Nadeln eine Symptomatik ähnlich einer Eisenmangelchlorose, wie sie auf Kalkstandorten zu beobachten ist, aufweisen. Im vorliegenden Fall scheint allerdings die Aufnahme des Eisens nur in geringem Maße beeinträchtigt zu sein (Abb. 2). Obwohl die Bäume ohne Schadsymptome (R- und G-Variante) wesentlich höhere Werte aufweisen, liegt der Gesamteisengehalt der Douglasien mit Symptomen (Fe- und FeP-Variante) deutlich im guten Versorgungsbereich. Trotz Absinken der Werte 1996 wird bei keiner

Variante der Mangelbereich, der etwa bei 20-30 ppm liegt, erreicht. Die extrem hohen Eisenwerte der G-Variante 1995 sind nicht leicht zu erklären. Es könnte als Versuch der Bäume gewertet werden, die gegenseitige kompetitive Verdrängung, die durch die äquivalente Ionengröße von Mangan und Eisen möglich ist (MENGEL, 1991), zugunsten des Eisens zu verschieben. Diese Annahme ist allerdings rein hypothetisch und nicht zu belegen.

Da die Erfassung des Gesamteisengehaltes keinen Ansatzpunkt liefert, müssen Unregelmäßigkeiten auf zellulärer Ebene in Form eines physiologischen Eisenmangels gesucht werden.

Betrachtet man den in Abbildung 3 dargestellten Anteil des löslichen Eisens, so läßt sich zwar vor allem im ersten Nadeljahrgang ein Abfallen der Werte mit steigendem Schädigungsgrad erkennen, eine eindeutige Interpretation bezüglich eines physiologischen Eisenmangels ist allerdings noch nicht möglich. Interessant ist aber, daß die Werte der Fe-Variante am niedrigsten liegen, d.h. auch von denen der FeP-Variante übertroffen werden. Zumindest hier scheint die Bestückung der symptomtragenden Douglasien mit „Promi-Ferro-Kapseln“ einen, wenn auch geringen, Effekt zu zeigen.

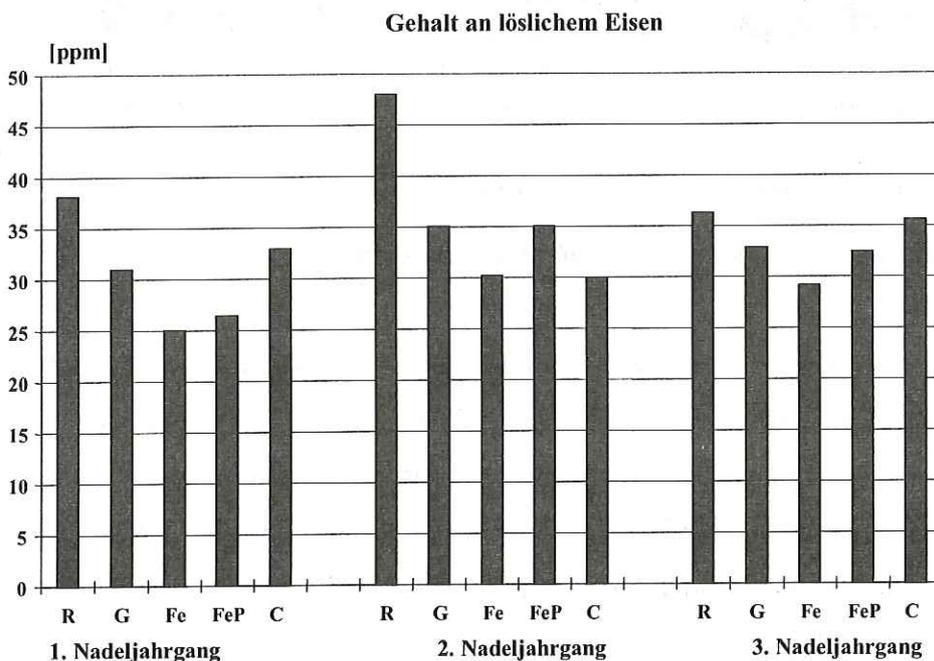


Abb. 3: Löslicher Anteil des Eisens der Varianten.

Contents of soluble iron per variant.

Differenziert man nun den löslichen Eisenanteil hinsichtlich der Oxidationsstufen, so läßt sich eine unerwartete Entdeckung machen. Die Douglasien, die okular schadfrei sind (Varianten G und R), zeigen im Vergleich zu den symptomtragenden Douglasien (Fe- und FeP-Varianten) einen wesentlich höheren Anteil an  $\text{Fe}^{3+}$ , während der  $\text{Fe}^{2+}$ -Gehalt bei allen Varianten um einen relativ konstanten Wert schwankt. Besonders deutlich zeigt sich dieses Verhältnis in den jüngsten Nadeljahrgängen (Abb. 4).

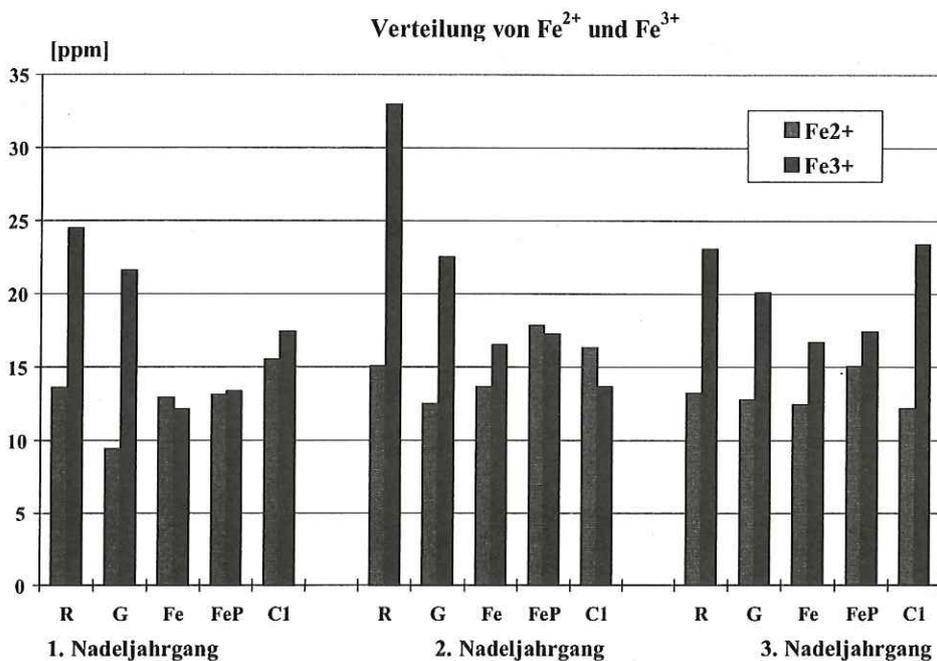


Abb. 4: Verteilung von  $\text{Fe}^{2+}$  und  $\text{Fe}^{3+}$  im löslichen Eisen der Varianten.

Distribution of  $\text{Fe}^{2+}$  und  $\text{Fe}^{3+}$  in the soluble iron per variant.

Da Mangan in toxischen Konzentrationen zu einer Verminderung der Reduktion von  $\text{Fe}^{3+}$  zu  $\text{Fe}^{2+}$  führen kann und das zweiwertige Eisen als „aktives“ Eisen anzusehen ist, d.h. in dieser Form in Synthese- und Stoffwechselprozesse eingeschleust wird, wurde bisher davon ausgegangen, daß bei von der Erkrankung betroffenen Douglasien ein geringerer Anteil an  $\text{Fe}^{2+}$  und möglicherweise höherer Anteil an  $\text{Fe}^{3+}$  zu finden sein dürfte (SCHÖNE, 1987).

$\text{Fe}^{2+}$  ist sehr reaktiv und kann in höheren Konzentrationen gefährlich für die Pflanze sein, da es in Gegenwart von Sauerstoff oder daraus entstehendem Peroxid zur Bildung von Radikalen kommen kann, die toxisch für Pflanzen sind (KAIM UND

SCHWEDERSIK, 1995). Daher liegt die Annahme nahe, daß die Pflanze den notwendigen Level an  $Fe^{2+}$  möglichst niedrig hält und parallel dazu einen „Reservepool“ an  $Fe^{3+}$  aufrechterhält, aus dem sie bei Bedarf  $Fe^{2+}$  reduzieren kann. Da dieser „Reservepool“ bei den geschädigten Varianten stark vermindert ist, könnte man hier tatsächlich von einem Eisenmangel sprechen. Die Tatsache, daß diese Verhältnisse in den ersten beiden Nadeljahrgängen auftreten und sich ab dem dritten Nadeljahrgang verwischen, stützt diese Annahme.

Die in den Abbildungen 3 und 4 dargestellten Ergebnisse der C-Variante resultieren aus Messungen eines Baumes, sind daher noch nicht endgültig und nur als Hinweis zu sehen.

Als weiteres Indiz für einen physiologischen Eisenmangel sind die Ergebnisse der Chlorophyllanalyse zu werten. Da die Synthese des Chlorophylls stark eisenabhängig ist, spiegelt sich eine Unregelmäßigkeit im Eisenhaushalt direkt im Chlorophyllgehalt wider (Abb. 5).

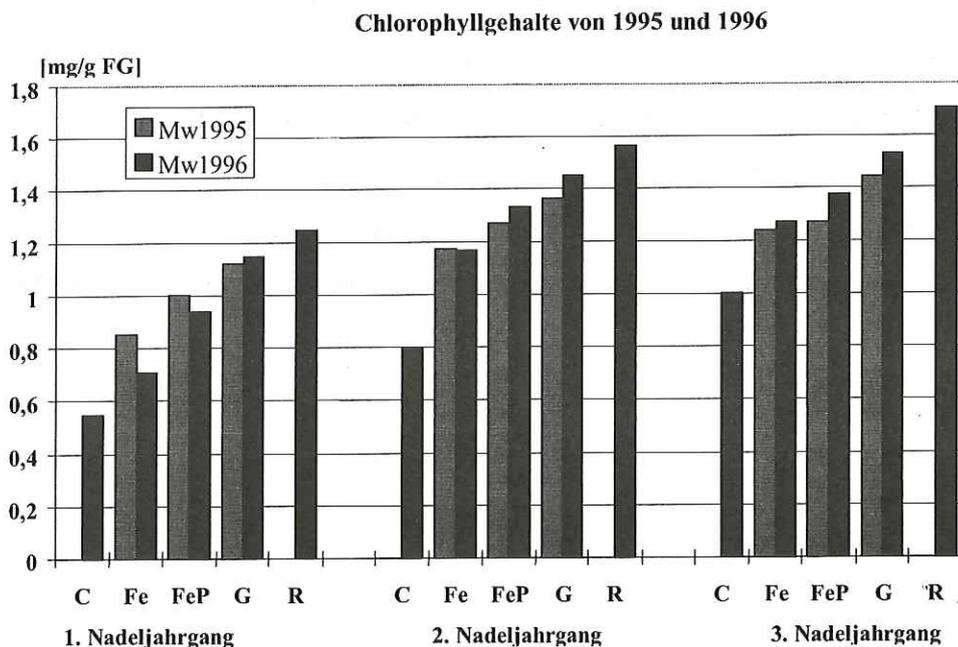


Abb. 5: Chlorophyllgehalt der Varianten.

Contents of chlorophyll per variant.

Die Chlorophyllgehalte sinken mit steigendem Schädigungsgrad. Die „Negativreferenzen“ (C-Variante) zeigen die niedrigsten und die „Positivreferenzen“ (R-Variante) die höchsten Werte. Auch hier werden die geschädigten Douglasien ohne Eisenpatronen (Fe-Variante) von denen mit Implantat (FeP-Variante) übertroffen.

Folgeuntersuchungen an eisenabhängigen Systemen (z.B. Katalaseaktivität, Chloroplastenzustand usw.) sollen Aufschluß über die Auswirkungen der beobachteten Unregelmäßigkeiten liefern.

Liegt tatsächlich ein physiologischer Eisenmangel vor, zeigen Aktivitätsmessungen Fe-abhängiger Enzyme mögliche Auswirkungen auf Stoffwechselfvorgänge.

Mittels Licht- und Elektronenmikroskopie soll vor allem der Zustand der Chloroplasten untersucht werden. 75% des Eisens ist in den Chloroplasten lokalisiert, daher kann eine Störung des Eisenhaushaltes und die damit verbundenen strukturellen Veränderungen auch auf anatomischer Ebene detektiert werden.

Unter Ausnutzung der spezifischen Röntgenstrahlung [Röntgenmikroanalyse (EDX)], die von den jeweiligen Elementen nach Beschuß mit Elektronen (z.B. im TEM) abgestrahlt wird, können Elementanreicherungen und Verteilungsmuster der Elemente im Gewebe qualitativ und quantitativ erfaßt werden.

Um die Möglichkeit, im Freiland auftretende Symptome zu induzieren und erfaßte Ergebnisse zu überprüfen, werden Douglasiensämlinge in Hydrokultur unterschiedlichen Wuchsbedingungen ausgesetzt (z.B. variierten Nährstoffbedingungen wie Mangan-Überschuß usw.) und ebenfalls den beschriebenen Untersuchungen unterzogen.

Erst mit dem Verständnis der Ursachen einer Erkrankung und deren Wechselwirkungen im Organismus können wirksame Gegenmaßnahmen ergriffen werden.

## 4. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Herrn WIELAND SCHMITT für die Erfassung der Chlorophyllgehalte sowie den Mitarbeitern der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz für die Organisation und Finanzierung der Ernteeinsätze danken.

## 5. Literatur

- BOOß, A., KOLESCH, H. UND HÖFNER, W. (1983): Bestimmung des „aktiven“ Eisens in Pflanzen durch Extraktion mit Citratpuffer. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 140, S. 401-404.
- HERBORNE, J.B. (1973): *Phytochemical methods*. Chapman and Hall, London.
- HORIGUCHI, T. (1988): Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants. VII. Effect of light intensity on manganese-induced chlorosis. *Journal of Plant Nutrition*, 11, pp. 235-246.
- HORST, W.J. (1988): The physiology of manganese toxicity. *In: Manganese in Soil and Plants* (R. D. GRAHAM, R. J. HANNAM AND N. C. UREN, eds), Kluwer Academic, Dordrecht, pp. 175-188.
- KAIM, W. UND SCHWEDERSKI, B. (1995): *Bioanorganische Chemie*. Teubner-Verlag Stuttgart.
- MARSCHNER, H. (1995): *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2. Edition. Academic Press.
- MENGEL, K. (1991): *Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze*, 7. Edition. Gustav Fischer Verlag Jena.
- NABEL, R.O, HOUTZ, R.L. AND CHENIAE, G.M. (1988): Early inhibition of photosynthesis during development of Mn toxicity in tobacco. *Plant Physiology*, 86, pp. 1136-1142.
- SCHÖNE, D. (1987): Eine Mangan-induzierte Eisenchlorose bei Douglasien. *Allgemeine Forst Zeitschrift*, 45, pp. 1154-1157.
- ZOTH, R. (1990): Untersuchungen zur Douglasienkrankung in Rheinland-Pfalz. Interner Bericht der Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, 127 Seiten.

# Ergebnisse von Douglasien-Provenienzversuchen unter besonderer Berücksichtigung von Douglasienschäden

Jochen Kleinschmit und Josef Svolba  
Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt  
Abt. C Forstpflanzenzüchtung Escherode  
D-34355 Staufenberg

**Keywords:** Douglas-fir, *Pseudotsuga menziesii*, damages, provenance experiment, variability, losses, growth

## Summary

Title of the paper: Results of Douglas-fir provenance tests in particular with respect to Douglas-fir damages.

The paper contains two parts:

- In the first part the results of existing older Douglas-fir provenance experiments are discussed in view of damages. All German experiments have shown that provenances originating from the continental part of the natural range suffer more from fungal diseases (*Rhabdocline pseudotsugae*, *Adelopus gäumannii*, *Phomopsis pseudotsugae*) as compared to provenances west of the Cascade Ridge. This is explained by lack of adaptation to humid conditions. The coastal forms show best growth but differences in adaptability to changing climate and site conditions. Provenances from Washington State west of the Cascade Ridge are highly adaptable and before all recommended for import to Germany.
- In the second part the results of a provenance/progeny test established on six sites in Lower Saxony are presented which includes American sources (25), German stands (19), single tree progenies (138) and stands from Rhineland-Palatinate which show damages not to be explained by fungal disease (24). The results at age 17 show no differences in provenance mean range between American, German and damaged stands for losses, height and diameter. There is no indication that populations originating from a specific part of the natural range are especially affected. There is a tendency to more provenances with lower losses in the progenies originating from the damaged stands which is found in Interior British Columbia sources too. However, this group includes the most vigorous populations of the tests too, which are typical for Washington sources.  
It is concluded that the „nonfungal“ damages are due to site conditions (e.g. manganese surplus) which affect all provenances equally. However, provenances from the continental part of range are much more endangered of total loss due to cumulative effects of different damages.

