

Schriftenreihe der
Sächsischen Landesanstalt für Forsten

Heft 13/98

Forstpflanzenzüchtung für Immissionsschadgebiete



Vorwort

Die Entstehung dieses Heftes entsprang der Motivation, einen zusammenfassenden Beitrag über die Resistenzzüchtung in Graupa vorzulegen. Anlaß dafür sind die nach wie vor vielen Fragen zur Resistenzzüchtung, welche anläßlich der verschiedensten Gelegenheiten an uns herangetragen werden.

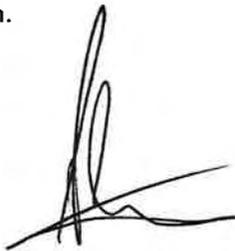
Die züchterischen Arbeiten der 70er und 80er Jahre waren Teil eines Gesamtprojektes zur forstlichen Bewirtschaftung von Rauchschatgebiets. Verschiedene Seiten der Forstwissenschaft (Waldbau, Bodenkunde, Ertragskunde, Einrichtung, Nutzung, Betriebswirtschaft u. a.) und der Praxis arbeiteten ohne gegenseitige Ressentiments zusammen, getragen von dem Willen, ein gemeinsames Ziel zu verfolgen – die Vegetationsform Wald im Erzgebirge zu erhalten und, wenn auch in beschränktem Umfang, die Erzeugung des Rohstoffes Holz zu sichern.

Im vorliegenden Heft kommen deshalb Kollegen der Grundlagenforschung, der angewandten Forschung und der Forstpraxis zu Wort.

Die Aufgabe der Forstpflanzenzüchtung bestand darin, Grundlagen zu liefern, um eine kurzfristige Bereitstellung von geeignetem Pflanzgut zu gewährleisten.

Die Ablehnung der Resistenzzüchtung in der Öffentlichkeit hat damals wie heute verschiedene Ursachen, die wenigsten davon sind fachlich begründet. Dabei spielen sowohl emotionale Aspekte als auch die sicherlich unglückliche Begriffswahl eine große Rolle. In diesem Heft soll sich deshalb auf eine nüchterne Darstellung der verschiedenen Forschungsrichtungen und ihrer Ergebnisse beschränkt werden.

Da die Bewirtschaftung von Immissionschadgebieten auch in absehbarer Zukunft ein Problem der sächsischen Forstwirtschaft bleiben wird, erschien es uns wichtig, die Weiterführung der damals begonnenen Arbeiten unter aktuellen Gesichtspunkten kurz darzulegen.



Prof. Dr. habil. H. Braun
Leiter der Sächsischen Landesanstalt für Forsten

Inhalt

PROF. DR. HABIL. H. BRAUN Sächsische Landesanstalt für Forsten Graupa Die Entwicklung der Forschungseinrichtung in Graupa nach 1985 unter dem Gesichtspunkt der Resistenzzüchtung	2
DR. O. TZSCHACKSCH Graupa Wege und Irrwege der Immissionsresistenzzüchtung	12
DR. H. LATKE Graupa Kiefern für die Immissionsschadgebiete der Mittelgebirge – züchterische Ergebnisse und Perspektiven –	24
PROF. (EM) DR. HABIL. H.-G. DÄSSLER Freital Die Immissionstoleranzforschung in Tharandt und ihr Beitrag zur Erhaltung der Mittelgebirgswälder sowie zur Industriebaumzüchtung	36
DIPL.-FORSTING. P. BRANZ Sächsisches Forstamt Altenberg Die Bedeutung der Immissionsforschung und Resistenzzüchtung für den forstpraktischen Betrieb in Vergangenheit und Gegenwart	42
DR. H. HERTEL Institut für Forstpflanzenzüchtung Waldsiedersdorf der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg Genetische und phänotypische Merkmale von Nachkommen feldresistenter Fichten – <i>Picea abies</i> (L.) Karst. – aus Immissionsschadgebieten	45
DR. H. WOLF Sächsische Landesanstalt für Forsten Graupa, Fachbereich Genetik/Züchtung Erste Ergebnisse der Prüfung feldresistenter Klone der Fichte – <i>Picea abies</i> (L.) Karst. – im Erzgebirge und im Thüringer Wald	51
DIPL.-FORSTING. M. PAUL Sächsische Landesanstalt für Forsten Graupa, Fachbereich Genetik/Züchtung Die Nutzung immissionsresistenter Fichten – <i>Picea abies</i> (L.) Karst. – für die forstliche Generhaltung	69
DR. D. BUTTER, DIPL.-FORSTING. H. RICHTER Sächsisches Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten, Abteilung Forsten Beurteilung der im Immissionsschadgebiet des oberen Erzgebirges vorhandenen Bestände aus unterschiedlichen Baumarten und weiteres Vorgehen bei der Waldschadenssanierung	73

Die Entwicklung der Forschungseinrichtung in Graupa nach 1985 unter dem Gesichtspunkt der Resistenzzüchtung

H. BRAUN

Einleitende Bemerkungen

Das Jahr 1985 war eine Zäsur in der Entwicklung der hiesigen Einrichtung. Aus der Versuchsstation wurde das Forschungs- und Überleitungszentrum des Bereiches Forstpflanzenzüchtung Waldsiedersdorf des Institutes für Forstwissenschaften Eberswalde.

Warum kam es zu dieser Neugründung bzw. Änderung im Aufgabenprofil der bis dahin existierenden Forschungsstation?

1. Die katastrophalen Waldschäden waren mit dem flächigen Absterben der Wälder im Osterzgebirge, insbesondere nach den Jahren 1982/83, nicht mehr zu vertuschen und sie wurden zunehmend zu einem gesellschaftspolitischen Problem.

2. Neben den klassischen SO₂-bedingten Waldschäden kamen im westlichen Teil des Erzgebirges und in weit stärkerem Maße in Thüringen und im Harz sogenannte neuartige Waldschäden hinzu.

Aus dieser Situation heraus erhielt das Institut für Forstwissenschaften Eberswalde basierend auf einem Ministerratsbeschluß „Zum Schutz der Wälder“ den Auftrag, die Forschungen und die Überführung von Forschungsleistung in die praktische Forstwirtschaft zu intensivieren. Neben der Entwicklung spezifischer waldbaulicher Handlungsrichtlinien für die Schadgebiete und der Melioration durch intensive Bodenbearbeitung und Kalkung erlangte die züchterische Bearbeitung von Waldbäumen zur Erhöhung der Resistenz gegenüber Immissionsbelastungen einen besonderen Stellenwert.

Diese Strategie war durch das Ziel der Forstwirtschaft motiviert, die katastrophalen Schäden in Grenzen zu halten und Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

Es war auch damals völlig unstrittig, daß solche Maßnahmen nicht geeignet waren, die Waldschadensproblematik zu lösen. Dazu hätte es einer radikalen Verringerung der Schadstoffemissionen bedurft. Offensichtlich sahen sich die politisch Verantwortlichen nicht in der Lage, oder/und waren nicht willens, die Energiepolitik der DDR und der Nachbarländer Polen und Tschechoslowakei, die wesentlich auf dem Rohstoff Braunkohle basierte, entscheidend zu verändern.