**Schlüsselwörter:** Douglasie, *Pseudotsuga menziesii*, Schäden, Herkunftsversuche, Variabilität, Ausfälle, Wachstum

## Zusammenfassung

Die Arbeit ist in zwei Abschnitte gegliedert:

- Die Ergebnisse älterer Douglasienherkunftsversuche werden unter Berücksichtigung von Schädigungen besprochen. In allen Versuchen hat sich gezeigt, daß Herkünfte aus dem kontinental getönten Teil des natürlichen Verbreitungsgebietes beim Anbau in Deutschland stärker unter Pilzschäden (*Rhabdocline pseudotsugae*, *Adelopus gäumannii*, *Phomopsis pseudotsugae*) leiden als Herkünfte aus dem Bereich westlich des Kaskadenkammes. Dies wird auf fehlende Anpassung an humide Verhältnisse zurückgeführt. In der Wuchsleistung liegen die Herkünfte aus dem küstennahen Bereich an der Spitze, wobei diese große Unterschiede in der Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Klima- und Standortverhältnisse aufwiesen. Besonders anpassungsfähig sind Herkünfte aus dem Staat Washington westlich des Kaskadenkammes, die für den Anbau in Deutschland vorrangig empfohlen sind.
- Im zweiten Teil werden die Ergebnisse einer Prüfung von Douglasienherkünften aus Amerika (25), aus Deutschland (19) sowie Einzelbaumabsaaten deutscher Plusbäume (138) im Vergleich zu Absaaten von 24 Schadbeständen aus Rheinland-Pfalz besprochen. Die Prüfglieder sind auf sechs Versuchsflächen in Niedersachsen angebaut worden. Die Ergebnisse der Aufnahmen im Alter 17 zeigen, daß die Schadbestände in ihrer Höhenwuchsleistung und im Durchmesser die ganze Spanne der übrigen deutschen Bestände bzw. auch der amerikanischen Bestände überdecken. Es gibt keinen Hinweis darauf, daß bestimmte Herkünfte mit typischem Wuchsverhalten von den neuartigen Douglasienschäden, die nicht durch Pilzbefall erklärt werden können, besonders betroffen sind. Allenfalls kann man sagen, daß diese Herkünfte geringere Ausfälle aufweisen und in ihrer Wuchsleistung eine Häufung bei geringer wüchsigen Bestandesnachkommen zeigen. Sie umfassen aber ebenso die wüchsigen Nachkommen, die in diesem Versuch aufgetreten sind. Es wird gefolgert, daß diese Schäden standörtliche Ursachen (z.B. Manganüberschuß) haben müssen, die alle Douglasienherkünfte gleichermaßen betreffen. Allerdings sind Herkünfte aus dem kontinentalen Teil des Verbreitungsgebietes wegen der Häufung mehrerer Schadursachen insgesamt deutlich stärker für einen Totalausfall disponiert.

## 1. Einleitung

Der Anbau der Douglasie hat in der Vergangenheit zahlreiche Rückschläge dadurch erlitten, daß Krankheiten aufgetreten sind, die empfindliche Schäden verursacht haben. Diese Krankheiten waren vorrangig pilzbedingte Krankheiten wie die Nadelschütte (*Rhabdocline pseudotsugae* und *Adelopus gäumannii*) oder der Douglasienkrebs (*Phomopsis pseudotsugae*).

Aufgrund der älteren Herkunftsversuche - beginnend mit dem SCHWAPPACHSchen Herkunftsversuch von 1912 über die WIEDEMANNschen Herkunftsversuche nach 1930 und die SCHOBERSchen Herkunftsversuche (1957 und folgende), zeigte sich bald, daß diese Krankheiten sehr stark durch die Wahl der Herkunft beim Anbau beeinflußt werden konnten. Herkünfte aus dem trockeneren Interiorbereich zeigten geringere

natürliche Anpassung an Pilzbefall als dies für Herkünfte aus dem Küstenbereich der Fall ist. Dementsprechend kamen die älteren Autoren (LIESE, 1936; SCHENCK, 1939; SCHOBER UND MAYER, 1955; LYR, 1958 und SCHWERDTFEGGER, 1970) zu dem Schluß, daß die einzige durchschlagende Bekämpfungsmaßnahme gegen diese Pilzschäden die Wahl der richtigen Herkunft wäre.

Gleichzeitig zeigten die Herkünfte aus dem Küstenbereich von Washington und Nord-Oregon in der Wuchsleistung auch deutliche Überlegenheit und stehen beim Anbau in Europa der Wuchsleistung im Heimatgebiet kaum nach (KLEINSCHMIT, 1973). Als Küstenherkünfte werden hier solche bezeichnet, die ihren Ursprung westlich des Kaskadenkammes in Oregon und Washington sowie dem Küstenbereich von British Columbia haben, als Interiorherkünfte solche, die aus dem Übergangsbereich von grüner zu blauen Douglasie in British Columbia stammen.

Wegen der großen wirtschaftlichen Bedeutung der Douglasie sind aber in den Folgejahren noch umfangreiche weitere Herkunftsversuche begründet worden, insbesondere auch, um das gesamte natürliche Verbreitungsgebiet der Art mit abzudecken. Der umfangreichste Versuch wurde im Rahmen der *IUFRO* von HELMUT BARNER (Dänemark) eingesammelt und an viele Länder auf der ganzen Welt verteilt (KLEINSCHMIT UND BASTIEN, 1992). Dieser Versuch gab zum erstenmal einen umfassenden Überblick über die Anbaumöglichkeiten der amerikanischen Herkünfte in den unterschiedlichsten klimatischen Gebieten.

Durch die Zusammenarbeit im Rahmen der *IUFRO* war es möglich, sehr viele Ergebnisse dieser Versuche in einer gemeinsamen Datenbank zusammenzuführen und zusammenfassend auszuwerten. Diese Auswertung zeigte einige interessante Ergebnisse:

Die Anpassungsfähigkeit der Herkünfte an unterschiedliche klimatische Verhältnisse unterscheidet sich sehr deutlich.

Einzelne Herkünfte zeigen über eine sehr weite Spanne ökologisch sehr unterschiedlich zu bewertender Gebiete eine große Anpassungsfähigkeit mit guter Wuchsleistung, guter

Form und hohem Überleben, hierzu gehören vor allem Herkünfte aus dem Staat Washington westlich des Kaskadenkammes.

Im übrigen wurden die Ergebnisse der älteren Herkunftsversuche weitgehend bestätigt. Herkünfte aus dem Gebiet westlich des Kaskadenkammes in Washington und Nord-Oregon zeigen in Westeuropa - also auch in der Bundesrepublik Deutschland - zwar in der Jugend höhere Frostschäden, dafür aber im weiteren Verlauf gutes Wachstum und geringe Anfälligkeit gegen Pilzbefall. Dementsprechend wurden auch die Empfehlungen zum Import von Douglasiensaatgut praktisch für den gesamten *EU*-Raum so abgefaßt, daß nur diese Gebiete für den Import infrage kommen.

Wenn man nach den Ursachen für die unterschiedliche Anpassungsfähigkeit von Herkünften sucht, so bieten sich zwei Erklärungsmöglichkeiten an:

1. Unterschiede in der genetischen Variabilität der Herkünfte, die für die Auslese am Anbauort eine unterschiedlich breite Palette an Möglichkeiten bereithalten.
2. Unterschiedliche individuelle Anpassungsfähigkeit (Plastizität) beim Anbau in anderer Umwelt.

Die Untersuchungen über die genetische Variabilität von Douglasie in ihrem Heimatgebiet deuten daraufhin, daß vorrangig die erste Erklärung zutreffend sein könnte.

Seit etwa 20 Jahren treten bei älteren Douglasien-Beständen in Deutschland Schädigungen auf, die erst im fortgeschrittenen Alter sichtbar werden und die nicht mit den bisher bekannten Pilzschäden beschrieben werden können. Fragen der Nährstoffversorgung, insbesondere der Mangantoxizität, sind inzwischen näher untersucht worden. Der Verdacht lag nahe, daß für diese Schäden auch die Wahl ungeeigneter Herkünfte verantwortlich sein könnte. Darum wurden solche Schadbestände im Vergleich zu besonders guten einheimischen und aus Amerika importierten Beständen im Anbau verglichen. Hierüber soll nachfolgend berichtet werden.

## 2. Douglasien-Einzelbaum, Bestandes- und Herkunftsprüfung Aussaat 1975

### 2.1 Material und Methoden

Tab. 1: Prüfglieder des Douglasienversuches, Anlage 1978.

Material tested in the Douglas-fir provenance experiment, established 1978.

<i>Bezeichnung</i>	<i>Anzahl</i>
Einzelbaumabsaaten	138
Deutsche Bestände	19
Amerikanische Bestände	25
Schadbestände	24

Insgesamt 206 Versuchssorten: 138 Douglasieneinzelbaumabsaaten von ausgelesenen Zuchtbäumen in Nord- und Westdeutschland, 19 Bestandesabsaaten deutscher ausgelesener Bestände, 25 amerikanische Herkünfte (Bestandesabsaaten) sowie 24 Schadbestände aus Rheinland-Pfalz wurden im Frühjahr 1975 in Escherode ausgesät (Tab. 1). In der Baumschule wurde Austrieb, Abschluß und Höhe aufgenommen.

Die Herkunftsorte der deutschen Versuchssorten sind in Abb. 1 dargestellt. Aus dieser Abbildung wird deutlich, daß Nordwestdeutschland relativ gleichmäßig erfaßt wurde. Die Schadbestände sind in Tab. 2 genauer charakterisiert. Die amerikanischen Herkünfte stammen vorwiegend aus Washington westlich des Kaskadenkammes, also aus dem Gebiet, daß heute für den Import nach Westeuropa vorrangig empfohlen wird (Abb. 2). Vier Herkünfte kommen aus British Columbia, davon drei aus dem Shuswap Lake-Gebiet und eine aus klimatisch stärker kontinental getöntem Bereich, eine Herkunft stammt aus Oregon.

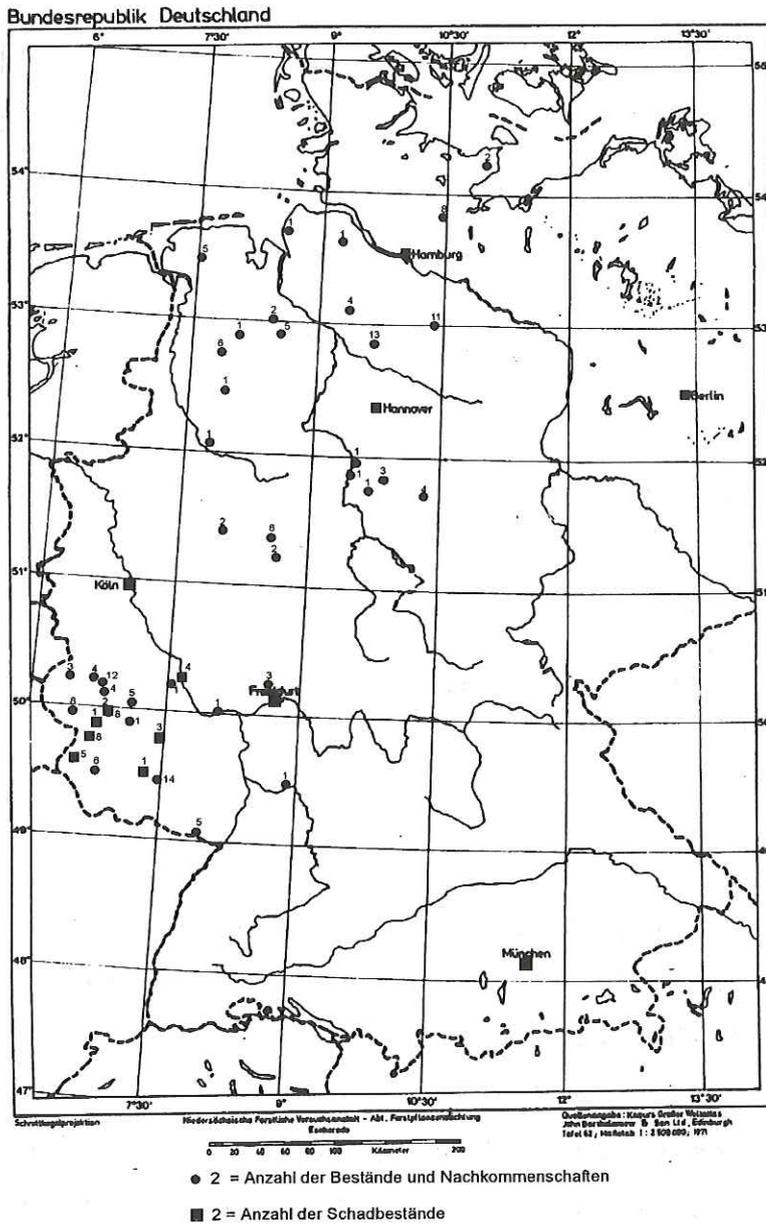


Abb. 1: Herkunftsorte der Einzelbaum- und Bestandesabsaaten bei Douglasie.

Provenance locations of single tree - and stand progenies of Douglas-fir.

Tab. 2: Schadbestände des Douglasienversuches, Anlage 1978.

Table 2: Damaged stands included in the Douglas-fir provenance experiment, established 1978.

<i>Forstamt</i>	<i>Abteilung</i>
Föhren	180a
Kasel	Gemisch
Kasel	3b <sup>2</sup>
Kasel	8b <sup>2</sup>
Kasel	32a <sup>2</sup>
Kasel	33b
Kasel	3a/30a
Kasel	2a
Kasel	12a
Kirn	46a <sup>2</sup>
Kirn	18a <sup>2</sup> /15a <sup>2</sup>
Kirn	101a <sup>2</sup>
Lahnstein	49b <sup>2</sup>
Lahnstein	50a <sup>1</sup>
Bad Münster am Stein	20a
Saarburg-Ost	61a
Saarburg-Ost	63b
Saarburg-Ost	54
Saarburg-Ost	8a
Saarburg-Ost	12a
Wittlich-Ost	24
Wittlich-West	15b <sup>1</sup>

Die amerikanischen Herkünfte repräsentieren damit ganz gut die Bereiche, aus denen Saatgut nach Deutschland importiert wurde und können damit als Vergleichsbasis für die deutschen Versuchssorten dienen.

Die Versuchssorten wurden im Frühjahr 1978 als 3jährige Pflanzen auf sechs Versuchsflächen in Niedersachsen ausgepflanzt (Abb. 3). Die Flächen liegen vorwiegend im nordniedersächsischen Flachland, das für den Schwerpunkt des Douglasienanbaues in Niedersachsen vorgesehen ist. Eine Fläche liegt im südniedersächsischen Bergland in einer Höhenlage von 400 m über NN, während alle anderen Flächen unter 100 m liegen.