Es ist heute müßig darüber zu streiten, ob die Forstwissenschaft von Bodenmelioration, Waldbau bis Züchtung sich dieser Aufgabe hätte verschließen sollen. Es bleibt der Fakt, daß ohne dieses Engagement von Forstwissenschaft und Praxis das Ökosystem Wald auf weit größerer Fläche nicht mehr existieren würde. Wie schwierig dieses Feld sich auch heute gestaltet, zeigen nicht zuletzt die enormen Schäden in Folge des Winters 1995/96. Daher erscheint es sehr sinnvoll, diese Entwicklung unserer Einrichtung in Graupa in der Zeit von 1985 bis zur Gründung der Landesanstalt für Forsten einmal fachlich nüchtern zu beleuchten.

Die Gründung des Forschungs- und Überleistungszentrums Graupa (FÜZ)

Die Gründung des FÜZ basiert auf einer Konzeption zur Umwandlung der Forschungsstation für Forstpflanzenzüchtung Graupa in eine Arbeitsgruppe für die Erarbeitung und gleitende Überführung von wissenschaftlich-technischen Ergebnissen für die Bewirtschaftung des Rauchschatzgebietes des Erzgebirges vom 30.05.1984.

Diese sehr umfangreiche Aufgabenstellung reichte von der züchterischen Bearbeitung von sogenannten Ersatzbaumarten über die Fichtenzüchtung, die Erarbeitung von Bewirtschaftungsrichtlinien für Immissionsschadgebiete bis hin zu Problemen der Holzforschung und der Betriebswirtschaft. Bereits im Jahr 1984 wurde deutlich, daß ein so umfangreiches Programm weder personell noch materiell umzusetzen war. Bemerkenswert erscheint aber im Aufgabenprofil z. B. der Punkt (Zitat): „Erhaltung der wertvollsten Fichtenpopulationen des Erzgebirges für eine mögliche Anbauerweiterung nach 2000, Sicherung von Genressourcen“.

Am 29.11.1984 erfolgte daraufhin eine Präzisierung der Aufgabenstellung für das neu zu gründende FÜZ wie folgt:

- Anbauprüfungen von Züchtungsprodukten und Ersatzbaumarten
- Anlage von Demonstrationsflächen
- Selektion rauchtoleranter Individuen (insbesondere Fichte)
- Erhaltung gefährdeter Populationen – Generhaltung
- Unterstützung der Saatgutversorgung mit rauchhärteren Baumarten einschließlich der „Resistenzfichten“ – Förderung bzw. eigene Pflanzenanzucht (je nach Variante des Ausbaues)
- Intensivierung der Hybridzüchtungen und Überführung von Hybridsorten (insbesondere Lärche) für das Rauchschatzgebiet – Aufbau von Samenplantagen und Mutterquartieren
- Dienstleistungen für die Bezirke (Projekte zur Bestandesumwandlung u. ä.).

Zur Realisierung des Vorhabens wurde nach zahlreichen Diskussionen eine Minimumvariante gewählt. Danach sollte die damalige Versuchsstation Graupa überwiegend personell aufgestockt werden,

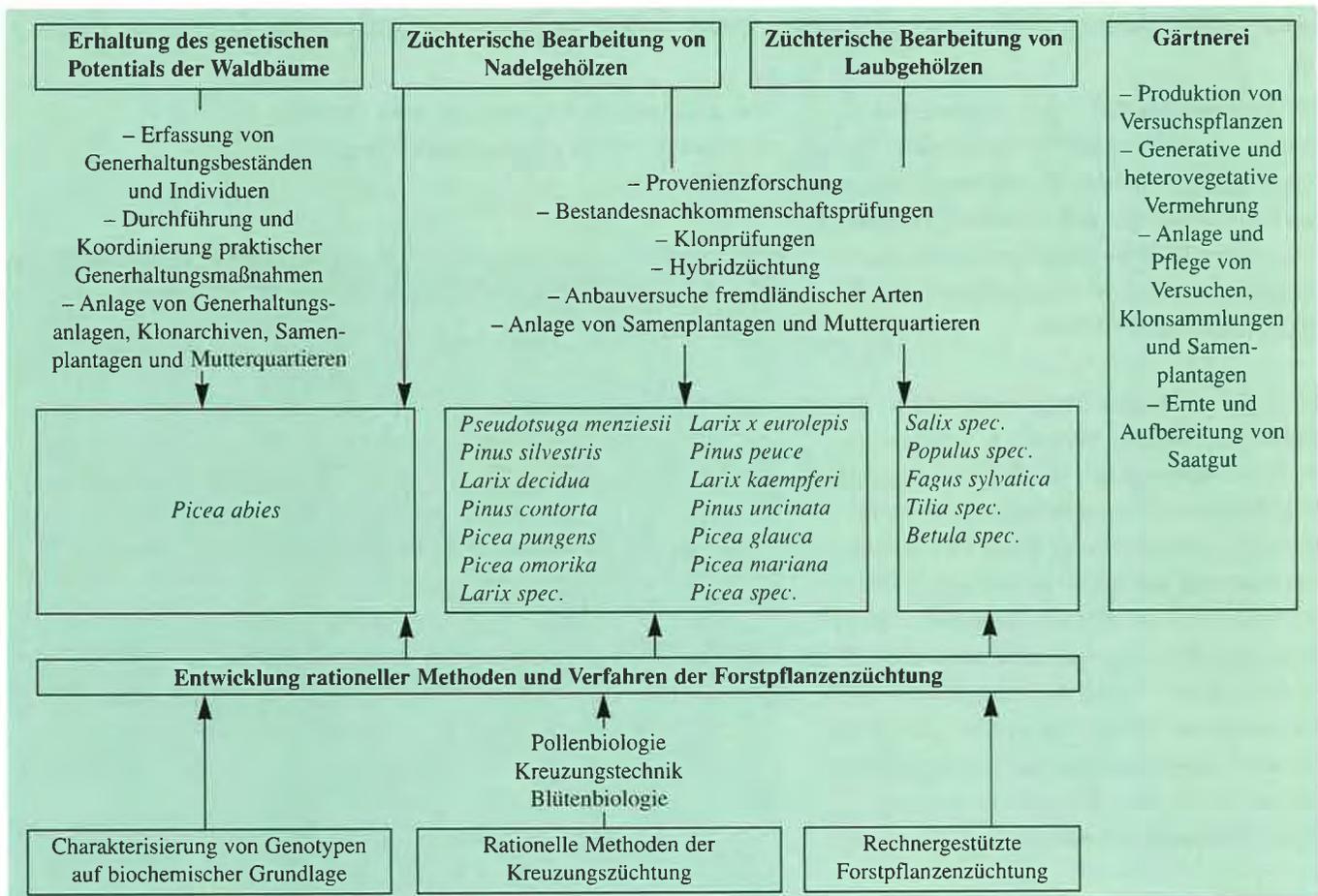
ohne die anfangs in Erwägung gezogene räumliche Erweiterung in Form von Neubauten in Angriff zu nehmen.

Das FÜZ Graupa wurde am 01.01.1985 gegründet und hatte die folgende Struktur:

- Arbeitsgruppe 1** Überführung von Züchtungsergebnissen
Aufbau von Vermehrungsanlagen
Anleitung von Sortenvermehrungszentren
Anerkennung von Forstsaatgutbeständen
Kontrolle der Bewirtschaftung von Samenplantagen
Maßnahmen zur Generhaltung
Bewirtschaftung der Genarchive des FÜZ
- Arbeitsgruppe 2** Züchterische Bearbeitung der Baumart Fichte unter besonderer Berücksichtigung der Rauchresistenz
- Arbeitsgruppe 3** Züchterische Bearbeitung von Alternativbaumarten (Lärchenarten, Kiefernarten, fremdländische Fichtenarten, Laubholzarten, Douglasie, einschließlich Hybridzüchtung)
- Arbeitsgruppe 4** Gärtnerbereich (Anzucht von Versuchspflanzen, Aussaat, Pfropflingsherstellung, Verschulungen, Bewirtschaftung von Versuchsanlagen in Graupa)
- Arbeitsgruppe 5** Technischer Dienst – Innere Verwaltung

Das Schema auf Seite 4 zeigt die Struktur des FÜZ im Jahr 1990.

Entgegen der ursprünglichen Konzeption wurden somit die Aufgaben eingeeengt und stark auf die waldbaulich-züchterischen Probleme im Schadgebiet gelenkt. Dafür wurde das territoriale Wirkungsfeld wesentlich auf die gesamten Mittelgebirge der DDR vom Harz über den Thüringer Wald, das Erzgebirge bis ins Zittauer Gebirge erweitert.



Struktur des FÜZ im Jahre 1990

Wissenschaftliche Voraussetzungen für die Gründung des FÜZ

Es stellt sich die Frage, wie kam es zu der Ansicht, daß die Forstpflanzenzüchtung einen Beitrag zur Linderung des Schadens leisten könnte? Daher erscheint es notwendig zusammenzufassen, was auf diesem Gebiet bis 1985 an wissenschaftlichen Ergebnissen in Graupa vorlag:

Zu Beginn der 70er Jahre hatte man begonnen, resistent erscheinende Bäume der Fichte in dem damals schon vorhandenen extremen Schadgebiet, insbesondere in Deutscheinsiedel, aufzunehmen (Wachstumsparameter und entsprechende Bonituren) und diese über vegetative Verfahren zu erhalten bzw. in bescheidenem Maße zu vermehren. Die ersten Schritte der Erhaltung und Prüfung der Resistenz erfolgten über das sogenannte Verfahren der Hochpfropfung auf Fichtenkulturen im Schadgebiet selbst. Eine der Beispielflächen liegt im Revier Deutscheinsiedel, Abt. 127 und 119 a². Diese Fläche wurde Mitte der 80er Jahre zu einem regelrechten Pilgerobjekt, da man hier sehen konn-

te, daß es offensichtlich Klone der Fichte gab, die aufgrund ihrer genetischen Konstitution selbst in diesem extremen Rauchschaadgebiet 7 Nadeljahrgänge aufwiesen. Angesichts des ringsherum flächig absterbenden Fichtenwaldes wurde so der Wunsch induziert, diese Fichtenklone massenhaft zu vermehren.

Die Laborprüfungen in Tharandt und Waldsiedersdorf hatten sich weiterentwickelt und man war in der Lage, über die kurzzeitige Stoßbegasung mit SO₂ hinausgehend, langfristig Immissionsbeeinflussungen zu simulieren. Die äußerlich sichtbaren Differenzierungen, insbesondere bei Klonmaterial aber auch bei Populationen der Fichte, wurden genutzt, um entsprechendes Material erhöhter Laborresistenz auszulesen. Aus solchen Laborprüfungen stammen u. a. die Saatgutbestände, die als Sonderherkünfte im Saatgutrecht mit einem „R“ für Resistenz gekennzeichnet wurden.

Zahlreiche Versuchsanlagen zur Prüfung von Nachkommenschaften mit zumeist züchterischer Fragestellung bei Aspe, fremdländischen Fichten- u. Kiefernarten sowie bei Lärche und ihren Hybriden, die ursprünglich durchaus anderen Zielen dienten, wuchsen bedingt durch die Aus-

breitung des Schadgebietes in dieses hinein. Plötzlich wurden sehr klare Unterschiede im Resistenzverhalten deutlich und es wurde wiederum der Wunsch induziert, die vitalsten Bäume und Nachkommenschaften massenhaft zu vermehren.

Das Profil des FÜZ

Am deutlichsten wird das wissenschaftliche Profil des FÜZ und damit auch die klare Ausrichtung auf die sogenannte Rauchresistenzzüchtung, sofern man die Auswahl vitaler Individuen als solche versteht, an den wissenschaftlichen Leistungen in Form der F/E-Berichte.

Schwerpunkte in bezug auf das Immissions-schad- gebiet bildeten in den Jahren ab 1985:

- Überführung von Forschungsergebnissen in die forstliche Praxis,
- Arbeiten zur Erhaltung des genetischen Potentials, hauptsächlich bei Fichte,
- die Selektion von vitalen Fichten in Schad- gebieten,
- die Suche nach sowie Prüfung von sogenannten Ersatzbaumarten.

Forschungsleistungen aus bzw. unter Mitarbeit von Graupa der Jahre 1984–1990

1984

- Vorschlag von Hybridmehrklon- und Hybridhochzuchtsorten der Douglasie
- Vorschlag von Hybridhochzuchtsorten der Lärche
- Züchtung leistungs- und widerstandsfähiger, insbesondere SO₂-resisten- ter Fichtensorten sowie Selektion und Prüfung der Anbaueignung von Ersatzbaumarten im Rauchschaadgebiet
- Verfahren der autovegetativen Massenvermehrung von phänotypisch SO₂-resistenten Fichten

1985

- Erste Beurteilung von Nachkommenschaften artifiziereller Douglasienbe- stände der DDR
- Vorschlag von Herkunftssorten der europäischen Lärche
- Ein Beitrag zur In-vitro-Vermehrung von *Pseudotsuga menziesii* und *Larix spec.*

1986

- Hybridisierungen bei Lärche und Douglasie für Leistungsprüfversuche und Embryokulturen unter besonderer Berücksichtigung des Rauch- schadgebietes
- Vorschlag einer Herkunftssorte von *Picea glauca* (Moench) Voss für den Anbau im immissionsgeschädigten Fichtengebiet der Mittelgebirge

1987

- Alternativbaumarten für geschädigte Wälder – Hybridlärchenhoch- zuchtsorte für Rauchschaadgebiete der Mittelgebirge
- Richtlinien zur Sortenerkennung bei Forstgehölzen

1988

- Erhaltung der Genressourcen bei der Baumart Fichte
- Gebirgsaspenhochzuchtsorten für Rauchschaadgebiete

1989

- Mehrklonsorte für Fichtenholzplantagen
- Hybridlärchenhochzuchtsorten für Rauchschaadgebiete der Mittelgebirge
- Lärchen- und Douglasienhybridisierungen für Leistungsprüfversuche und Embryokulturen unter besonderer Berücksichtigung der Rauch- schadgebiete

1990

- Erste Beurteilung von Nachkommenschaften einheimischer Douglasien- bestände
- Entwicklung einer Züchtungsstrategie für Arten der Gattung *Pinus* mit Anbaueignung für Hoch- und Kammlagen der DDR unter besonderer Berücksichtigung der Immissionshärte
- Erarbeitung rationeller Methoden zur Erzeugung und Überführung von Hybridsorten einschließlich der Durchführung entsprechender Kreuzungen vorrangig bei Lärche und Douglasie