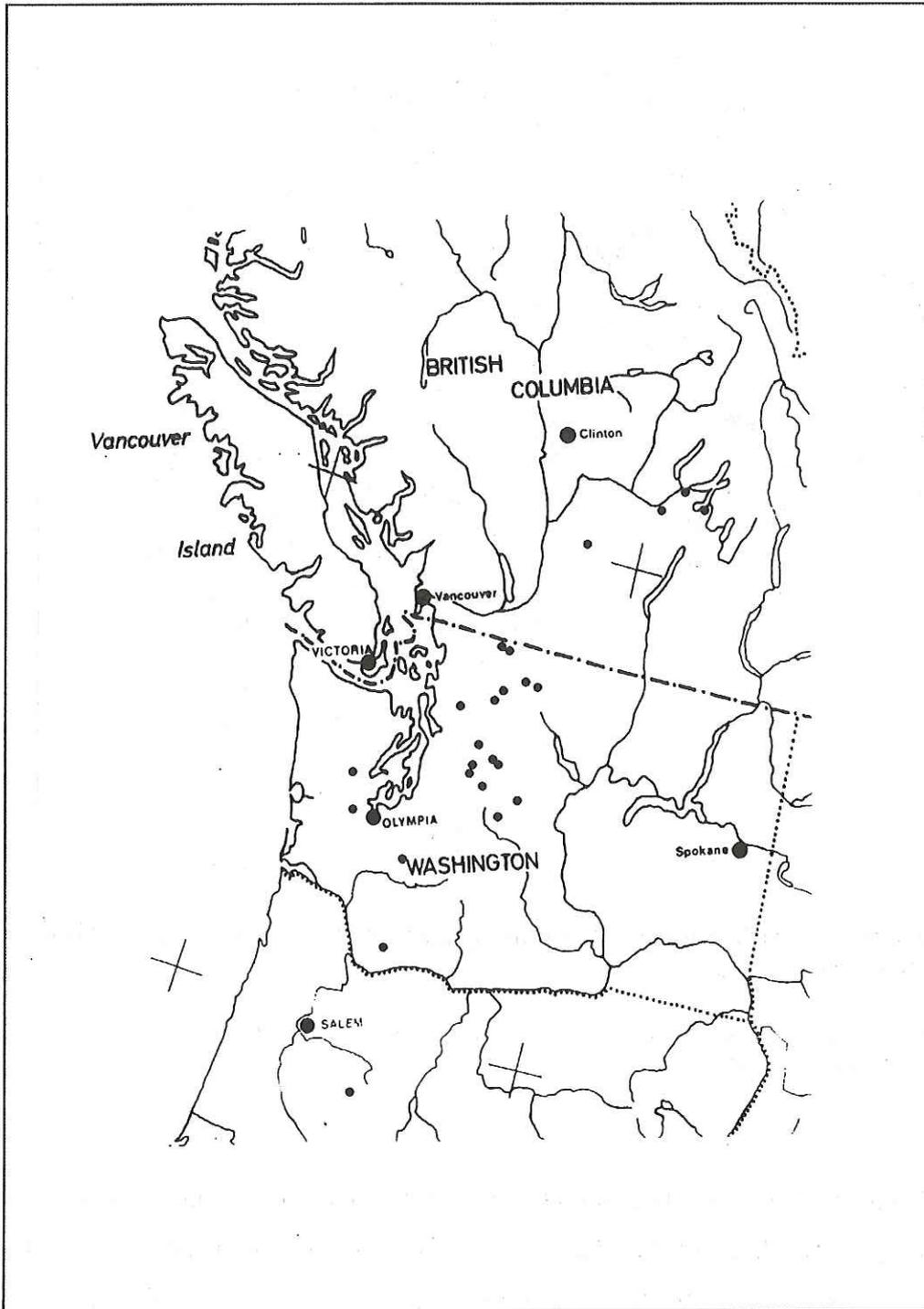


Abb. 2: Lage der Douglasienherkünfte aus den USA und Canada.

Locations of the Douglas-fir provenances originating from the USA and Canada.

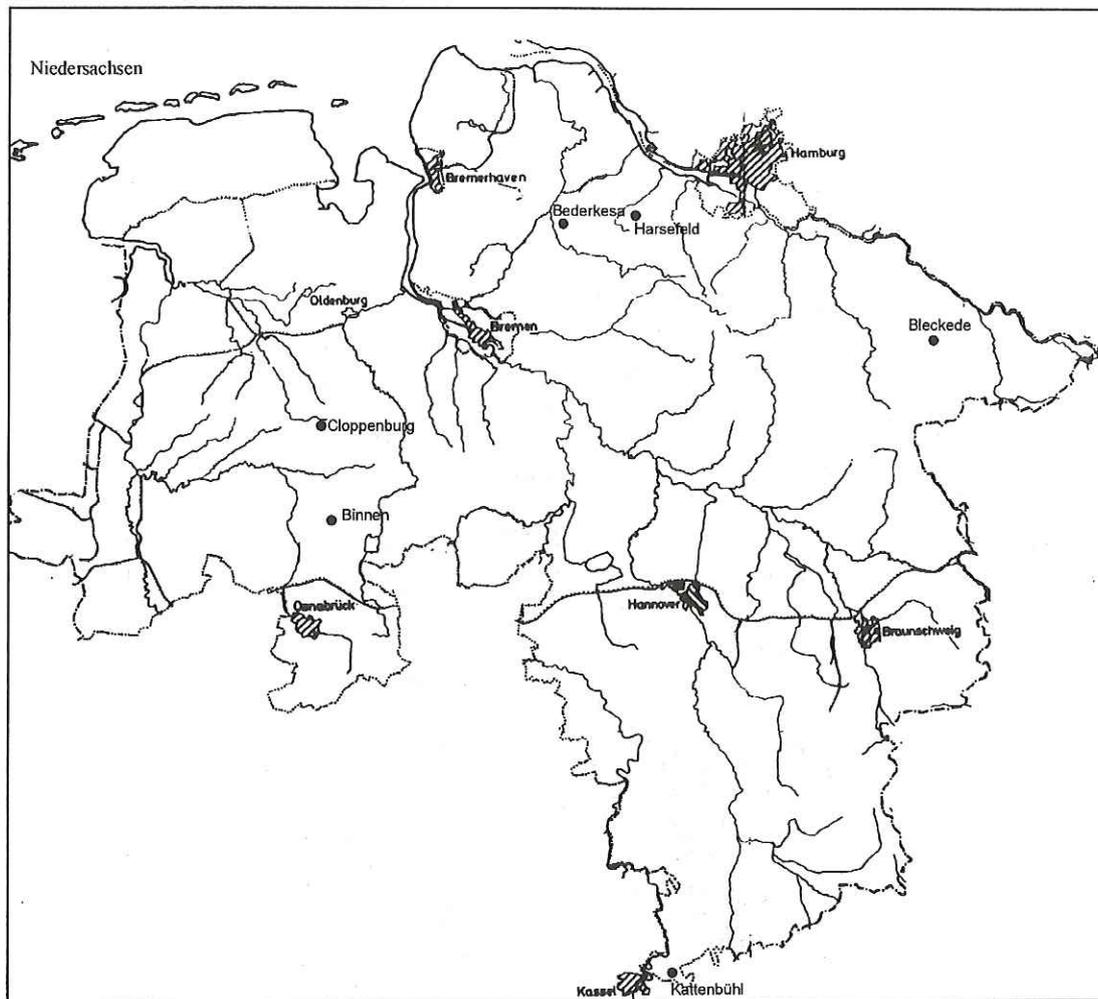


Abb. 3: Douglasien-Nachkommenschaftsprüfung und Schadbestände (Anlage 1978):  
Lage der Versuchsorte.

Douglas-fir provenance experiment and damaged stands (established 1978):  
location of the test sites.

Klimatisch unterscheiden sich die Flächen in der Jahresdurchschnittstemperatur um  $1^{\circ}\text{C}$  ( $7,5^{\circ}\text{C}$ - $8,5^{\circ}\text{C}$ ), im Jahresniederschlag um 170 mm (630-800 mm). Bei der Vegetationszeittemperatur sind die Unterschiede mit  $1,6^{\circ}\text{C}$  deutlich größer, bei den Vegetationszeitniederschlägen mit 90 mm deutlich geringer. Standortlich sind die Flächen auf ärmeren Böden begründet worden, die früher in der Regel mit Kiefer bestockt waren.

Die Flächen wurden im 2 x 2 m-Quadratverband (Bederkesa 2 x 1,5 m) mit 9 Pflanzen je Parzelle und 3 Wiederholungen je Versuchsfläche begründet (Tab. 3).

Tab. 3: Standortbeschreibung des Douglasienversuches, Anlage 1978.

Site description of the Douglas-fir provenance experiment, established 1978.

<i>Forstamt</i>	<i>Größe (ha)</i>	<i>Höhe ü. NN (m)</i>	<i>Geogr. Breite</i>	<i>Geogr. Länge</i>	<i>Temperatur (°C)</i>		<i>Niederschlag (mm)</i>		<i>Bodentyp</i>
					<i>Jahr</i>	<i>Veg. Zeit</i>	<i>Jahr</i>	<i>Veg. Zeit</i>	
Bleckede	2,43	95	53°05'	10°50'	8,5	14,8	630	290	überwiegend Sande
Kattenbühl	1,56	400	51°20'	9°40'	7,5	13,3	800	380	podsolige Braunerde
Cloppenburg	2,10	20	52°50'	8°05'	8,3	14,3	734	345	Podsol
Bederkesa	1,08	10	53°24'	9°10'	8,0	14,3	752	356	basenarme Braunerde
Harsefeld	1,94	25	53°25'	9°30'	8,3	14,2	730	350	podsolierte Decksande
Binnen	1,94	40	52°34'	8°54'	8,5	14,9	672	317	überwiegend Sande

Die Flächen wurden wiederholt aufgenommen. Hier sollen die Ergebnisse der Aufnahmen von Ausfällen, Höhe und Brusthöhendurchmesser im Alter von 17 Jahren besprochen werden.

Für alle Merkmale wurden Mittelwerte, Streuung, Varianzanalysen, Stabilitätsparameter und Rangkorrelationen berechnet.

Der Schwerpunkt der Betrachtung wird auf dem Vergleich zwischen amerikanischen Beständen, deutschen Beständen und Schadbeständen liegen.

## 2.2 Ergebnisse

Schon in der Baumschule war der Austrieb, Johannstriebbildung und Vegetationsabschluß erfaßt worden. Zu diesen Merkmalen, die in Vergleichsprüfungen immer eine deutliche Differenzierung zwischen Küsten- und Inlandsherkünften erlauben, ließen sich die Schadbestände keiner einzelnen Herkunftsgruppe klar zuordnen, sondern es traten Bestände aller Typen gleichermaßen auf.

### 2.2.1 Versuchsflächen

Die geringsten Ausfälle mit knapp über 1% zeigte die Fläche in Bleckede, die höchsten Ausfälle mit knapp 30% die Fläche in Bederkesa. Die Ausfälle halten sich insgesamt in dem für Douglasie in Norddeutschland üblichen Rahmen und sind mit 13,5% im Mittel über alle Flächen eher geringer als das langjährige Mittel, das in Niedersachsen über 20% liegt (Tab. 4).

Tab. 4: Anbauorte des Douglasienversuches: Ausfall, Höhe und Durchmesser (Aussaat 1975).

Plantation sites of the Douglas-fir provenance experiment: losses, height, diameter (sowing 1975).

<i>Anbauort</i>	<i>Ausfall-%</i>	<i>Höhe [m]</i>	<i>BHD [cm]</i>
Bleckede	1,24	7,92	9,62
Kattenbühl	19,71	6,11	7,82
Cloppenburg	20,53	7,33	7,90
Bederkesa	29,78	6,25	7,62
Harsefeld	3,90	7,73	9,07
Binnen	8,09	8,76	9,68

In der Höhenwuchsleistung liegt die Fläche in Binnen mit 8,76% Mittelhöhe deutlich an der Spitze und Kattenbühl mit 6,11 m am Ende. Hierin spiegelt sich insbesondere die geringere Temperatur während der Vegetationszeit wider, weil die Fläche in Kattenbühl von Wasser- und Nährstoffversorgung eher günstig zu beurteilen ist. Mit 7,40 m Mittelhöhe über alle Flächen liegt das Wachstum zwischen I. und II. Ertragsklasse nach der Ertragstafel von BERGEL (1969) (Tab. 4).

Auch im Brusthöhendurchmesser liegt die Fläche in Binnen mit 9,68 m an der Spitze, hier nimmt aber die Fläche in Bederkesa die letzte Stelle ein, was wegen der höheren Ausfälle auf dieser Fläche besonders erstaunlich ist. Im Gesamtmittelwert über alle Flächen liegt der Durchmesser im Alter 17 bei 8,66 cm.

### 2.2.2 Herkünfte

Bei der folgenden Betrachtung werden immer die Schadbestände den sonstigen deutschen Beständen und Einzelbaumabsaaten insgesamt und den amerikanischen Beständen gegenübergestellt, um festzustellen, ob es in den Verteilungen irgendwelche auffälligen Besonderheiten zwischen den drei Kollektiven gibt.

### 2.2.3 Ausfälle

Der Einfluß der Anbauorte erklärt bei den Ausfällen rd. 47% der Gesamtvariation. Dieser Einfluß ist hochsignifikant gesichert, ebenso wie der Einfluß der Herkünfte (15%) und der Wechselwirkung (38%) zwischen Herkünften und Anbauorten. Bei den Herkünften variieren die mittleren Ausfälle zwischen 3% und 31%.

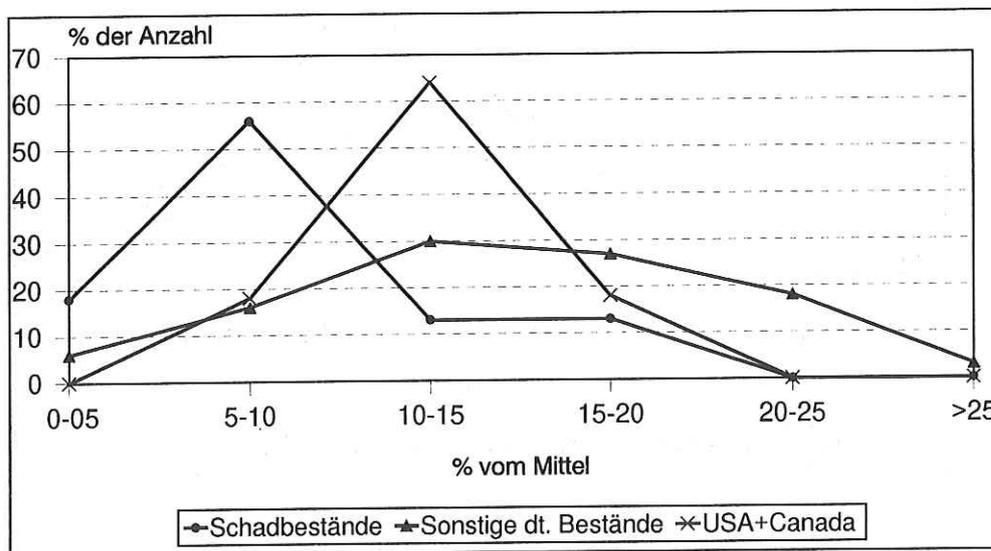


Abb. 4: Ausfall-% des Douglasienversuches, Anlage 1978:  
Verteilung der Herkunftsmittelwerte.

Losses (%) of the Douglas-fir provenance experiment, established 1978:  
Distribution of provenance means.

Vergleicht man die Teilkollektive (Abb. 4), so wird deutlich, daß die Schadbestände im Mittel deutlich geringere Ausfälle aufweisen als die übrigen deutschen Prüfglieder und als die amerikanischen Bestände. Die amerikanischen Bestände sind bei den hohen Ausfällen weniger vertreten und zeigen ein deutliches Maximum im mittleren Bereich, während bei den deutschen Prüfgliedern die Verteilung deutlich flacher ist und bei den höheren Ausfällen den stärksten Anteil hat. Die Schadbestände überdecken aber die gleiche Variationsbreite wie die amerikanischen Bestände. Die stärkere Beteiligung von Beständen an geringeren Ausfallklassen könnte darauf hindeuten, daß hier ein größerer Anteil von Beständen aus dem Interior vertreten ist, die in den Ausfällen besonders niedrig liegen.

#### 2.2.4 Höhenwachstum

Auch beim Höhenwachstum haben Anbaustandorte mit 58% der auftretenden Variation hochsignifikant gesichert den stärksten Einfluß, die Wechselwirkung zwischen Anbauorten und Herkünften folgt mit 24% der Gesamtvariation und die Versuchssorten mit 18% der Gesamtvariation. Alle Einflußursachen sind statistisch hochsignifikant.

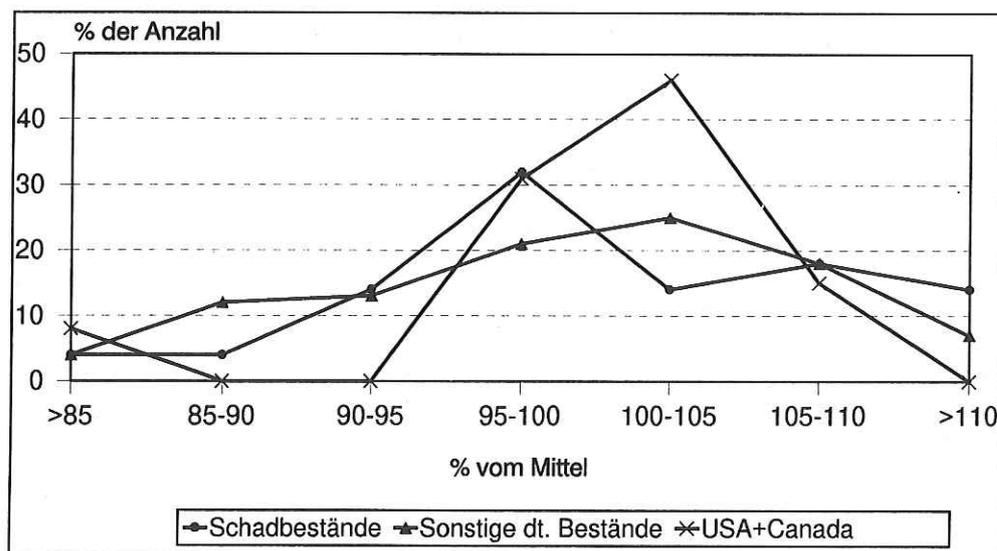


Abb. 5: Höhe des Douglasienversuches, Anlage 1978:  
Verteilung der Herkunftsmittelwerte.

Height growth of the Douglas-fir provenance experiment, established 1978:  
Distribution of provenance means.

Die Höhenwuchsleistung der Herkünfte variiert zwischen 8,36 m und 5,62 m als Mittelwert über alle Anbaustandorte. In der Stabilität der Höhenwuchsleistung über die Anbaustandorte unterscheiden sich die Herkünfte deutlich, wobei die Höhenwuchsleistung der Herkünfte keine Abhängigkeit von der Ökovalenz zeigt.

Vergleicht man die Höhenwuchsleistung der Schadbestände mit der von anderen deutschen Beständen und der von amerikanischen Beständen (Abb. 5), so zeigen sich keine gravierenden Unterschiede. Die Schadbestände haben einen höheren Anteil an sehr wüchsigen Nachkommenschaften, aber zugleich ein Maximum im mittleren Bereich um 95%. Die amerikanischen Bestände zeigen eine zweigipflige Verteilung, die sehr geringwüchsigen Herkünfte stammen aus dem Interior von British Columbia, aber die Herkunft „Salmon Arm“ liegt bei rd. 100% des Gesamtmittels. Die Bestände aus Washington weisen eine vergleichsweise enge Verteilung zwischen 90% des Gesamtmittelwertes und 110% des Gesamtmittelwertes auf. Bei den deutschen Prüfgliedern reicht die Variationsbreite dagegen von 80% bis zu 123% des Gesamtmittelwertes. Auch hier deutet sich eine etwas stärkere Beteiligung der Schadbestände an der Gruppe an, die nach der Wuchsleistung aus dem Interior stammen könnte. Der relativ hohe Anteil an sehr wüchsigen Beständen zeigt aber, daß die Schadbestände nicht auf diese Gruppe beschränkt sind, sondern die gesamte Variationsbreite überspannen, also auch ursprüngliche Küstenherkünfte einschließen.

### **2.2.5 Brusthöhendurchmesser (BHD)**

Beim BHD lassen sich durch die Anbauorte rd. 41% der Gesamtvariation, durch Wechselwirkungen 35% und durch Prüfglieder 24% erklären. Alle Einflußursachen sind hochsignifikant gesichert. Auch bei diesem Merkmal unterscheiden sich die Herkünfte in ihrem Beitrag zur Interaktion sehr deutlich.

Die wüchsigsten Herkünfte haben einen mittleren Durchmesser über alle Anbauorte von 10,1 cm, die geringwüchsigsten von 6,5 cm.

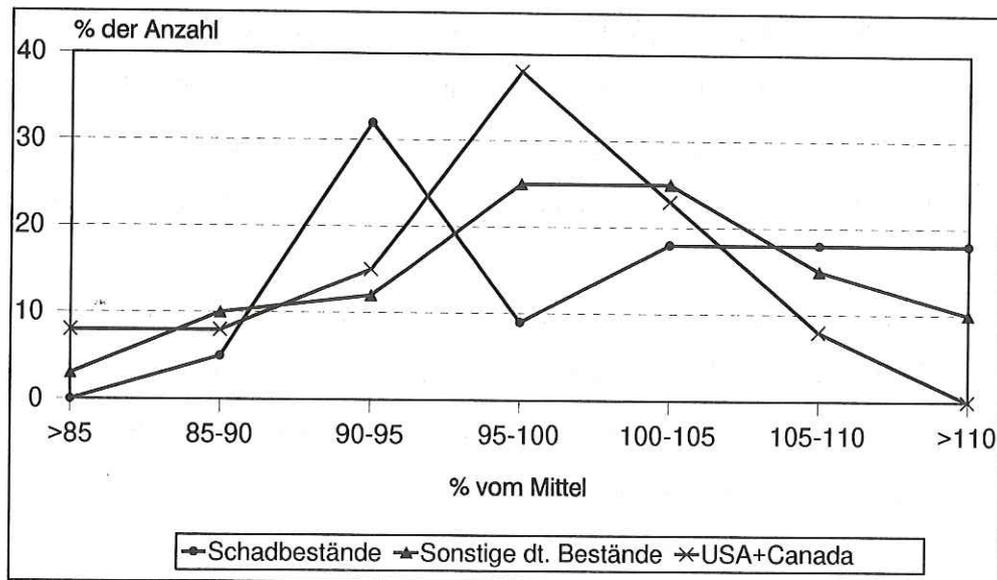


Abb. 6: BHD des Douglasienversuches, Anlage 1978:  
Verteilung der Herkunftsmittelwerte.

Breast-height diameter (b.h.d.) of the Douglas-fir provenance experiment, established 1978:  
distribution of provenance means.

Vergleicht man die Schadbestände mit den beiden anderen Kollektiven, so zeigen sie auch hier eine zweigipflige Verteilung mit deutlich höherer Beteiligung bei den wüchsigsten Beständen, als die deutschen und die amerikanischen Bestände aufweisen, aber auch einen deutlichen Gipfel bei den geringerwüchsigen Beständen (Abb. 6).

Die sonstigen deutschen Prüfglieder und die amerikanischen Bestände haben eingipflige Verteilungen, die für die deutschen Prüfglieder wiederum eine flachere, aber breitere Verteilung aufweisen.

### 3. Diskussion

Faßt man die Ergebnisse dieser Untersuchung zusammen, so muß man eindeutig feststellen, daß es keinen Hinweis dafür gibt, daß bestimmte Herkünfte für diese neuartigen Schäden nicht disponiert sind. Wäre dies der Fall, dann hätten sich die Herkünfte bestimmten Gruppen zuordnen lassen müssen. Es sind bei den

Schadbeständen aber ebenso die wüchsigsten Bestände vertreten wie auch mittelwüchsige und geringwüchsige.

Tab. 5: Douglasienversuch, Anlage 1978: Mittelwerte nach Ländern.

Douglas-fir provenance experiment, established 1978: Mean values by states.

<i>Land</i>	<i>Ausfall</i>		<i>Höhe</i>		<i>BHD</i>	
	absolut [%]	% xq	absolut [m]	% xq	absolut [cm]	% xq
Hessen	14,57	119,13	7,65	103,73	9,17	106,30
Schadbestände	9,38	76,70	7,50	101,70	8,80	102,04
Niedersachsen	13,49	110,3	7,42	100,58	8,77	101,68
Washington	12,86	105,15	7,41	100,46	8,67	100,58
Nordrhein-Westfalen	11,36	92,89	7,29	98,86	8,54	99,08
Schleswig-Holstein	20,75	169,66	7,26	98,43	8,40	97,37
Rheinland-Pfalz	15,40	125,92	7,25	98,22	8,35	96,88
British Columbia	0,0	0,0	7,23	98,01	8,28	96,06

Bei einer länderweisen Gliederung liegen die Schadbestände sogar deutlich vor den nicht geschädigten Beständen aus Rheinland-Pfalz (Tab. 5). Allerdings scheint der Anteil von Beständen, die dem Interior-Typ zuzuordnen sind, etwas höher. Dies könnte ebenso dadurch bedingt sein, daß diese Bestände auch für diese Schäden stärker disponiert sind, oder aber dadurch, daß sich bei diesen Beständen mehrere Schadursachen kumuliert haben (also auch klassische Pilzschäden). Diese Erklärung erscheint wahrscheinlicher, weil eine eindeutige Definition der Schadsymptome der neuartigen Schäden bei der Auswahl noch gar nicht vorlag. Wenn dieses so ist, dann zeigt sich auch, daß es sich hier nicht um ein ähnliches Problem wie beim Pilzbefall handeln kann, weil sonst nur die geringwüchsigen Bestände, deren Ursprung im Interior zu vermuten wäre, hätten betroffen sein müssen. Die Ursache für die Schäden muß mithin bei bestimmten standörtlichen Bedingungen, wie z.B. dem Manganüberschuß zu suchen sein, bei denen alle betroffenen Douglasien disponiert sind.

Daß die Interior-Herkünfte insgesamt sehr viel mehr gefährdet sind, bleibt deswegen unverändert gültig, weil das Zusammenfallen mehrerer Schadfaktoren viel eher zum

Totalausfall führt, als dies beim Vorliegen nur einer Schadursache zu erwarten ist. Sie sollten deswegen auch weiterhin vom Import und Anbau in Deutschland ausgeschlossen bleiben.

#### 4. Literatur

- BERGEL, D. (1969): Ertragskundliche Untersuchungen über Douglasie in Nordwestdeutschland. Dissertation an der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen, 184 Seiten.
- KLEINSCHMIT, J. (1973): Zur Herkunftsfrage bei der Douglasie. *Der Forst- und Holzwirt*, 28(11), S. 209-212.
- KLEINSCHMIT, J. AND BASTIEN, J.C. (1992): IUFRO's role in Douglas-fir [*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco] tree improvement. *Silvae Genetica*, 41(3), pp. 161-173.
- LIESE, L. (1936): Die Douglasienrassen und ihre Anfälligkeit gegenüber der Douglasiennadelschütte (*Rhabdocline pseudotsugae*). *Mitteilungen der Deutschen Dendrologischen Gesellschaft*, Band 1936, S. 259.
- LYR, H. (1958): Die Krankheiten der Douglasie. In: Die Douglasie und ihr Holz. Akademie Verlag Berlin, S. 371.
- SCHENCK, C.A. (1939): Fremdländische Wald- und Parkbäume. In: Die Nadelhölzer. Verlag Paul Parey Berlin, S. 531.
- SCHÖBER, R. UND MEYER, H. (1955): Douglasien-Provenienzversuche II. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 126. Jg., S. 221-243.
- SCHWERDTFEGGER, F. (1970): Waldkrankheiten 3. Auflage Verlag Paul Parey Hamburg, S. 102.

# Genetische Strukturen gesunder und geschädigter Douglasienbestände in Rheinland-Pfalz

Ludger Leinemann  
Abt. Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung,  
Georg-August-Universität Göttingen  
D- 37077 Göttingen

**Keywords:** Isozymes, Douglas-fir, race differentiation, race classification, forest damages

## Summary

Title of the paper: Genetic structures of healthy and damaged Douglas-fir stands in Rhineland-Palatinate.

In the present paper the genetic structures of healthy and damaged Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) stands were investigated on the basis of isozyme gene markers. A total of five stand pairs each consisting of an undamaged and a damaged stand as well as three different stands of mean damage degree were selected for the study. No reliable data on the origin of the seed and plant material the analyzed stands were established with were available. Using provenances of guaranteed origin, the genetic reference structures were set up. In this study the method is demonstrated by the two gene loci 6-PGD-A and ACO-B exemplarily. On the basis of these references, a discrimination of the two Douglas-fir races (coastal and interior Douglas-fir) is possible. When comparing the genetic structures of the stands from Rhineland-Palatinate with these references, it could be shown that all stands of the stand pairs could be assigned unequivocally to one of these races. Furthermore it became evident that in the three stand pairs exhibiting the greatest differences in vitality each damaged stand could be classified to be interior race. The healthy stands of these pairs, however, showed the genetic structures of the coastal race. In the three different stands, in particular the question was followed whether selection can be detected in the observed genetic structures of these stands. Due to the genetic structures in healthy and damaged collectives, there is only evidence for the establishment of these stands by using partly mixed seed and plant materials. Selection which favors distinct allelic variants could not be detected so far. In the single tree-wise mixture of the two races, the greater vitality proved to be present in the coastal race.

**Schlüsselwörter:** Isoenzyme, Douglasie, Rassendifferenzierung, Rassenzuordnung, Waldschäden

## Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden die genetischen Strukturen gesunder und geschädigter Douglasienbestände in Rheinland-Pfalz auf der Basis von Isoenzymgenmarkern untersucht. Insgesamt standen fünf Bestandespaare, bestehend aus einem gesunden und einem geschädigten Bestand und drei einzelnen Beständen mittleren Schädigungsgrades für die Untersuchungen zur Verfügung. Über den Ursprung des Vermehrungsgutes, aus dem die Bestände begründet wurden, lagen keine genaueren Angaben vor. Auf der Grundlage von Untersuchungen an Provenienzen gesicherten Ursprungs wurden

genetische Referenzstrukturen ermittelt. Die Methode wird hier exemplarisch an den zwei Genorten 6-PGDH-A und ACO-B erläutert. Auf der Basis dieser Referenzen war eine Differenzierung der beiden Douglasienrassen (Küsten- bzw. Inlands-Douglasie) möglich. Bei dem Vergleich der genetischen Strukturen der rheinland-pfälzischen Bestände mit diesen Referenzen zeigte sich, daß alle Bestände der Bestandespaare eindeutig einer spezifischen Rasse zugeordnet werden konnten. Es zeigte sich weiterhin, daß in den drei Bestandespaaren mit den größten Vitalitätsunterschieden der jeweils kranke Bestand der Inlandsrasse zugeordnet werden konnte. Die gesunden Bestände dieser Paare zeigten hingegen genetische Strukturen der Küstenrasse. In den drei einzelnen Beständen wurde speziell die Frage untersucht, ob Selektion an den beobachteten genetischen Strukturen in den Beständen nachzuweisen ist. Anhand der genetischen Strukturen in gesunden und geschädigten Kollektiven ergaben sich jedoch lediglich Hinweise darauf, daß die Bestände zum Teil aus gemischtem Vermehrungsgut entstanden sind. Selektion zugunsten spezieller Allelvarianten war so nicht nachzuweisen. Auch in der einzelbaumweisen Mischung der beiden Rassen zeigte sich die größere Vitalität der Küstenrasse.

## 1. Einleitung

Die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) kommt von Natur aus in Nordamerika vor. Ihr natürliches Verbreitungsgebiet erstreckt sich in Nord-Süd-Richtung von British Columbia bis New Mexico. In West-Ost-Richtung kommt sie von der Pazifikküste bis in die Rocky Mountains vor (vgl. Abb. 1). In Nordamerika werden zwei Varietäten unterschieden, die Küsten-Douglasie und die Inlands-Douglasie (SILEN, 1978).

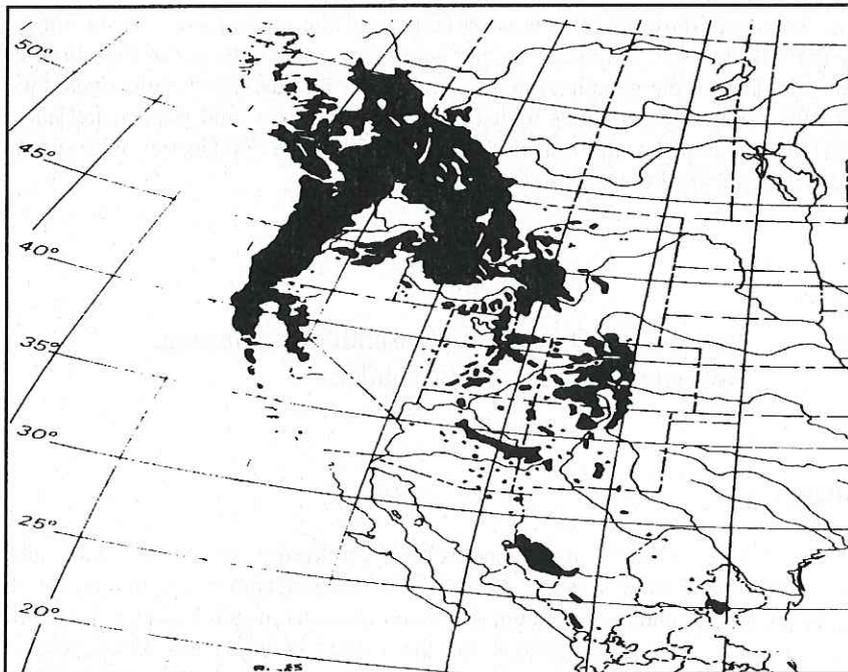


Abb. 1: Natürliches Verbreitungsgebiet der Douglasie in Nordamerika.

Natural range of Douglas-fir in North America.

In Deutschland wird die Douglasie seit über hundert Jahren angebaut. Allgemein werden in Deutschland drei Varietäten der Douglasie unterschieden: die Küsten-Douglasie (var. *viridis*), die Interior-Douglasie (var. *glauca*) und eine Übergangsform (var. *caesia*) zwischen diesen beiden Typen (SCHENCK, 1939; FLÖHR, 1958).