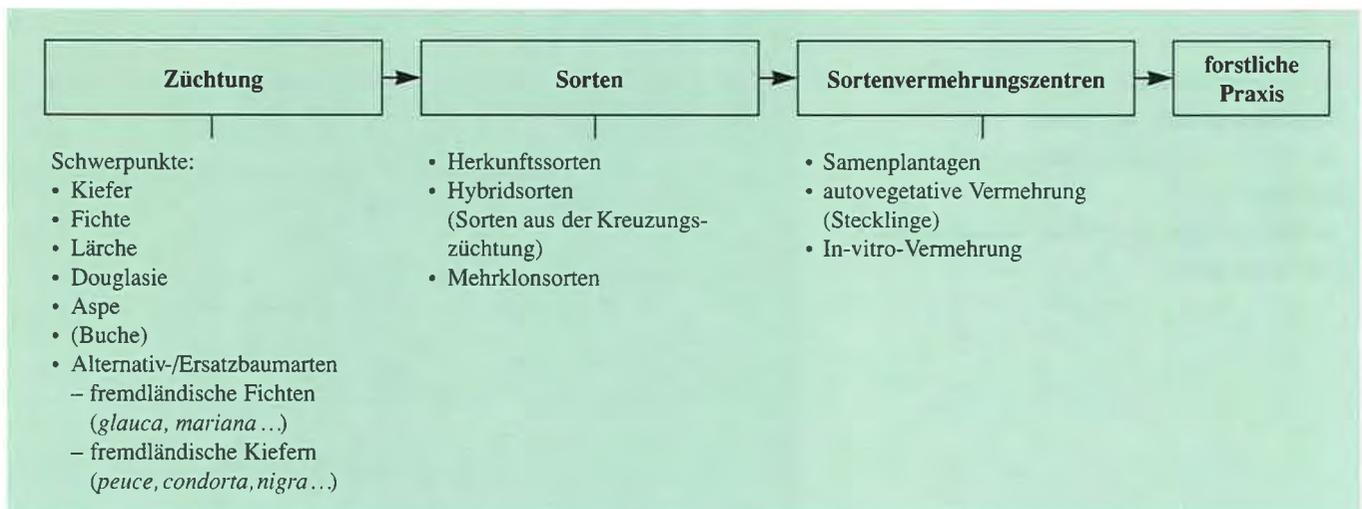
Zu den Überführungsaufgaben

Die Grundlage der Überführung von Forschungsleistungen, zumeist in Form von Pflanzen mit definierter genetischer Qualität über vegetative bzw. auch generative Verfahren der Vermehrung, bildeten Kooperationsvereinbarungen mit den betroffenen StFB. Insofern wurde mit diesem Vorgehen eine neue Qualität erreicht. Es wurde zumeist sehr konkret vereinbart, welche Versuche angelegt und wie gepflegt, wie viele Vermehrungsanlagen (Samenplantagen, Mutterquartiere) wo installiert bzw. welche sonstigen gegenseitigen Leistungen erbracht werden sollen.

Ein Beispiel für den technischen Bereich:
Als das FÜZ gegründet wurde, hatte es ein Benzin-kontingent für das 1. Quartal 1985 von knapp

100 Litern, nicht nur für die beiden Pkw, sondern auch für alle sonstigen Motorgeräte. Erst durch die intensive Zusammenarbeit mit den Betrieben und den häufigen Tauschhandel „wissenschaftliche Leistungen gegen technische Leistungen“ war überhaupt eine effektive Arbeit möglich. Ein ausgesprochenes Organisationstalent war von allen Mitarbeitern gefordert.

Die Überführungsleistungen auf dem Gebiet des Einsatzes von Pflanzen mit genetisch definierten Eigenschaften konzentrierten sich ab Ende der 80er Jahre auf den Aufbau von sogenannten Sortenvermehrungszentren. Dabei stand die folgende Modellüberlegung im Mittelpunkt:



Zielstellung:
Optimale Forstpflanzenproduktion nach Menge und Qualität für die Sicherung des Pflanzenbedarfs zur Realisierung der Baumartenoptimierung sowie der spezifischen Walderneuerungsziele in Rauchschadgebieten durch zunehmenden Einsatz von Saat- und Pflanzgut höherer genetischer Wertigkeit und die Anwendung moderner Vermehrungsverfahren der generativen und vegetativen Vermehrung einschließlich der Biotechnologie.

Diese Sortenvermehrungszentren sollten in Zillbach (damals StFB Meiningen, Bezirk Suhl), Bühlau (damals StFB Dresden, Bezirk Dresden), Roßlau (damals StFB Roßlau, Bezirk Halle) und

Marienberg (damals StFB Marienberg, Bezirk Karl-Marx-Stadt) entstehen.

Produktionsschwerpunkte sollten sein:

- Saatgutwirtschaft einschließlich der Beerntung von Beständen,
- generative und vegetative Pflanzenanzucht,
- Aufbau und die Bewirtschaftung von Sortensamenplantagen und Mutterquartieren sowie die In-vitro-Vermehrung.

Die Sortenvermehrungszentren in den damaligen Bezirken Suhl, Dresden und Karl-Marx-Stadt wurden der fachlichen Betreuung des FÜZ Graupa zugeordnet. Das Sortenvermehrungszentrum in Marienberg ist über ein Konzept nicht hinausgegangen, dort wurden nur die Voraussetzungen in Form von Mutterquartieren und Samenplantagen geschaffen. Das Sortenvermehrungszentrum in Zillbach wurde bis 1989 entsprechend der vorlie-

genden Konzeption einschließlich einer Kapazität zur vegetativen Vermehrung der Fichte fast vollständig aufgebaut. Komplette errichtet wurde das Sortenvermehrungszentrum in Bühlau mit einer Kapazität von 400 000 möglichen Steckplätzen für die autovegetative Vermehrung pro Jahr. Die Sortenvermehrungszentren existieren heute nicht mehr. Die entsprechende Kapazität wurde rückgebaut.

Zu den Arbeiten zur Erhaltung des genetischen Potentials

Diese Arbeiten, deren Notwendigkeit bereits zu Beginn der 80er Jahre diskutiert und, wie bereits zitiert, 1984 als Aufgabe formuliert wurden, konzentrierten sich damals hauptsächlich auf die Fichte. Es war kein akademischer Streit um den eventuellen Verlust genetischer Vielfalt, sondern das massive Absterben wertvoller Populationen, das zum Handeln zwang. Für die Erhaltung wurden mehrere praktische Wege besprochen:

- Die Saatguternte, sofern überhaupt noch möglich,
- die autovegetative Vermehrung von vorhandenen Naturverjüngungen,
- die Pfropfung von Altbäumen, möglichst der noch vorhandenen Gesamtpopulationen,

- die autovegetative Vermehrung von definierten Nachkommenschaften bestimmter Populationen aus Versuchsanlagen heraus, die am Ursprungsort bereits nicht mehr existierten.

Das Ziel war es, mindestens 20 Populationen aus den Rauchschaadgebieten des Erzgebirges auf diesem Wege zu erhalten. Die Aktivitäten zur Erhaltung des genetischen Potentials bei Fichte erstreckten sich aber nicht nur auf das Erzgebirge, sondern auch auf den Harz, insbesondere das Brockengebiet, und auf den Thüringer Wald, hier insbesondere die Wurzelbergfichte und die Schloßbergfichte. So wurden z. B. im Jahre 1986 393 000 Steckreiser geschnitten, wovon 255 000 ausschließlich der Generhaltung dienten.