Schon früh stellte sich die Frage, inwieweit die Provenienz des Saatgutes aus dem natürlichen Verbreitungsgebiet der Douglasie für den Anbauerfolg bzw. -mißerfolg auf hiesigen Standorten grundlegend ist. Daher wurden im Laufe der Jahre eine Vielzahl von Provenienzversuchen angelegt. Nach SCHOBER (1988) zeigen diese weitgehend übereinstimmende Ergebnisse. Auf deren Grundlage erscheinen für den Anbau in Mitteleuropa in erster Linie Küsten-Douglasien aus dem Bundesstaat Washington geeignet. Ungeeignet sind in den meisten Fällen Inlandsprovenienzen. Im Vergleich zu Küstenprovenienzen zeigen diese deutlich geringere Wuchsleistung (SCHOBER, 1983; 1984). Betrachtet man nach KLEINSCHMIT *et al.* (1979) die Anpassungsfähigkeit der Provenienzen als Optimierung zwischen guter Wuchsleistung und geringen Ausfällen, so zeigen Douglasien aus dem Küstenbereich und aus den Nordkaskaden Washingtons die größte Anpassungsfähigkeit.

Neben der Bewertung der Anbaueignung bekannter Provenienzen im Rahmen von Feldversuchen stellt sich für die forstliche Praxis oft das Problem, den Ursprung älterer deutscher Douglasienbestände in Nordamerika zu ermitteln. Die Angaben zu den Ursprungsorten der Samen sind in der Vergangenheit nur teilweise dokumentiert worden.

Anhand morphologischer Merkmale ist der Ursprung des Vermehrungsgutes meist nicht nachzuweisen, da diese Merkmale in ihrer Ausprägung nicht umweltunabhängig sind und ihre genetische Kontrolle nicht geklärt ist (SCHOBER, 1963 nach SILEN, 1978).

Mit dem auch im forstlichen Bereich seit längerer Zeit etablierten Verfahren der Isoenzymanalyse ist es möglich, Informationen über genetisch kontrollierte Merkmale bei Waldbäumen zu erhalten. Unterscheiden sich Individuen oder Populationen aufgrund solcher Genmarker, ist deren Differenzierung unabhängig von Einflüssen durch verschiedene Umwelten darzustellen.

Die bisher umfangreichste Arbeit über die genetische Differenzierung von Populationen der Douglasie wurde von LI UND ADAMS (1989) veröffentlicht. Die Autoren untersuchten 104 Populationen aus dem gesamten natürlichen Verbreitungsgebiet der Douglasie. Sie konnte zeigen, daß die Küsten-Douglasie aufgrund ihrer genetischen Merkmale deutlich von der Inlands-Douglasie abzugrenzen ist. Weiterhin konnte gezeigt werden, daß für die Inlands-Douglasie ein nördliches und ein südliches Verbreitungsgebiet zu unterscheiden sind.

## **2. Fragestellung**

In Rheinland-Pfalz und einigen anderen Bundesländern wird seit geraumer Zeit ein Krankheitsbild beobachtet, das bislang als „Douglasien-Räude“ bezeichnet wurde. Bestände der zweiten Altersklasse scheinen hiervon besonders betroffen zu sein.

Charakteristisch für diese neuartige Erkrankung sind Symptome wie stark reduziertes Wachstum der Triebe, starke Nadelverluste, Schädigung der Rinde mit mehr oder minder starkem Harzaustritt. Das Krankheitsbild wird auch auf einen Mangan-Überschuß zurückgeführt, da zum Teil extreme Mangan-Konzentrationen in der Nadel trockenmasse der erkrankten Bäume gemessen werden konnten (SCHÖNE, 1992).

Die Symptome sind gerade zu Beginn der Erkrankung nicht immer eindeutig zu diagnostizieren.

In einer Vielzahl von Fällen können in nächster Nachbarschaft zu stark erkrankten Beständen in etwa gleichalte Bestände beobachtet werden, die vollständig ohne Symptome sind. Innerhalb der erkrankten Bestände sind wiederum Bäume zu finden, die vergleichsweise gesund erscheinen. Aufgrund der räumlichen Nähe scheint hier ein Einfluß des Standortes unwahrscheinlich.

Mit Hilfe von biochemisch-genetischen Untersuchungen auf der Basis von Isoenzymen (Allozyme) soll daher untersucht werden, ob genetische Unterschiede zwischen gesunden und geschädigten Beständen festzustellen sind.

Zu prüfen ist dann:

1. Sind die genetischen Unterschiede zwischen den Beständen darauf zurückzuführen, daß die Bestände mit Pflanzen verschiedener Provenienzen bzw. Rassen (Küsten- oder Inlands-Douglasie) begründet wurden?
2. Hat Selektion Einfluß auf die genetischen Strukturen in den Beständen gehabt?

### **3. Material und Methoden**

In Zusammenarbeit mit der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz wie auch mit den betreffenden Forstämtern wurden 5 Bestandespaare in den Forstämtern Adenau, Daun, Hochspeyer und Salmtal (bei letzterem 2 Paare, die in den Revieren Bruch und Dreis liegen) und drei einzelne Bestände im Forstamt Mayen für die Untersuchungen ausgewählt.

Über den Ursprung des Pflanzgutes, aus dem die Bestände begründet wurden, lagen allgemein nur unzureichende Informationen vor.

Ein Bestandespaar besteht aus einem gesunden und einem benachbarten geschädigten Bestand der gleichen Altersklasse.

Die drei einzelnen Bestände im Forstamt Mayen (Herresbach Abt. 70, Baar Abt. 12 und Abt. 7 im Gemeindewald Mayen) wurden speziell im Hinblick auf die Untersuchungen bezüglich möglicher Selektion ausgesucht. Diese Bestände waren durch einen mittleren Schädigungsgrad gekennzeichnet.

In jedem Bestand wurden Knospen von 50 Bäumen geworben. Der Schädigungsgrad der beprobten Bäume wurde okular in Anlehnung an die Waldschadensinventur angesprochen.

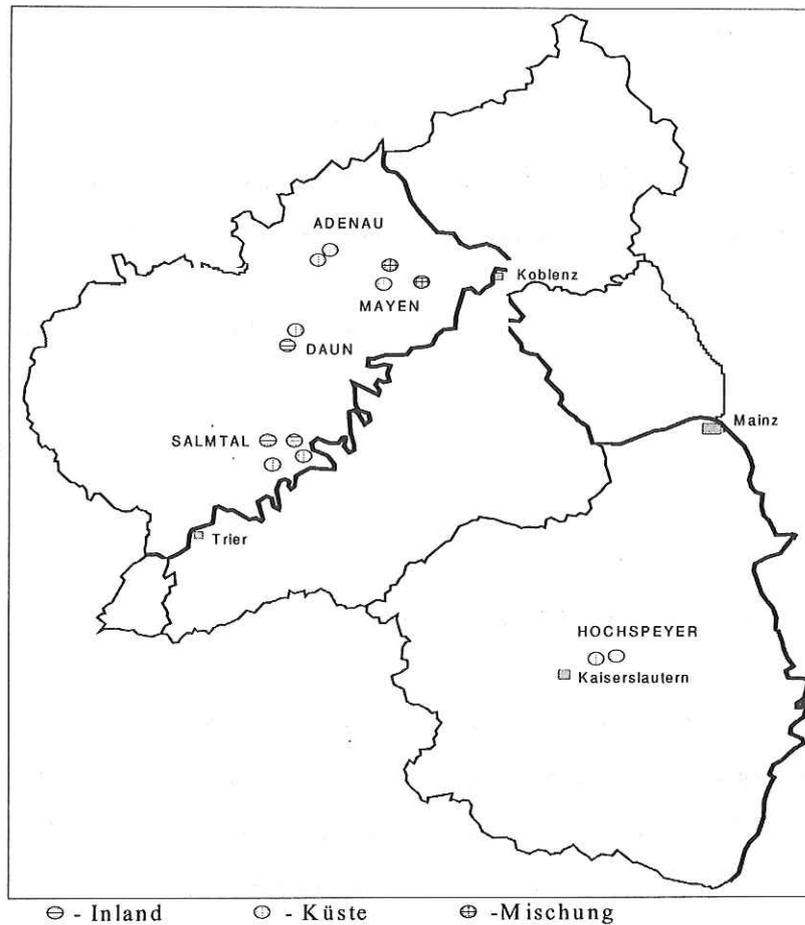


Abb. 2: Douglasienbestände in Rheinland-Pfalz.

Location of the Douglas-fir stands from Rhineland-Palatinate under study.

Es leuchtet ein, will man Bestände unbekannter Provenienz im Hinblick auf ihre Zugehörigkeit zu einem bestimmten Verbreitungsgebiet bzw. einer Rasse charakterisieren, daß dies nur auf der Grundlage von Untersuchungen an Referenzbeständen geschehen kann, deren Ursprung zweifelsfrei bekannt ist. Daher wurden 16 Provenienzen des Internationalen Douglasien-Provenienzversuches in Hessen im Forstamt Gahrenberg beprobt (vgl. hierzu JESTEADT, 1980). Von jeder Provenienz konnten ca. 20 Bäume beprobt werden. Der Ursprung der Provenienzen ist in Abb. 3 dargestellt.

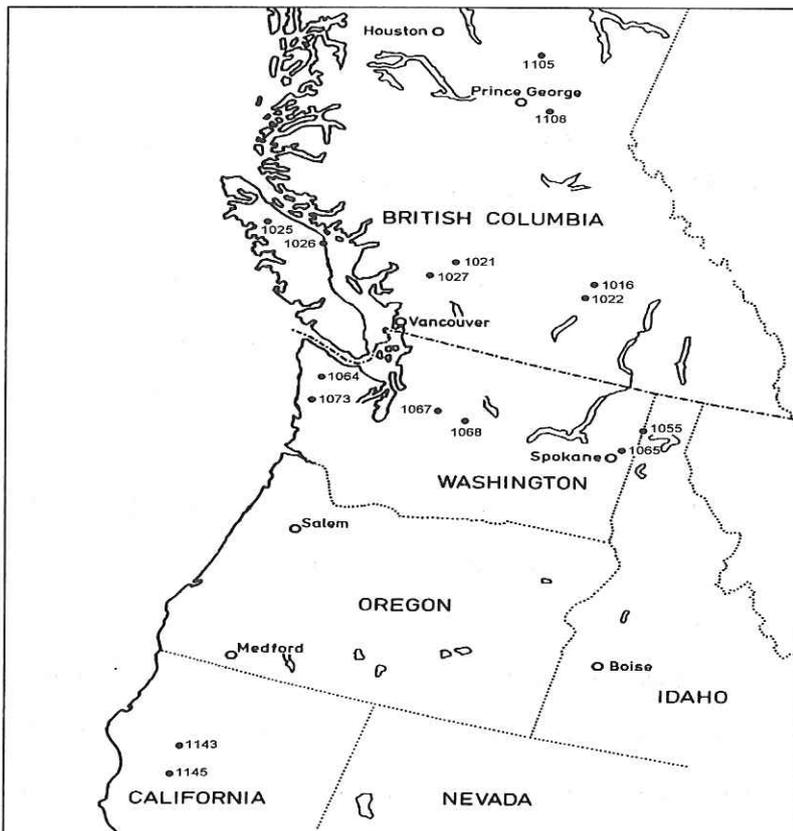


Abb. 3: Ursprung der 16 untersuchten Douglasien-Provenienzen des IUFRO-Provenienzversuches (nach JESTAEDT, 1980).

Origin of the 16 Douglas-fir provenances sampled from the IUFRO-provenance test (according to JESTAEDT, 1980).

Zur Trennung der Isoenzymvarianten wurden Standardverfahren der Stärkegelelektrophorese angewandt (BERGMANN, 1974; CHELIAK UND PITEL, 1984). Diese Verfahren wurden auf die Verhältnisse der Douglasie angepaßt.

Sollen Isoenzymmuster als genetische Merkmale Verwendung finden, so ist es zwingend notwendig, eine Vererbungsanalyse durchzuführen. Erst wenn durch sie nachgewiesen wurde, daß die Ausprägung der Isoenzymphänotypen allein genetisch determiniert ist, können diese Merkmale für weitere Analysen als Isoenzymgenmarker verwendet werden (näheres hierzu in HATTEMER *et. al*, 1993).

Insgesamt wurden 15 polymorphe Genorte ausgewertet. Die Ausführungen in dieser Arbeit beschränken sich jedoch auf die Enzymsysteme Aconitase (ACO, EC Nr. 4.2.1.3) und 6-Phosphogluconat Dehydrogenase (6-PGDH, EC Nr. 1.1.1.44) und hier auf die Genorte ACO-B und 6-PGDH-A.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Sind mögliche genetische Unterschiede auf unterschiedliche Provenienzen bzw. Rassen zurückzuführen?

Wenn im Folgenden von genetischen Strukturen die Rede ist, so sind damit die Allelhäufigkeiten gemeint, die sich aus der Analyse der Isoenzymgenmarker an den beiden Genorten ACO-B und 6-PGDH-A in den untersuchten Beständen oder Kollektiven ergeben haben.

Die auf der Grundlage der Isoenzymuntersuchungen ermittelten Allelhäufigkeiten der 16 Provenienzen aus dem *IUFRO*-Provenienzversuch an den beiden Genorten ACO-B und 6-PGDH-A wurden mit dem Verfahren der Clusteranalyse ausgewertet. Auf der Basis des genetischen Abstands nach GREGORIUS (1974)<sup>1</sup> werden mit Hilfe dieses Verfahrens Provenienzen mit ähnlichen Allelhäufigkeiten zu Gruppen zusammengefaßt. Das Ergebnis ist in Abb. 4 dargestellt. Oben ist der genetische Abstand abgetragen, während auf der rechten Seite die *IUFRO*-Kennziffern der Provenienzen aufgeführt sind.

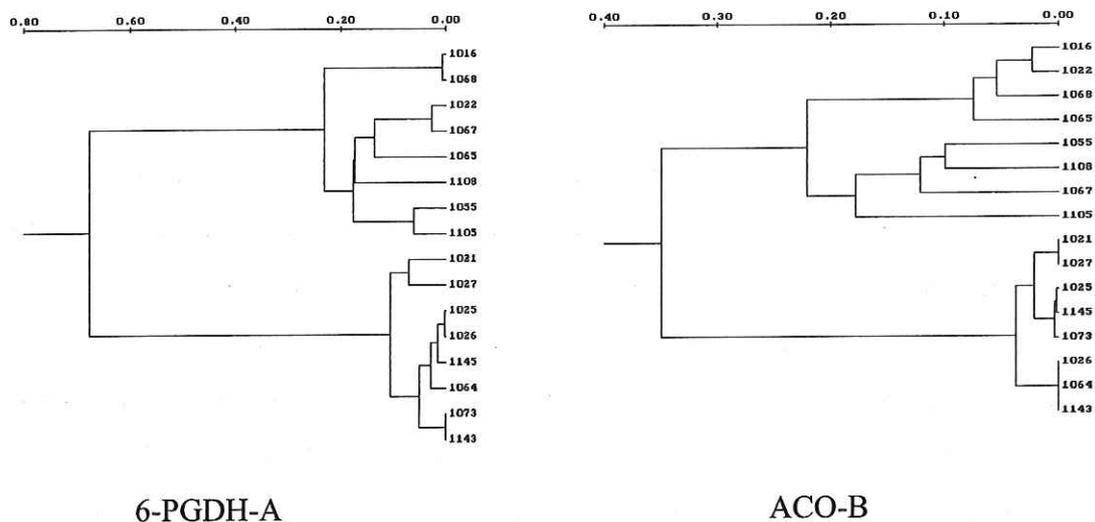


Abb. 4: Clusteranalysen für 6-PGDH-A und ACO-B.

Cluster analysis for 6-PGDH-A and ACO-B.

<sup>1</sup> Der genetische Abstand ist auf 1 normiert. Provenienzen mit einem Abstand von 0 zeigen bezüglich ihrer Allelhäufigkeiten vollkommene Identität. Ist der Abstand 1, so haben sie kein Allel gemeinsam.

Sowohl am Genort 6-PGDH-A wie am Genort ACO-B zeigen sich bemerkenswert große genetische Abstände zwischen zwei Gruppen. Der genetische Abstand zwischen den Gruppen erreicht für den Genort 6-PGDH-A nahezu 0,7. Für den Genort ACO-B liegt er bei 0,35. Die Höhe beider Werte zeigt, daß sich die Provenienzen beider Gruppen stark in ihren Allelhäufigkeiten unterscheiden. Die Gruppen werden an beiden Genorten von den gleichen Provenienzen gebildet. Die Gruppeneinteilung auf der Basis der Allelhäufigkeiten zeigt deutliche Übereinstimmungen mit den Verbreitungsgebieten der Küsten-Douglasie einerseits und der Inlands-Douglasie andererseits.

Über die Provenienzen jeder Gruppe (Inland/Küste) wurde nun ein Mittelwert der Allelhäufigkeiten an beiden Genorten berechnet. Die resultierenden Allelhäufigkeiten können charakterisiert und in der Folge als Referenzstrukturen im Vergleich zu Beständen unbekanntem Ursprungs genutzt werden (Abb. 5).

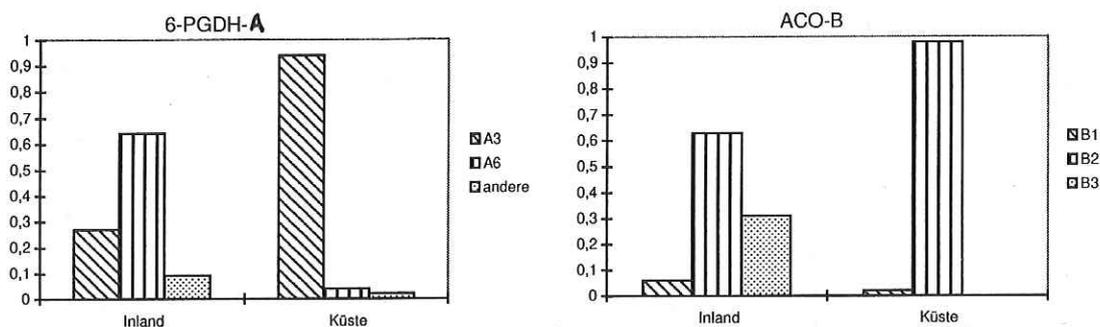


Abb. 5: Referenzstrukturen der Allelhäufigkeiten der Inlands- und Küsten-Douglasie am Genort 6-PGDH-A.

Reference structures of the allele frequencies of interior and coastal Douglas-fir for the gene locus 6-PGDH-A.

Am Genort 6-PGDH-A dominieren die zwei Allele A<sub>3</sub> und A<sub>6</sub> die genetischen Strukturen. Während das Allel A<sub>6</sub> in den Provenienzen der Inlands-Douglasie mit über 60% das häufigste Allel ist, kommt es im Mittel der Provenienzen der Küstenrasse nur mit ca. 4% vor. Das Allel A<sub>3</sub> hingegen ist in der Küstenrasse mit deutlich über 90% am häufigsten. Die Inlandsrasse zeigt dieses Allel im Mittel nur mit knapp 30%. Die

genetische Struktur der Inlandsrasse ist als Majorpolymorphismus<sup>2</sup> zu kennzeichnen. Bei der Küstenrasse handelt es sich um einen Minorpolymorphismus<sup>3</sup>.

Auch am **Genlocus ACO-B** ist in der Inlandsrasse ein Majorpolymorphismus charakteristisch und für die Küstenrasse ein Minorpolymorphismus. Hier ist allerdings das gleiche Allel B<sub>2</sub> in beiden Rassen am häufigsten. Diskriminierend bezüglich der Rassenunterscheidung ist hier das Allel B<sub>3</sub>, das in den Provenienzen der Inlandsrasse mit Häufigkeiten um 30% vorkommt, während es in der Küstenrasse überhaupt nicht beobachtet werden konnte.

Für die weiteren Betrachtungen stehen nun die auf Mittelwerten basierenden Referenzstrukturen für die Zuordnung von Beständen zu einer der beiden Rassen zur Verfügung. Es ist zu bedenken, daß die Werte einzelner Populationen allein durch Stichprobeneffekte von diesem Mittelwert abweichen können.

Im Vergleich mit den Referenzstrukturen zeigten sich in drei (Dreis, Bruch und Daun) der fünf untersuchten Bestandespaare deutliche Übereinstimmungen zwischen der Vitalität der Bestände und der Zuordnung dieser Bestände zu einer der beiden Douglasienrassen.

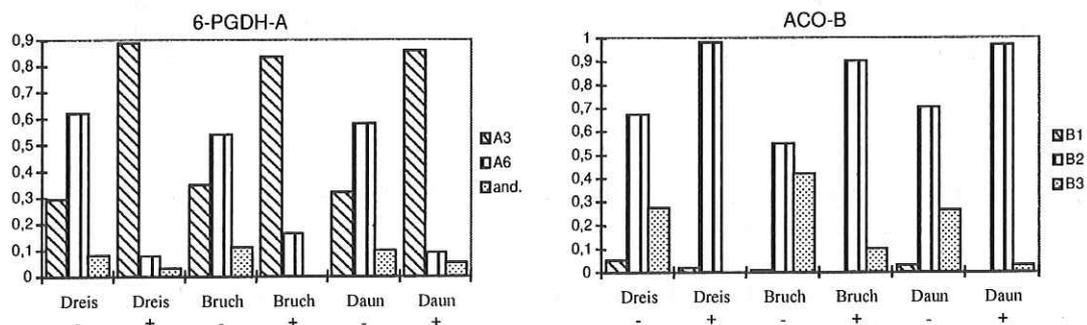


Abb. 6: Allelhäufigkeiten der Bestände in Dreis, Bruch und Daun (+ = gesund, - = geschädigt).

Allele frequencies as found for the stands in Dreis, Bruch and Daun (+ = healthy, - = damaged).

<sup>2</sup> Es muß mindestens ein zweites Allel mit mehr als 20% vorkommen.

<sup>3</sup> Ein Allel hat eine Häufigkeit von über 80%.

Betrachtet man die genetischen Strukturen an beiden Genorten, so zeigt sich sowohl für 6-PGDH-A wie auch für ACO-B, daß die geschädigten Bestände genetische Strukturen aufweisen, die typisch für Provenienzen der Inlands-Douglasie sind. Die gesunden Bestände zeigen deutlich die Merkmale der Küstenrasse.

Insbesondere die übereinstimmenden genetischen Strukturen der geschädigten Bestände am Genlocus 6-PGDH-A ist beeindruckend. Gemeinsam zeigen sie genetische Strukturen, die nahezu deckungsgleich mit der Referenzstruktur sind. Die Ergebnisse am Genort ACO-B zeigen eine größere Streuung gegenüber den Referenzstrukturen. Die Rassenzuordnung ist aber eindeutig.

In den zwei Bestandespaaren der Forstämter Hochspeyer und Adenau zeigten die gesunden wie die geschädigten Bestände eindeutig die genetischen Strukturen der Küstenrasse. Allerdings handelte es sich bei den Beständen im Forstamt Adenau nicht um unmittelbar benachbarte Bestände. Die beiden Bestände im Forstamt Hochspeyer waren deutlich jünger als die Bestände der anderen Bestandespaare. In beiden Bestandespaaren waren die Unterschiede in der Vitalität zwischen dem gesunden und dem erkrankten Bestand nicht so deutlich ausgeprägt, wie dies für die Bestandespaare in Dreis, Bruch und Daun der Fall ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß deutliche Unterschiede in der genetischen Struktur zwischen Beständen einzelner Bestandespaare gefunden wurden. Die genetischen Strukturen aller Bestände konnten durch den Vergleich mit den Referenzstrukturen einer der beiden Douglasienrassen zugeordnet werden. Die genetischen Unterschiede zwischen den Beständen der Bestandespaare Bruch, Dreis und Daun sind daher wohl auf die Verwendung von Vermehrungsgut unterschiedlicher Rassen zurückzuführen. Bestände der Inlandsrasse zeigen auf gleichem Standort deutliche Schäden, während Bestände der Küstenrasse noch vollkommen vital erscheinen.

## 4.2 Ist Selektion nachzuweisen?

Um den Einfluß möglicher Selektion nachzuweisen, wurden in jedem der drei Bestände des Forstamtes Mayen zwei Kollektive (gesund/geschädigt) von jeweils 25 Bäumen gebildet. Die gesunden wie die geschädigten Kollektive wurden dann zu einer Untersuchungseinheit zusammengefaßt. Für die weiteren Analysen standen somit zwei Kollektive (gesund/geschädigt) mit jeweils 75 Bäumen zur Verfügung. Die genetischen Strukturen der beiden Kollektive wurden mit einem statistischen Test (G-Test) auf Gleichverteilung untersucht. Geprüft wird hier, ob Abweichungen zwischen den genetischen Strukturen der beiden Kollektive zufälliger Natur sind.

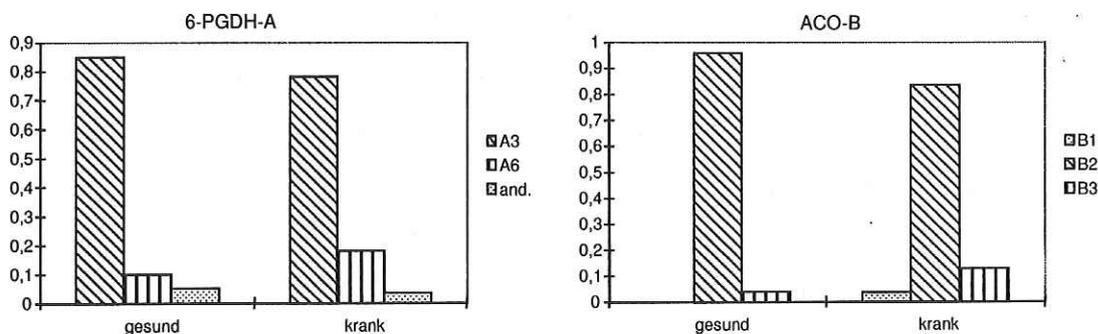


Abb. 7: Allelhäufigkeiten im kranken und gesunden Kollektiv der drei Untersuchungsbestände im Forstamt Mayen.

Allele frequencies as found for the group of healthy and the group of damaged trees growing in the three analyzed stands in the forest district Mayen.

Während der statistische Test zwischen den genetischen Strukturen des gesunden und des kranken Kollektivs am Genort 6-PGDH-A nicht signifikant (5,641 n.s.) war, zeigten sich am Genort ACO-B höchst signifikante Unterschiede zwischen beiden Kollektiven (15,774\*\*\*). Da die Bäume, aus denen die beiden Kollektive gebildet wurden, Bestandesmitglieder derselben Bestände waren, ist ein Einfluß des Standortes auf die Untersuchungsergebnisse unwahrscheinlich. Daher könnte hier auf Selektion am Genort ACO-B geschlossen werden. Da das Allel des B<sub>3</sub> häufiger im geschädigten Kollektiv zu finden ist, besteht die Möglichkeit, daß es unter dem hier beobachteten Umweltstreß weniger angepaßt ist als etwa das Allel B<sub>2</sub>.

Allerdings zeigten sich bei der Betrachtung der genetischen Strukturen der Bestände im einzelnen deutliche Abweichungen ihrer Strukturen gegenüber den typischen Strukturen von Küstenrasse und Inlandsrasse. Besonders deutlich wird dies in der Abt. 7 (Forstrevier Mayen). In Abb. 8 ist die genetische Struktur dieses Bestandes im Vergleich zu den Referenzen abgebildet.

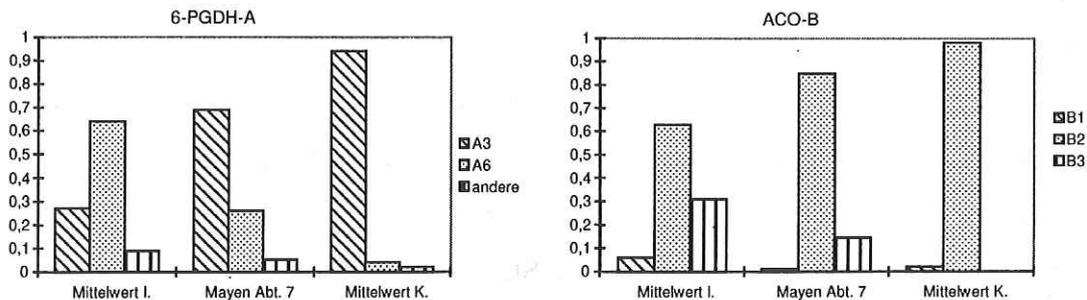


Abb. 8: Vergleich der genetischen Strukturen des Bestandes Abt. 7 im Forstrevier Mayen mit den Referenzstrukturen.

Comparison of the genetic structures as found in the stand Abt. 7 in the forest compartment Mayen with the reference structures.

Obwohl die genetischen Strukturen der Abt. 7 eher der Küstenrasse ähneln - das Allel  $A_3$  ist am häufigsten, weicht die hier beobachtete genetische Struktur deutlich von beiden Referenzstrukturen ab. Dies ist an beiden Genorten der Fall. An beiden Genorten zeigt sich aber auch der deutlich intermediäre Charakter der genetischen Strukturen der Abt. 7. Es wird deutlich, daß die hier beobachtete genetische Struktur Anzeichen einer Mischung von Vermehrungsgut der beiden Douglasienrassen zeigt. Dies ist in der Praxis recht leicht vorstellbar, sei es nun bei der Saatgutlieferung oder bei der Nachbesserung von Kulturen. Ein ähnliches Bild zeigt sich für den Bestand im Forstrevier Baar, während der Bestand im Forstrevier Herresbach deutlich der Küstenrasse zuzuordnen ist.

Treten aber in den hier betrachteten Beständen beide Douglasienrassen gemischt auf, so ist es nicht möglich, aus signifikanten Unterschieden der genetischen Strukturen zwischen dem gesunden und dem geschädigten Kollektiv auf Selektion zu schließen.

Schon auf der Grundlage der Vergleiche zwischen Beständen von Bestandespaaren konnte gezeigt werden, daß die Inlandsrasse deutlich geringere Vitalität als die Küstenrasse aufweist. So wurden durch die Bildung der Kollektive (gesund/geschädigt) in den Beständen aus dem Forstamt Mayen Bäume der Inlandsrasse vorwiegend dem geschädigten Kollektiv zugeordnet und Bäume der Küstenrasse dem gesunden Kollektiv. Da sich die beiden Rassen deutlich in ihren genetischen Strukturen unterscheiden, verwundert es nicht, daß ein statistischer Test zu signifikanten Werten führt.

Bestätigt werden in der Abt. 7 die Ergebnisse aus den Untersuchungen der Bestandespaare. Auch bei Mischung der zwei Rassen innerhalb eines Bestandes zeigten die Bäume der Inlandsrasse deutlichere Krankheitssymptome als Bäume der Küstenrasse. Ein gerichteter Einfluß des Standortes ist hier unwahrscheinlich. Die genetischen Unterschiede der beiden Rassen sind daher ausschlaggebend<sup>4</sup>.

## 5. **Schlußfolgerungen**

Auf der Basis dieser Ergebnisse können für die Praxis folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

1. Isoenzymgenmarker sollten in der Zukunft bei der Kontrolle von Vermehrungsgut der Douglasie eine größere Rolle spielen. Zumindest die Rassenunterscheidung stellt hier kein Problem dar. Diesbezüglich können in Zukunft Fehler vermieden werden.
2. Prüfung anerkannter deutscher Erntebestände auf ihren Ursprung. Im Zweifelsfall ist so eine Abschätzung der Risiken bezüglich des dort gewonnenen Saatgutes möglich.

---

<sup>4</sup> Eine ausführlichere Darstellung der hier angesprochenen Themen ist im Rahmen einer Dissertation vorgesehen.

## 6. Danksagung

An erster Stelle möchte ich Herrn FD Tabel und Herrn Dr. Maurer von der Forstlichen Versuchsanstalt in Trippstadt danken, auf deren Initiative hin diese Untersuchungen durchgeführt wurden. Weiterhin möchte ich den Forstlichen Versuchsanstalten in Escherode und in Hann. Münden danken, die bei der Beschaffung von Untersuchungsmaterial behilflich waren.