Zur Selektion vitaler Fichten im Schadgebiet

Das Gebiet der Auswahl, welches sich zu Beginn nur auf das mittlere Erzgebirge konzentrierte, wurde mit dem territorialen Ausbreiten des Schadgebietes immer weiter gefaßt und letztendlich bis zum Riesengebirge erweitert.

Von 1985–1990 waren unter dem ständig zunehmenden Erfolgsdruck die folgenden Probleme bzw. Tendenzen zu verzeichnen:

1. Die autovegetative Vermehrbarkeit der ältesten Resistenzfichten wurde immer schwieriger.
2. Das Klonsortiment wurde wesentlich erweitert (Anzahl, Territorium).

3. Aufgrund der Probleme bei der Vermehrung älteren Klonmaterials wurde die Selektion in immer jüngere Altersstadien verlegt.
4. Bemühungen zur Rejuvenilisierung adulten Materials über In-vitro-Techniken schlugen fehl.
5. Mit dem jünger werden des selektierten Materials ging das Problem einher, daß damit das Risiko der Selektion hinsichtlich der sicheren Beurteilung der Feldresistenz immer größer wurde.

Parallel zu den Selektionen wurde das Material sowohl sofort für autovegetative Massenvermehrungen und zum Aufbau von Mutterquartieren

zumeist über die Pfropfung (Hochpfropfung) genutzt. Parallel hierzu erfolgt nach der Charakterisierung der Bewurzelungsfähigkeit in den Vermehrungsanlagen eine Prüfung des Wuchsverhaltens und der Resistenz in den entsprechenden Versuchsanlagen direkt im Schadgebiet.

In Anlehnung an die geschilderten Selektionen im SO₂-Schadgebiet vom Erzgebirge über das Isargebirge bis zum Riesengebirge erfolgte eine Duplizierung der gesamten Methodik auf das Gebiet mit

sogenannten neuartigen Schäden. Schrittweise wurde ab 1987/88 in Thüringen unter Leitung einer wissenschaftlichen Arbeitsgruppe der Abteilung für Forstwirtschaft beim Rat des Bezirkes Suhl, der Mitarbeit der Baumschule Zillbach und des neugegründeten FÜZ Suhl mit dem Aufbau eines entsprechenden Klonsortimentes begonnen. Es ist heute nicht bekannt, ob dieses Sortiment noch existiert. Die von Graupa aus selektierten Klone sind heute noch alle in entsprechenden Generhaltungsanlagen vorhanden.

Zu den Ersatzbaumarten

Ersatz- oder auch Alternativbaumarten sollten eine Alternative zur absterbenden Fichte bieten. Es war das Ziel, Übergangsbestände im Sinne eines Krisenmanagements für die Zeit aufzubauen, in der mit den hohen Immissionen, insbesondere von SO₂, noch zu rechnen sein würde. Unter diesem Blickwinkel ist es auch verständlich, daß je nach der angenommenen Länge dieser Zwischenzeit und der aktuellen Belastung der jeweiligen Region von Forstwirtschaftsbetrieb zu Forstwirtschaftsbetrieb unterschiedliche Strategien verfolgt wurden.

Unser Ziel war es hierbei, Alternativbaumarten zu prüfen und Voraussetzungen für eine effektive Vermehrung zu schaffen, die in sich die folgenden Punkte vereinen:

- Anbaueignung in den Hoch- und Kammlagen der Mittelgebirge,

- hoher Grad der Immissionsresistenz,
- möglichst frühe Übernahme ökologischer Funktionen,
- Produktion von verwertbaren Holzsortimenten.

Damit stand die Erhaltung einer Waldvegetation im Mittelpunkt der Bemühungen. Die Nutzfunktion im Sinne von Holznutzung trat in den Hintergrund, wurde aber trotzdem noch berücksichtigt.

Das Spektrum der bearbeiteten Baumarten war in Qualität und Quantität sehr differenziert. Bei einigen Arten wurden echte Züchtungsarbeiten (Aspe, Douglasie, Lärche, teilweise Kiefer) geleistet. Bei anderen erfolgten ausschließlich Selektionen auf dem Niveau von Populationen bzw. auch von Einzelbäumen. Im folgenden kann nur ein kurzer Überblick gegeben werden.

Aspe

Seit Beginn der Existenz der Graupaer Züchtungsforschung wurde mit Aspe gearbeitet. Sie war die Modellbaumart der Forstpflanzenzüchtung. Ursachen hierfür dürften u. a. die leichte Vermehrbarkeit über die Kreuzung (Wasserglasmethode) sein. Im Bezug zur Rauchschadensproblematik wurden Gebirgsaspenhochzuchtsorten (*siehe abschließenden Forschungsbericht von SCHMIEDEL 1988*) entwickelt, die Vorwaldfunktionen in den Hoch- und Kammlagen übernehmen können. Es gibt eine große Zahl von entsprechenden Beispielen in den Schadgebieten. Ab Mitte der 80er Jahre wurde ein praxisreifes In-vitro-Vermehrungsverfahren in Waldsiedersdorf in der dortigen Abteilung Grund-

lagenforschung entwickelt (MATSCHKE 1985). Auch hier war die Aspe die Modellbaumart. Es entstanden Anbauversuche zur Prüfung von in vitro vermehrten Klonen.

Gleichzeitig entstand aber auch ein Problem. Im Zuge der Entwicklung des Verfahrens zur In-vitro-Vermehrung kamen neben den in generativen Nachkommenschaftsprüfungen selektierten Bäumen auch Klone unterschiedlichster Herkunft und Art (verschiedene Pappelarten und deren Hybriden) zum Einsatz, die trotz fehlender Klonprüfung auch massenhaft vermehrt wurden. Verschiedene StFB mußten diese Pflanzen, trotz des hohen Pflanzen-

preises und nicht geprüfter Eigenschaften, zum Anbau bringen. Dieser Druck hat der Aspe und ihrer Akzeptanz in der forstlichen Praxis eher geschadet als genutzt. Hinzu kam, daß über die Kreuzung auf generativem Wege in Graupa