## 7. Literatur

- BERGMANN, F. (1974): The genetics of some isozyme systems in spruce endosperm (*Picea abies*). *Genetica*, 6, pp. 353-360.
- CHELIAK, W.M. AND PITEL, J.A. (1984): Techniques for Starch Gel Electrophoresis of Enzymes from Forest Tree Species. Information Report pi-x-42. Chalk River Ontario. Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service, 49 p.
- FLÖHR, W. (1958): Kennzeichnung, Varietäten und Verbreitung der Douglasie. In: Die Douglasie und ihr Holz (GÖHRE, K., Hrsg.). Akademie-Verlag, Berlin. S. 1-14
- GREGORIUS, H.-R. (1974): Genetischer Abstand zwischen Populationen I. Zur Konzeption der genetischen Abstandsmessung. *Silvae Genetica*, 23, S. 22-27.
- HÄTTEMER, H.H., BERGMANN, F. UND ZIEHE, M. (1993): Einführung in die Genetik für Studierende der Forstwissenschaft. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 492 p.
- JESTAEDT, M. (1980): Untersuchung über die Jugendentwicklung von Douglasienprovenienzen in Hessen. Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung, Band 16, J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main, 106 S.
- KLEINSCHMIT, J., RACZ, J., WEISGERBER, H., DIETZE, W. DIETRICH, H. UND DIMPFLMEIER, R. (1979): Ergebnisse aus dem internationalen Douglasien-Herkunftsversuch von 1970 in der Bundesrepublik Deutschland. *Silvae Genetica*, 5-6, S. 226-244.
- LI, P. AND ADAMS, W.T. (1989): Range-wide patterns of allozyme variation in Douglasfir (*Pseudotsuga menziesii*). *Canadian Journal of Forest Research*, 19, pp. 149-161.

- SCHENCK, C.A. (1939): Fremdländische Wald- und Parkbäume. Bd. II. Die Nadelbäume. Parey-Verlag, Berlin.
- SCHÖBER, R. (1988): Einfluß der Provenienz auf die Ertragsleistung. *In: KRAMER, H., Waldwachstumslehre. Parey-Verlag, Hamburg und Berlin, S. 146-152.*
- SCHÖBER, R., KLEINSCHMIT, J. UND SVOLBA, J. (1983): Ergebnisse des Douglasien-Provenienzversuches von 1958 in Nordwestdeutschland, I. Teil. *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung*, 154. Jg., S. 209-236.
- SCHÖBER, R., KLEINSCHMIT, J. UND SVOLBA, J. (1984): Ergebnisse des Douglasien-Provenienzversuches von 1958 in Nordwestdeutschland, II. Teil. *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung*, 155. Jg., S. 53-80.
- SCHÖNE, D. (1992): Standort- und immissionsbedingte Wachstumsstörungen bei Douglasie. *Allgemeine Forst-Zeitschrift*, 2, S. 100-103.
- SILEN, R.R. (1978): Genetics of Douglas-fir. USDA Forest Service Research Paper WO-35, 34 pages.

# Ertragskundliche und forstschutztechnische Erfahrungen mit der Douglasie im östlichen Sauerland

Josef Richter  
D-59872 Meschede

**Keywords:** Planting tests, yield surveys, frost damages, grading test

## Summary

Title of the paper: Experiences concerning yield and forest protection of Douglas-fir in the Eastern Sauerland.

In the western part of the Sauerland, Douglas-fir is superior to spruce in its yield only at elevations up to approximately 400 m above sealevel. This may be put down to the supply of warm temperatures being too low. At the Ostsauerländer Gebirgsrand in the rain lee-side of the Sauerland, these relations are shifted in favor of Douglas-fir. The precipitation is lower here and the temperatures during the vegetation period is higher. Here Douglas-fir is superior to spruce up to an elevation of about 650 m above sealevel.

In a grading test with Douglas-fir in which four-year-old Douglas-fir plants of the size-classes 80-100 cm, 60-80 cm and 40-60 cm were planted separately, it turned out that the differences in the size-classes increased a little for the time being, but after 23 years they had disappeared. In the same experiment it could be shown that Douglas-fir plants protected by wire shelters against damage by game ("wire-pants") had formed very poor root systems.

When many spruce stands showed crowns with significantly reduced needle foliage and yellowing of the needles in the years 1982 and 1983, mixed-in groups of Douglas-fir attracted attention by their full, healthy foliage. A reduction in foliage similar to needle cast and needle discoloration in Douglas-fir coppices and in stands of poles appear only very isolated in the Sauerland.

**Schlüsselwörter:** Anbauversuche, ertragskundliche Aufnahmen, Frostschäden, Sortierungsversuch

## Zusammenfassung

Im westlichen Sauerland ist die Douglasie nur in Höhenlagen bis zu etwa 400 m > NN der Fichte in der Wuchsleistung überlegen. Das ist wahrscheinlich auf das zu geringe Wärmeangebot zurückzuführen. Am Ostsauerländer Gebirgsrand im Regenschatten des Sauerlandes verschieben sich die Relationen zu Gunsten der Douglasie. Der Niederschlag ist dort geringer, und die Temperatur in der Vegetationszeit höher. Dort ist die Douglasie bis zu einer Höhe von etwa 650 m > NN der Fichte überlegen.

---

Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz, Nr. 41/97; 161-168.

Bei einem Sortierungsversuch mit Douglasie, bei dem 4jv Douglasie der Größenklassen 80-100 cm, 60-80 cm und 40-60 cm getrennt ausgepflanzt wurden, stellte sich heraus, daß die Unterschiede in den Größenklassen zunächst noch etwas anstiegen, nach 23 Jahren aber verschwunden waren. Beim gleichen Versuch zeigte sich, daß Douglasien, die durch Drahtosen geschützt waren, eine sehr schlechte Bewurzelung ausgebildet hatten.

Als in den Jahren 1982 und 1983 viele Fichtenbestände deutliche Kronenverlichtungen und Nadelvergilbungen aufwiesen, fielen eingemischte Douglasgruppen durch ihre volle, gesunde Benadelung auf. Schütteartige Verlichtungen und Nadelverfärbungen in Douglasiendickungen und Stangenhölzern treten im Sauerland nur sehr vereinzelt auf.

## 1. Die Standorte

Das östliche Sauerland bildet die nordöstlichen Ausläufer des Rheinisch-Westfälischen Schiefergebirges. Nördlich der Ruhr besteht es aus relativ flachen, langgestreckten Rücken mit Erhebungen von etwa 200-550 m > NN. Südlich der Ruhr folgt eine stark gegliederte Mittelgebirgslandschaft, die von 200 m im Ruhrtal auf 843 m beim „Kahlen Asten“ ansteigt. Nach Osten und Südosten fällt das Gebiet dann zur „Medebacher Bucht“ hin ab, die infolge des Regenschatteneffekts durch das vorgelagerte Sauerland in wichtigen Standortseigenschaften vom westlichen und zentralen Sauerland abweicht.

Das Klima ist atlantisch bis subatlantisch und geht in Richtung Ostsauerländer Gebirgsrand zum subkontinentalen über. Die Mitteltemperatur für das Jahr ist je nach Höhenlage 5,0-7,5°C, für die Vegetationszeit 11,0-14,0°C. Der Jahresniederschlag steigt von 800 mm im mittleren Ruhrtal auf 1.400 mm am Kahlen Asten und geht dann zur Medebacher Bucht auf 700 mm zurück. Er ist ziemlich gleichmäßig über das Jahr verteilt, weist aber Maxima in den Monaten Juli-August und Dezember-Januar auf. In den tieferen Gebieten liegt das Hauptmaximum im Sommer, in den höheren im Winter.

Das Grundgestein bilden Schiefer und Sandsteine aus dem Devon und Karbon. Die Böden sind meist mittel- bis tiefgründige oligotrophe Braunerden, die häufiger zur podsoligen als zur mesotrophen Braunerde tendieren. Im Arnsberger Wald haben sich auf tertiären Lehmen auch großflächig Pseudogleye und Stagnogleye entwickelt.

## **2. Anbauversuche**

In den 60er Jahren haben wir uns um einen erweiterten Anbau der Douglasie bemüht. Wir kannten sie im Sauerland aus einigen 30- bis 60jährigen Mischbeständen, in denen sie mit eindrucksvollen Einzelexemplaren auftrat. Wir erwarteten deshalb von ihr eine hohe Zuwachsleistung. Die Möglichkeit, sie mit Hilfe der Schmuckgrüngewinnung kostendeckend zu asten, sollte darüber hinaus die Wertleistung steigern. Und schließlich hatten Probeschnitte im Forstamt Glindfeld gezeigt, daß vom Rotwild geschälte Douglasien nicht faulen, sondern die Schälwunden gesund überwallen.

Im Vertrauen auf die große Wuchsüberlegenheit der Douglasie haben wir sie zunächst im sogenannten Sparverband (6 x 6 m) einzeln der Fichte beigemischt. Aus diesen Versuchen haben sich nahezu reine Fichtenbestände entwickelt. Später gingen wir zu einer reihenweisen Einmischung über, indem wir jeweils drei Reihen Fichte mit einer Reihe Douglasie wechseln ließen. Dabei zeigte es sich, daß nur ein relativ kleiner Anteil von sehr wüchsigen Douglasien mit der Fichte mithalten konnte.

Alles in allem zeigte sich, daß die Douglasie nicht das hielt, was wir uns von ihr versprochen hatten. Auf der Suche nach den Gründen kamen wir zu dem Ergebnis, daß für hohe Wuchsleistungen der Douglasie im Sauerland wahrscheinlich die Wärme nicht ausreicht.

## **3. Ertragskundliche Aufnahmen**

Während meiner Tätigkeit als Leiter des Forsteinrichtungsbezirks Östliches Sauerland hatte ich die Gelegenheit, in den Douglasienanbauten in den sechs Forstämtern meines Bezirks einige ertragskundliche Aufnahmen durchzuführen (RICHTER 1984). Dabei wurden in 88 Beständen die Höhen von 8 bis 22 Douglasien gemessen. Für die gleichzeitige Erfassung der Grundfläche standen nur 12 Horste bzw. Kleinbestände mit Größen von 4,3-46,2 a zur Verfügung. Der Vergleich der Mittelhöhen mit den Werten

der Ertragstafel von BERGEL (1969) zeigte einen Rückgang der Höhenbonität von I,87 in der Altersklasse 21/40 auf II,38 in der Klasse 81/100. Die Stammzahlen lagen deutlich unter den Werten der Tafel, die mittleren Brusthöhen dagegen darüber, so daß die Vorräte in etwa der Tafel entsprachen.

Bei den Mittelhöhen stellten sich deutliche Unterschiede zwischen den Beständen im Luv und Lee des Sauerlandes heraus. In beiden Bereichen geht die Höhenwuchsleistung mit steigender Meereshöhe zurück, liegt aber im Lee des Sauerlandes am Ostsauerländer Gebirgsrand deutlich über den Werten des zentralen Sauerlandes. Beim Vergleich von Mittelhöhen in windzugewandten (Süd- und Westhänge) und windabgewandten Lagen (Nord- und Osthänge) ergaben sich für die Lagen im Windschatten etwas höhere Werte. Das ist insofern bemerkenswert, als die windzugewandten Lagen eine höhere Wärmeeinstrahlung empfangen und damit für die Douglasie günstig sind. Die bessere Wuchsleistung der Douglasie im Regenschattengebiet ist damit wohl durch die höhere Sommerwärme und den reduzierten Windeinfluß zu erklären. Die geringere Niederschlagsmenge beeinträchtigt das Wachstum der Douglasie noch nicht, wohl aber das der Fichte, die ihr hier deutlich unterlegen ist. Im Gegensatz zum zentralen und westlichen Sauerland gibt es hier Fichtendickungen mit reihenweise eingemischter Douglasie, in denen die letztere einen deutlichen Wuchsvorsprung hat.

In einer sehr überschläglichen Schätzung lassen sich aus unseren Aufnahmedaten die folgenden DGZ-Leistungen ableiten:

<i>Höhe &gt;NN</i> <i>m</i>	<i>Zentrales Sauerland</i> <i>Vfm/ha</i>	<i>Ostsauerl. Gebirgsrand</i> <i>Vfm/ha</i>
300	12,9	16,6
400	12,1	15,3
500	11,3	14,0
600	10,7	12,7
700	9,8	11,3

Da bei der Fichte im Sauerland DGZ-Leistungen von 12,0 Vfm/ha und mehr nachgewiesen sind, ist für das zentrale Sauerland ab 400 m und für den Ostsauerländer Gebirgsrand ab 650 m eine Mehrleistung der Fichte gegenüber der Douglasie zu erwarten.

#### **4. Ein Sortierungsversuch**

Die meisten Horste und Kleinbestände aus Douglasie zeigen eine sehr starke Differenzierung in der Wüchsigkeit. Zuweilen ist vermutet worden, es handle sich dabei um ein Gemisch von verschiedenen Herkünften. Ich glaube aber eher, daß eine breite Streuung in der Wüchsigkeit zu den typischen Eigenschaften der Douglasie gehört.

Diese immer wieder anzutreffenden Unterschiede haben uns im Jahre 1967 veranlaßt, im Stadtwald Eversberg des damaligen Gemeindeforstamtes Meschede eine Pflanzung mit vorsortierten Douglasien zu versuchen (RICHTER 1971). Da beim Direktbezug der Pflanzen aus den Baumschulen zuweilen Transportschäden auftraten, hatten wir damals einen großen Teil unseres Bedarfs an Douglasienpflanzen durch den Ankauf von Sämlingen gedeckt, die wir in Wanderkämpfen verschulten und dann gleich nach dem Aushub pflanzen konnten. Das gab uns die Gelegenheit, schon beim Aushub eine Sortierung nach Größen vorzunehmen. Wir bildeten die drei Größenklassen 80-100 cm, 60-80 cm und 40-60 cm. Jede der drei Größenklassen wurde in Streifen aus jeweils drei Reihen getrennt gepflanzt. Während für die größte Klasse das Material nur für einen Streifen reichte, standen für die beiden anderen Klassen genügend Pflanzen für je eine Wiederholung zur Verfügung. Die Pflanzung erfolgte im 3 x 3 m-Verband. Wir wollten durch den Versuch die Frage prüfen, ob sich bei den starken Unterschieden in der Wüchsigkeit die vitalsten Pflanzen schon im Verschulbeet erkennen ließen und dann im Weitverband gepflanzt werden konnten.

Zunächst schien alles nach Plan zu laufen. Der Unterschied zwischen der kleinsten und der größten Klasse stieg von 55 cm im Jahre 1967 auf 120 cm im Jahre 1971. Aber dann konnten die größten ihren Vorsprung nicht weiter ausbauen. Bei den kleinsten stellte sich heraus, daß sie ein Gemisch von tatsächlichen Kümmerlingen und Spätstartern waren, so daß die beiden Streifen der kleinsten Größenklasse vor allem durch ihre starke Differenzierung auffielen. Bei einer Klupung im Jahre 1990, also 23 Jahre nach der Pflanzung, waren erkennbare Differenzen zwischen den ursprünglichen Größenklassen nicht mehr festzustellen.

## **5. Frostschäden**

Der Versuch gab uns aber auch noch einige forstschutztechnisch interessante Einblicke. Da wir im Jahr der Pflanzung im Verschulbeet leichte Frostschäden hatten, legten wir einen Streifen an, in den nur Pflanzen mit deutlichen Nadelrötungen kamen. Nach einigen Jahren kam es zu einem stärkeren Winterfrost. Zur Quantifizierung der Schäden wurden sechs Klassen gebildet. Die Klasse 0 war ohne alle Schäden, die Klasse 1 hatte etwa ein Fünftel rote Nadeln usw. bis zur Klasse 5, bei der alle Nadeln (also fünf Fünftel) erfroren waren. Die nach dieser Methode erfaßten Schäden waren auf dem Streifen mit den schon im Verschulbeet erkennbar vom Frost betroffenen Pflanzen zehnmal so hoch wie bei den übrigen. Im Gegensatz zur Wüchsigkeit scheint bei der Frosthärte also eine Frühselektion innerhalb einer Population möglich zu sein.

## 6. Stabilität

Beim gleichen Versuch machten wir noch eine weitere interessante Erfahrung. Wir hatten ursprünglich die Douglasien einzeln in Drahtosen geschützt. Als wir nach einigen Jahren in der Nähe der Versuchsfläche Schälsschäden an 1,5-2 m hohen Douglasien entdeckten, befürchteten wir, daß unser Versuch durch Schälen des Rotwildes gestört werden könnte. Wir gatterten deshalb die Fläche und entfernten die Drahtosen, um sie anderweitig zu verwenden. Das geschah im Herbst nach Vegetationsschluß. Im November fiel nasser Schnee, durch den eine Anzahl von Douglasien, und zwar hauptsächlich die wüchsigen Exemplare, umgedrückt wurden. Durch Aufrichten und Stützen konnten wir sie zum anscheinend ungehemmten Weiterwachsen veranlassen, hatten aber etwas sehr Wichtiges gelernt: die Drahtosen waren für die Douglasien nicht nur ein Schutz, sondern auch eine Stütze gewesen. Der Wind hatte sie nicht schütteln können, und deshalb hatten sie auch nur eine sehr schwache Bewurzelung ausgebildet.

## 7. „Neuartige Waldschäden“

Als vor 10 bis 15 Jahren auch im Sauerland viele Fichtenbestände deutliche Kronenverlichtungen aufwiesen, fielen eingemischte Douglasiengruppen durch ihre gesunden, vollen Kronen auf. Da in den Hauptschadensjahren 1982 und 1983 die Immissionsbelastung durch Dürrephasen verstärkt wurde, kam hier wahrscheinlich die Resistenz der Douglasie gegenüber Trockenstreß zur Wirkung.

## 8. Sonstige Schäden

In Dickungen und Stangenhölzern treten an Einzelexemplaren gelegentlich schütteartige Verlichtungen und Nadelvergilbungen auf. Das geschieht aber, selbst auf wenig geeigneten, zur Staunässe tendierenden Standorten, in so geringem Ausmaße, daß wir darin noch keinen Grund zur Beunruhigung sehen.

## 10. Literatur

BERGEL, D. (1969): Ertragskundliche Untersuchungen über Douglasie in Nordwestdeutschland. Dissertation an der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen, 184 Seiten.

RICHTER (1971): Das Umsetzen von Douglasien im Kulturstadium. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 142. Jg., 3, S. 65-69.

RICHTER (1984): Die Douglasie im Östlichen Sauerland. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 155. Jg., 1, S. 11-14.

# Ergebnisse der Schlußdiskussion

**Heinz Peter Schmitt**  
**Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten**  
**- Forstgenbank -**  
**D-59821 Arnsberg**

**Keywords:** choice of provenances, choice of sites, liming, fertilization, silvicultural recommendations, need of research

Title of the paper: Results of the concluding discussion.

**Schlüsselwörter:** Herkunftswahl, Kalkung, Düngung, waldbauliche Empfehlungen, Forschungsbedarf

Bei dem Douglasien-Kolloquium wurden Forschungsergebnisse und Erfahrungen zum Anbau der Douglasie dargestellt. In der Schlußdiskussion wurden aus dem Vorgetragenen Empfehlungen formuliert, die für die Länder Nordrhein-Westfalen und Rheinland-Pfalz - und dort insbesondere für die Eifel und den Hunsrück - gelten.

Als Fazit wurde festgehalten:

## 1. Douglasienschäden und ihre Symptomatik

Bei falschen Herkünften – besonders Interior-Herkünften – tritt **Douglasienschütte** auf, die bei langjähriger Krankheitsdauer zum Tod der Bäume führt. Für sie charakteristisch ist die Entnadelung der Triebe, wobei nur der jüngste Nadeljahrgang erhalten bleibt.

„**Herkömmliche**“ **Ernährungsmängel** (Unterversorgung mit Phosphor, Kalium oder Magnesium) äußern sich in Verfärbungen der älteren Nadeln oder ihrer Spitzen und vorzeitigem Abfall älterer Nadeljahrgänge. Wuchsanomalien, die sich im ausgehenden Kultur- und im Dickungsstadium zeigen und dazu führen, daß der junge Stamm nicht gerade wächst, sondern Bögen bildet oder schlangenförmig ausgebildet ist, werden auf Spurenelement-Nährstoffmängel (Bor, Molybdän) zurückgeführt.

Als schwere **ernährungsphysiologische Störungen** werden dagegen Gesundheitsschäden **durch Mangan-Überschuß** eingeschätzt. Diese zeigen sich im Vergilben des letzten Nadeljahrganges und nachfolgendem Verlust der Nadeln und in der Regel auch als Harzfluß und Rindenrisse auf den Schäften. So werden Rindennekrosen und Harzfluß als mögliche differentialdiagnostische Merkmale angesehen.

Interior-Herkünfte scheinen unter Mangan-Überschuß besonders stark zu leiden, während Küstenherkünfte offensichtlich eine größere Toleranz gegenüber erhöhten Mangan-Konzentrationen aufweisen.

## 2. Bedeutung der Herkunft

Herkunftsversuche und praktische Erfahrungen beim Anbau der Douglasie belegen, daß **kein Anbau von Interior-Herkünften** vorgenommen werden darf. Die Interior-Herkünfte sind an die klimatischen Gegebenheiten der beiden Länder unzureichend angepaßt und bringen deswegen hohe Risiken mit sich, die durch die Mangan-Problematik noch verschärft werden. Die bisher vorliegenden Ergebnisse der Herkunftsversuche werden eindeutig durch die praktische Erfahrung bestätigt.

Angebaut werden sollen die empfohlenen Küstenherkünfte (Washington, Oregon, British Columbia) oder regional verfügbare deutsche Herkünfte, die sich mittlerweile als an die jeweilige Klimasituation angepaßt erwiesen haben und die dementsprechend betriebssicherer sind.

### 3. Schlußfolgerungen für die Praxis

#### 3.1 Standortrelevante Empfehlungen

- Bei der **Standortwahl** für Douglasienbestände sind einige **Ausschlußmerkmale** zu beachten: Grundsätzlich sollten keine Pseudogley-Standorte oder vergleyte Standorte für den Anbau der Douglasie vorgesehen werden. Ebenfalls verbieten sich Kalkstandorte und Böden des Oberen wie Unteren Rotliegenden. Bei hohem Tonanteil ist Vorsicht geboten, da solche Standorte Mangan-Überschuß mit sich bringen können.
- Bei basenarmen Böden - insbesondere mit geringen Magnesiumvorräten - sollte eine **Pflanzlochdüngung** mit magnesiumreichen Dolomit bei der Kulturbegründung erfolgen, ggf. ist auch eine Phosphatgabe vorzusehen.
- Auf versauerungsgefährdeten Standorten (pH < 4,2, feinhumusreicher Moder oder schlechter) sollten Douglasienbestände mit einer **Kalkung** von 3-6 t/ha magnesiumreichem Dolomit behandelt werden. Eine Wiederholungskalkung muß in Anbetracht der derzeitigen Einträge von Säurebildnern in den Boden alle 5 bis 10 Jahre vorgesehen werden. Ein solches Vorgehen wird auch für Douglasien-Naturverjüngung angeraten.  
Auf Standorten mit Mangan-Überschuß ist von dieser Maßnahme allerdings nach bisherigem Wissensstand keine entscheidende Verringerung der Mangan-Aufnahme zu erwarten.
- Treten **erste Schadsymptome** auf, sollte über Nadelanalysen geprüft werden, ob die Schäden mit Mangan-Überschuß zusammenhängen können und ob Nährelementmängel vorliegen. Bei Magnesium-Mangel wird eine Dolomitmalkung, bei Phosphor-Mangel eine Phosphat-Düngung empfohlen.
- Bei Zweifeln hinsichtlich der Eignung des jeweiligen Standortes für den Douglasienanbau ist eine **Bodenanalyse** und ggf. auch eine **Nadelanalyse** in benachbarten Douglasienbeständen durchzuführen.

### 3.2 Waldbauliche Empfehlungen

- Die Douglasie sollte grundsätzlich nicht rein angebaut werden, sondern in **Mischungen mit geeigneten Laubbaumarten**, insbesondere mit der Buche. Durch die weitere waldbauliche Behandlung müssen die Laubbaumbeimischungen erhalten bleiben
- Für die **Jungbestandspflege** gilt, wenn keine ausreichende Selbstdifferenzierung erfolgt, die Z-Baumanwärter-orientierte Pflege als bewährt.
- Die **Durchforstung** ist Z-Baum-orientiert durchzuführen. Angeraten wird eine regelmäßig wiederkehrende Durchforstung, die im wesentlichen nur der Förderung der Z-Bäume dient. Über die Förderung der Z-Bäume hinaus sind schwer geschädigte bis abgängige einzelne Douglasien vorsichtig zu entnehmen. Von zu hastigen Sanierungshieben wird abgeraten.
- Wenn die Herkunft und der Standort erwarten lassen, daß akzeptable Zieldurchmesser erreicht werden, sollten Ästungsmaßnahmen durchgeführt werden. Geästet werden sollen 80 bis 100 Douglasien je Hektar. Bei standörtlichen Risiken für die Gesundheit der Douglasienbestände muß die **Ästungswürdigkeit** im Einzelfall kritisch geprüft werden.

### 4. Zukünftige Forschungsschwerpunkte

- Zur **Absicherung der Herkunftsfragen** sollten weitere Isoenzym-Untersuchungen in Douglasienbeständen durchgeführt werden. Es ist der Frage nachzugehen, inwieweit durch Nachbesserung oder Lieferung falscher Herkünfte in den Beständen Mischungen verschiedener Herkünfte aus der Küstenregion und dem Interior-Bereich Nordamerikas vorliegen können. In den Altbeständen sollte überprüft werden, inwieweit sie den Küstenherkünften zuzurechnen sind.

- Bei den in Herkunftsversuchen einbezogenen „**Schadbeständen**“ sollte geklärt werden, inwieweit es sich hierbei um Bestände mit **Mangan-Überschuß** handelt.
- Die Rolle der Spurenelementversorgung (insbesondere Bor und Molybdän) bei der Douglasienerkrankung sollte weiter untersucht werden. Insbesondere sollte geprüft werden, ob die in Jungbeständen beobachteten **Wuchsanomalien** durch **Spurenelementdüngung** beseitigt oder reduziert werden können.
- Weiterer Untersuchungsbedarf besteht auch hinsichtlich der **Rolle der Mykorrhiza** beim Auftreten von Nährelementunterversorgungen.
- Die **ernährungsphysiologische Problematik** infolge der Mangan-Freisetzung im Boden muß intensiver untersucht werden. Insbesondere die Funktion von Fe(III) und die Bedeutung von Fe(II) in den Nadeln sollte weiter erforscht werden.
- Die Ursachen für die **Bastschäden** und **Rindennekrosen**, die sich vordergründig als Harzfluß ansprechen lassen, sind zu klären.
- Für die Praxis sind einfache **praxisgerechte Diagnoseverfahren** anhand der verschiedenen Symptomgruppen zu entwickeln. Symptombezogene Behandlungsmöglichkeiten durch Düngung sind aufzuzeigen.
- Die Zusammenhänge zwischen **Standort** und **Douglasienschäden** unter Berücksichtigung der jeweiligen klimatischen Verhältnisse müssen noch intensiver erforscht werden.

**Bisher sind folgende Mitteilungen aus der Forstlichen Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz erschienen:**

1/1987	Jahresbericht 1984-1986 ISSN 0931 - 9662	
2/1987	BLOCK, STELZER: Radioökologische Untersuchungen in Waldbeständen ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
3/1987	BLOCK, BOCKHOLT, BORCHERT, FINGERHUT, FRAUDE, HEIDINGSFELD: Sondermeßprogramm Wald (SMW) ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
4/1987	BEUTEL, BLOCK: Terrestrische Feldgehölzschadenserhebung (TFGE 1986) ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
5/1988	Die Forstliche Versuchsanstalt Rheinland-Pfalz im Dienste von Wald und Forstwirtschaft - Reden anlässlich der Übergabe des Schlosses Trippstadt als Dienstsitz am 10.04.1987 ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
6/1988	Jahresbericht 1987 ISSN 0931 - 9662	
7/1988	BEUTEL, BLOCK: Terrestrische Parkgehölzschadenserhebung (TPGE 1987) ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
8/1988	GERECKE: Zum Wachstumsgang von Buchen in der Nordpfalz ISSN 0931 - 9662	DM 30,--
9/1989	Jahresbericht 1988 ISSN 0936 - 6067	
10/1989	HEIDINGSFELD: Verfahren zur luftbildgestützten Intensiv-Waldschadenserhebung in Rheinland-Pfalz ISSN 0931 - 9662	DM 25,--
11/1989	BLOCK, DEINET, HEUPEL, ROEDER, WUNN: Empirische, betriebswirtschaftliche und mathematische Untersuchungen zur Wipfelköpfung der Fichte ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
12/1989	Jahresbericht 1989 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
13/1990	SCHÜLER: Der kombinierte Durchforstungs- und Düngungsversuch Kastellaun - angelegt 1959 - heute noch aktuell? ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
14/1990	BLOCK: Ergebnisse der Stoffdepositionsmessungen in rheinland-pfälzischen Waldgebieten 1984 - 1989 ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
15/1990	Jahresbericht 1990 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
16/1991	BLOCK, BOCKHOLT, BORCHERT, FINGERHUT, HEIDINGSFELD, SCHRÖCK: Immissions-, Wirkungs- und Zustandsuntersuchungen in Waldgebieten von Rheinland-Pfalz - Sondermeßprogramm Wald, Ergebnisse 1983 - 1989 ISSN 0931 - 9662	DM 12,--

17/1991	BLOCK, BOPP, GATTI, HEIDINGSFELD, ZOTH: Waldschäden, Nähr- und Schadstoffgehalte in Nadeln und Waldböden in Rheinland-Pfalz ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
18/1991	SCHÜLER, BUTZ-BRAUN, SCHÖNE: Versuche zum Bodenschutz und zur Düngung von Waldbeständen ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
19/1991	AUTORENKOLLEKTIV Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Sturm- und Immissionsschäden im Vorderen Hunsrück - "SIMS" - ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
20/1992	Jahresbericht 1991 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
21/1992	AUTORENKOLLEKTIV Der vergleichende Kompensationsversuch mit verschiedenen Puffersubstanzen zur Minderung der Auswirkungen von Luftschadstoffeinträgen in Waldökosystemen - Zwischenergebnisse aus den Versuchsjahren 1988 - 1991 - ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
22/1992	Jahresbericht 1992 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
23/1993	HEIDINGSFELD: Neue Konzepte zum Luftbildeinsatz für großräumig permanente Waldzustandserhebungen und zur bestandesbezogenen Kartierung flächenhafter Waldschäden ISSN 0931 - 9662	DM 18,--
24/1993	BLOCK: Verteilung und Verlagerung von Radiocäsium in zwei Waldökosystemen in Rheinland-Pfalz insbesondere nach Kalk- und Kaliumdüngungen ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
25/1994	WIERLING: Zur Ausweisung von Wasserschutzgebieten und den Konsequenzen für die Forstwirtschaft am Beispiel des Pfälzerwaldes	DM 12,--
26/1994	Jahresbericht 1993 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
27/1994	OESTEN, ROEDER: Zur Wertschätzung der Infrastrukturleistungen des Pfälzerwaldes ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
28/1994	SCHRÖCK: Kronenzustand auf Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz - Entwicklung und Einflußfaktoren - ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
29/1994	FISCHER: Untersuchung der Qualitätseigenschaften, insbesondere der Festigkeit von Douglasien-Schnittholz (Pseudotsuga Menziesii (Mirb.) Franco), erzeugt aus nicht-wertgeästeten Stämmen	DM 12,--
30/1994	SCHÜLER: Ergebnisse forstmeteorologischer Messungen für den Zeitraum 1988 bis 1992 ISSN 0931 - 9662	DM 12,--

31/1995	Jahresbericht 1994 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
32/1995	AUTORENKOLLEKTIV Untersuchungen an Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
33/1995	EISENBARTH Schnittholzeigenschaften bei Lebendlagerung von Rotbuche ( <i>Fagus sylvatica</i> L.) aus Wintersturmwurf 1990 in Abhängigkeit von Lagerart und Lagerdauer ISSN 0931 - 9662	DM 12,--
34/1995	AUTORENKOLLEKTIV Genetik und Waldbau unter besonderer Berücksichtigung der heimischen Eichenarten ISSN 0931 - 9622	DM 12,--
35/1995	BLOCK, BOPP, BUTZ-BRAUN, WUNN Sensitivität rheinland-pfälzischer Waldböden gegenüber Bodendegradation durch Luftschadstoffbelastung ISSN 0931 - 9662	DM 15,--
36/1996	Jahresbericht 1995 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
37/1996	HUNKE Differenzierte Absatzgestaltung im Forstbetrieb – Ein Beitrag zu Strategie und Steuerung der Rundholzvermarktung ISSN 0931 - 9622	DM 20,--
38/1996	AUTORENKOLLEKTIV Naturwaldreservate in Rheinland-Pfalz: Erste Ergebnisse aus dem Naturwaldreservat Rotenberghang im Forstamt Landstuhl ISSN 0931 - 9622	DM 25,--
39/1997	Jahresbericht 1996 ISSN 0931 - 9662 ISSN 0936 - 6067	
40/1997	AUTORENKOLLEKTIV Untersuchungen an Waldökosystem-Dauerbeobachtungsflächen in Rheinland-Pfalz (Teil 2) ISSN 0931 - 9622	DM 15,--
41/1997	AUTORENKOLLEKTIV Stand der Ursachenforschung zu Douglasienschäden – derzeitige Empfehlungen für die Praxis ISSN 0931 - 9622	DM 20,--