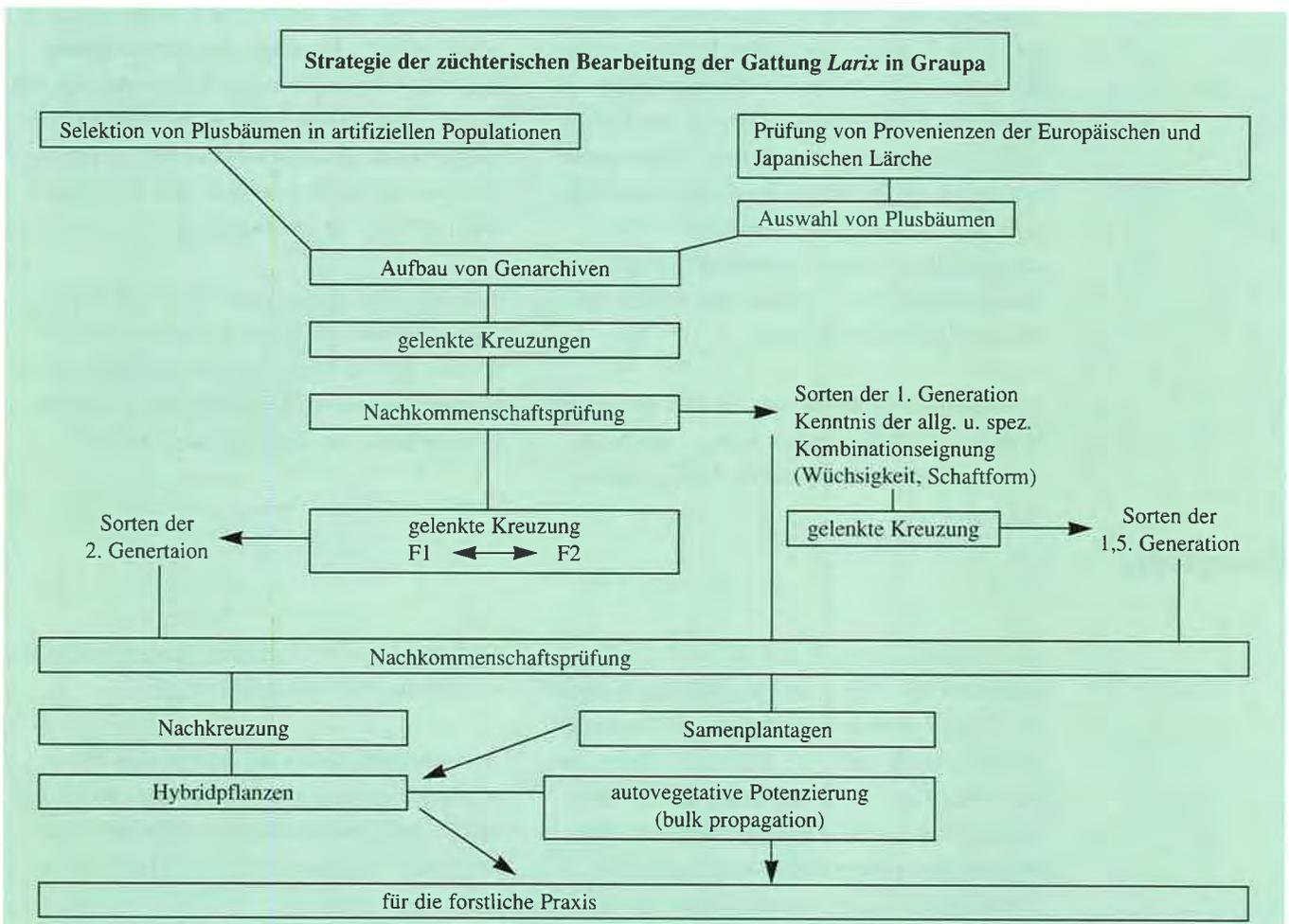
Pflanzen mit weit geringerem Aufwand und geprüfter genetischer Wertigkeit produziert werden konnten. Eine Zusammenfassung des Standes der züchterischen Bearbeitung der Aspe findet sich bei BRANDT 1994.

Lärche

Bei einer Wichtung der Intensität der Bearbeitung von Ersatzbaumarten würden die Lärchen und ihre Hybriden den ersten Platz einnehmen. Seit Mitte der 50er Jahre wird neben der Provenienzforschung eine gezielte Kreuzungszüchtung durchgeführt.

Die Ergebnisse sind zweifellos beeindruckend. Es wurden Sorten gezüchtet, die auch bereitgestellt werden können, die in den Hoch- und Kammlagen anbaufähig sind und unter diesen Bedingungen neben der Erfüllung ökologischer Funktionen auch Holz produzieren.

Eine Zusammenfassung der bisherigen Ergebnisse einschließlich der Sortenbeschreibung findet sich bei HERING und BRAUN 1990 und im Merkblatt „Hybridlärchen-Anbau“ der Sächsischen Landesanstalt für Forsten. Neben den züchterischen Arbeiten wurde ab 1985 der Aufbau von Hybridlärchen-Samenplantagen forciert. Heute existieren 55 ha entsprechender Plantagen. Aufgrund genetischer Analysen sind wir heute in der Lage, den Hybridanteil der jeweiligen Ernte in diesen Plantagen zu bestimmen. Zusätzlich existiert ein praxisreifes Verfahren zur autovegetativen Vermehrung geprüfter Familien.



In den Jahren nach 1985 waren wir nie in der Lage, den Bedarf an Hybridlärchenmaterial zu decken. Heute steht in ausreichendem Maße Saat- und

Pflanzgut dieser Sorten zur Verfügung, aber der Bedarf ist aufgrund m. E. übertriebener Bedenken gegenüber fremdländischen Baumarten sehr gering.

Kiefer

Über die Erfahrung beim Anbau verschiedener Kiefernarten in den Schadgebieten wird in diesem Heft gesondert berichtet. Aus diesem Grund hier nur ein kurzer Überblick.

Die einheimische Gemeine Kiefer wurde ab Mitte der 70er Jahre bis 1985 nicht mehr in Graupa bearbeitet. Entsprechend dem Schwerpunkt früherer Aktivitäten existieren auch heute noch umfangreiche Genarchive bzw. Pflanzsammlungen, zumeist von Auslesebäumen der Höhenkiefer in Graupa.

Erst mit der Gründung des FÜZ 1985 kamen die gesamten, zwischenzeitlich nach Waldsiedersdorf ausgelagerten Unterlagen zurück und es erfolgte eine intensivere Bearbeitung dieser Baumart. Schwerpunkte bildeten hierbei die Prüfung von Samenplantagen-Nachkommenschaften im Schadgebiet, die Erhaltung gefährdeter Reliktvorkommen der Höhenkiefer (z. B. Schmiedeberger Höhenkiefer) und Hybridisierungen sowohl innerhalb als auch zwischen verschiedenen Arten, insbesondere mit der Spirke. Es entwickelte sich in diesem Zeitraum eine intensive Zusammenarbeit mit den tschechischen Kollegen, insbesondere Herrn Karel Kanjak in Sofronka bei Pilsen, dem wohl größten Kiefern-Aboretum in Europa.

Ein besonderes Interesse galt – aus den praktischen Erfahrungen im Schadgebiet heraus – den fremdländischen Kiefernarten. Mit der Murraykiefer

wurde in Graupa seit geraumer Zeit gearbeitet, es existiert eine Vielzahl entsprechender Provenienzversuche. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Arbeiten wurde in Waldsiedersdorf eine Samenplantage aufgebaut, die heute noch existiert und auch reichlich fruktifiziert. Eine weitere Samenplantage befindet sich im Forstamt Görlitz. Diese wurde 1994 als Ergebnis einer Bestandesnachkommenschaftsprüfung angelegt.

Zunehmendes Interesse galt aber auch der Rumelischen Kiefer. Ausgangspunkt der Überlegungen waren vitale Altbäume in den extremen Rauchschadgebieten (Altenberg). 1986 war es uns möglich, mit eigenen Mitarbeitern eine Sammelexpedition zur Gewinnung von genetischem Material in Bulgarien durchzuführen. Aus dem Pirin- und Rilagebirge kamen so Reiser nach Graupa, die hier gepfropft und zum Aufbau von Samenplantagen genutzt wurden. Aus diesen Arbeiten entstanden insgesamt 4 Samenplantagen. Dabei handelt es sich um ein außerhalb von Bulgarien wohl einmaliges genetisches Material. Es bleibt zu hoffen, daß dieses Material nicht verlorengeht, denn die Anlagen liegen teilweise im Treuhandwald.

Neben der *Pinus peuce* wurde von dieser Expedition gleichzeitig Material der Schwarzkiefer und der sehr seltenen *Pinus leucodermis* (Schlangenhautkiefer) geerntet. Die entstandenen Pflanzlinge stehen heute in den Graupaer Genarchiven.

Douglasie

Die Douglasie gehört als eine der wichtigsten fremdländischen Arten nur bedingt in das Spektrum der Ersatzbaumarten. Insbesondere die Kreuzungszüchtung wurde nach 1985 intensiviert. Neben den bekannten Partnern mit hervorragender Kombinationseignung aus den Kreuzungsserien der 60er Jahre wurden weitere Bäume einbezogen. Die Kreuzungen erfolgten zumeist in den Kronen der

Altbäume. Über die Ergebnisse dieser Serien wird u. a. bei BRAUN (1996) berichtet.

Demonstrationsflächen mit Hybridsorten in den Schadgebieten unterstreichen die hohe Vitalität und damit Anbaueignung auch unter diesen extremen Bedingungen. Sie sind der Fichte deutlich überlegen.

Neben den Kreuzungsarbeiten wurde eine Serie mit Nachkommenschaften einheimischer Bestände aufgebaut (BRAUN, H.; WEISSER, F., 1993).

Erste Ergebnisse dieser Prüfungen, insbesondere zu den in den Schadgebieten als geeignet eingestuften Populationen, werden in Form von Sämlings-samenplantagen überführt.

Fremdländische Fichtenarten

Bei den fremdländischen Fichtenarten konzentrierten sich die Arbeiten in Graupa auf die Species, bei denen ein gewisser Selektionsansatz gegeben war. Insofern wurden hier die umfangreich angebauten Arten *Picea omorika* und *Picea pungens* nicht bearbeitet.

Interessant erschienen Arten wie *Picea glauca* (Schimmelfichte) und *Picea mariana* (Schwarzfichte). Es zeigte sich im Ergebnis von Nachkommenschaftsprüfungen, daß es innerhalb der Arten erhebliche Unterschiede hinsichtlich der

Resistenz gegenüber den SO₂-Immissionen zu geben schien. Für *Picea glauca* wurde mit der Herkunft Sundrige mit dem Aufbau von Samenplantagen begonnen.

Für *Picea mariana* erfolgte im Jahr der politischen Wende und den damit verbundenen Möglichkeiten der Kontakte mit kanadischen Fachkollegen der Aufbau einer neuen Anbauserie mit verschiedenen Provenienzen (5 Flächen mit insgesamt 42 Bestandesnachkommenschaften aus Quebec, Ontario und New Brunswick).

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag sollte die Zeit des Forschungs- und Überleitungszentrums (FÜZ) in Graupa beleuchten. Dieses FÜZ existierte vom 01.01.1985 bis zum 30.06.1991.

Die Gründung war in erster Linie ein Ergebnis der katastrophalen Waldschäden. Ihre Motivation nahmen die Mitarbeiter aus ihrem Willen, etwas gegen diese Schäden zu unternehmen. Diese Gegenmaßnahmen der Forstwirtschaft, gepaart mit Bodenmelioration und speziellen waldbaulichen Strategien, konnten und können das Waldschadensproblem nicht lösen, dazu bedarf es einer drastischen Reduktion der schädlichen Emission. Das gilt im übrigen heute genauso wie in der Zeit des FÜZ.

Oft anzutreffende Vorstellungen, in Graupa seien resistente (= immune) Bäume im Sinne von einem Jonglieren mit Genen gezüchtet

worden, sind genauso abenteuerlich wie falsch. Es wurden Bäume und Populationen ausgewählt, geprüft und gegebenenfalls vermehrt, die sich durch eine höhere Vitalität in den Schadgebieten auszeichneten.

Insofern wissen wir heute im Ergebnis dieser Arbeiten sehr viel mehr über eine Vielzahl von Bäumen und Populationen sowie Arten. Oft sind diese so erhaltenen Bäume und Populationen die einzigen noch existierenden aus dem Schadgebiet – ein Fundus, der im Sinne der Erhaltung des genetischen Potentials der Waldbäume, nicht hoch genug zu bewerten ist.

Sollten wirklich entscheidend geringere Immissionen ein normales waldbauliches Management in diesen Gebieten wieder zulassen, so steht auch aus diesen Arbeiten das genetisch autochthone Material jederzeit zur Verfügung.

Wege und Irrwege der Immissionsresistenzzüchtung

O. TZSCHACKSCH

1 Einleitung

Wenn nach einer Periode intensiver Forschung rückschauend zur Immissionsproblematik Stellung genommen wird, so geschieht dies, um aus dem historischen Verlauf der Immissionsschäden in Sachsen und den getroffenen Maßnahmen zur Minderung der Schäden auf Wege und Irrwege hinzuweisen. Ferner soll auf die züchterischen Maßnahmen aufmerksam gemacht werden, die mit dazu beitragen können, unter den neuen Standortbedingungen einen naturnahen Wirtschaftswald zu schaffen.

2 Erste Rauchschäden in den Wäldern des Erzgebirges

Bereits der Name Erzgebirge weist auf reiche Erzvorkommen hin, die schon im Mittelalter genutzt wurden. Neben reichen Silberfunden um 1170 wurden Blei-, Zink-, Zinn- und Eisenerze abgebaut und zumeist in unmittelbarer Nähe verhüttet. Dies geschah in den oft recht engen Waldtälern und führte an den Prallhängen zu den ersten lokalen Rauchschäden, die aber infolge des Waldreichtums ohne wirtschaftliche Bedeutung blieben. Nur wenige Produktionsstätten aus dieser Zeit entwickelten sich zu Emittenten, die später zu stärkeren Waldschäden führten (z. B. um Freiberg), und gaben Anlaß, erste Untersuchungen zur Vermeidung bzw. Minderung der Schäden einzuleiten.

Das Bestreben, Immissionsschäden durch technische Maßnahmen zu verhindern, ist nicht neu. So berichtet KÖNIG (1924), daß bereits nach 1845 in Muldenhütten bei Freiberg Bemühungen einsetzten, um aus den Abgasen schweflige Säure zu gewinnen, es aber bereits damals zweifelhaft erschien, die Abgase jemals restlos vom Schadgas zu befreien. Selbst ein Preisausschreiben des Königlich Sächsischen Finanzministeriums von 1908 für Maßnahmen zur Verhütung von Rauchschäden in der Land- und Forstwirtschaft brachte keine befriedigende Lösung (ANONYMUS 1913).

So ist die Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) in Nähe der Verhüttungsanlagen weiterhin zum Tode verur-

teilt geblieben und wird selbst in ca. 6 km vom Emittenten (Tharandter Wald) noch sichtbar geschädigt.

In dieser Zeit begann auch die Suche nach Ersatzbaumarten für die in unmittelbarer Nähe der Emittenten ausfallende Fichte. Umfangreiche Versuchsanbauten mit verschiedenen Laub- und Nadelbaumarten führten zu den ersten Ergebnissen (KÖNIG 1924), die aber mit den Resistenzreihen der SO₂-Begasungen (WISLICENUS 1914) wenig Übereinstimmung aufweisen.

Diese erste Periode der Suche nach wirksamen Gegenmaßnahmen der noch stark begrenzten Immissionsschäden findet zwar keinen direkten Abschluß, wird aber durch die Wirtschaftskrise und die beginnende Aufrüstung sowie den 2. Weltkrieg aus dem Blickfeld der Menschen verdrängt.

3 Auswirkungen der industriellen Revolution nach 1945

Waren die bisherigen Waldschäden von lokaler Bedeutung, so führte der wirtschaftliche und technische Aufschwung nach 1945, der nicht nur die Industrie, sondern auch den kleinsten Haushalt erfaßte, zu einem enormen Anstieg des Verbrauchs an Elektroenergie. Es entstehen immer leistungsfähigere Kraftwerke, die zur Energiegewinnung schwefelhaltige Kohle verbrennen. Ein besonders krasses Beispiel in Mitteleuropa sind die im Egertal konzentrierten Kraftwerke und Industrieanlagen, deren Emissionen als „Böhmischer Nebel“ bekannt sind und die infolge der 300 m hohen Schornsteine sowie der Orographie und Hauptwindrichtung bis in die Kammlagen des Erzgebirges wirksam werden. Durch diesen industriellen Aufschwung, der sich in dieser Zeit auf alle industriell hochentwickelten Staaten erstreckt, tritt ein beachtlicher Anstieg der globalen SO₂-Emission ein, der von 10 Mio. Tonnen im Jahre 1950 auf 25 Mio. Tonnen im Jahre 1970 geschätzt wird. Ähnlich rasant stiegen auch die NO_x-Emissionen (WENTZEL 1982).



Abb. 1:
Durch phytotoxische Immissionen stark geschädigter Fichten-Bestandesrand im Revier Seiffen

3.1 Beginn des Absterbens der Fichte in den Kammlagen des Erzgebirges

Im tschechischen Teil des Erzgebirges sind seit etwa 1947 an den Fichten okular sichtbare Nadel-schäden zu beobachten, die nach dem Schadwinter 1956/57 durch Braunfärbung der Nadeln in den Kammlagen die Abgrenzung der Schadgebiete ermöglichen (MATERNA 1962). Im östlichen Teil des oberen Erzgebirges ermittelt PELZ (1962) erhebliche Absterbeerscheinungen in den Fichtenwäldern, für die als Verursacher die Emittenten im Nordböhmischen Becken festgestellt werden. Nach dem Schadwinter 1956/57 nehmen die Waldschäden im oberen Erzgebirge von Jahr zu Jahr zu. Im Gebiet von Seiffen/Deutscheinsiedel beginnen Waldmäntel abzusterben (vgl. Abb. 1), auf Kuppen und Mooren fällt die Fichte aus. In den Kammlagen beginnt das großflächige Absterben der Fichte.



Abb. 2:
Fichtenbestand mit Nadelschäden nach Spätfrost mit vitaler, weitgehend resister Fichte im Revier Deutscheinsiedel, etwa 750 m NN

Als erste Abwehrmaßnahme werden an den Bestandesrändern Schutzstreifen mit Blaufichte angelegt, die dahinterliegende Fichtenbestände schützen sollen. Sie bleiben aber infolge des schnellen

Schadfortschritts wirkungslos. Bereits um 1970 ist die Differenzierung in den Fichtenwäldern der Reviere Seiffen, Deutscheinsiedel und Oberloch-

mühle so weit fortgeschritten, daß die individuellen Resistenzunterschiede deutlich sichtbar werden (vgl. Abb. 2).

3.2 Wege zur Erhöhung der Immissionsresistenz

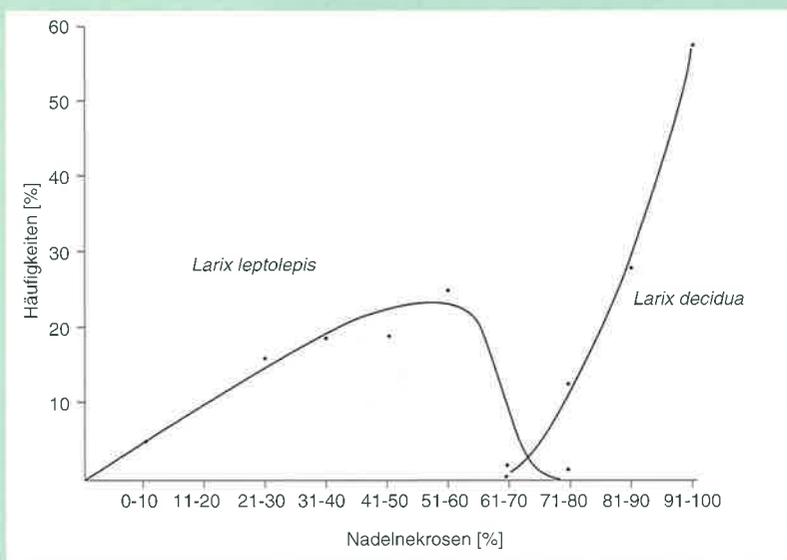
Bereits 1951 wies KRÜGER darauf hin, daß es verwunderlich ist, warum man „das Instrument der Pflanzenzüchtung, mit dem man auf anderen Gebieten erstaunliche, umwälzende Erfolge erzielt hat, nie eingesetzt hat, um Spielarten der Kulturpflanzen zu gewinnen, die gegen die schädlichen Wirkungen des Rauchgases oder wenigstens gewisser Bestandteile desselben resistent sind“. ZIEGER (1956/57) geht sogar noch weiter und schreibt: „Der künftige Wald der mitteldeutschen Industriegebiete wird sich nur behaupten können, wenn er überwiegend aus rauchharten Populationen zusammengesetzt ist.“

Zur Erhöhung der Resistenz der Fichte selbst zeichneten sich zunächst zwei Wege ab:

1. die Selektion durch künstliche Begasung
2. die Selektion resistenter Fichten im Immissions-schadgebiet.

Da für diese Arbeiten fast jeglicher wissenschaftlicher Vorlauf fehlt, der schnelle Schadfortschritt im oberen Erzgebirge aber dringend praxiswirksame Ergebnisse fordert, entsteht hier eine Zwangssituation: Grundlagenforschung und angewandte Forschung müssen fast gleichzeitig und unter dem Druck des schnellen Schadfortschritts erfolgen.

Abb. 3:
Häufigkeitsverteilung
der Nadelnekrosen von
Populationen der *Larix
leptolepis* und *Larix
decidua* nach SO_2 -
Begasung 1968



3.2.1 Die Selektion resistenter Pflanzen durch künstliche Begasung

Im Erzgebirge ist das bei der Kohleverbrennung freiwerdende Schwefeldioxyd die Hauptschadkomponente. (Neuartige Waldschäden waren hier zunächst von untergeordneter Bedeutung.) Es lag deshalb nahe, durch SO_2 -Begasungen Pflanzen mit erhöhter Resistenz zu selektieren. Die Methoden unterscheiden sich im Prinzip nicht wesentlich von denen, die WISLICENUS bereits 1914 anwandte, sie wurden nur den derzeitigen technischen Möglichkeiten und Erfordernissen angepaßt. In Graupa werden Schnellteste entwickelt, die sich auf Stoßbegasung mit hohen SO_2 -Konzentrationen stützen (VOGL, BÖRTITZ, POLSTER 1964; VOGL et al. 1972). Diese Schnellteste arbeiten sowohl mit intakten Pflanzen als auch mit abgeschnittenen Zweigen älterer Bäume. Sie dienen anfangs der Ermittlung der Resistenz von Ersatzbaumarten und führten zu beachtlichen Unterschieden zwischen den Herkünften dieser Baumarten. So konnte u. a. nachgewiesen werden, daß Herkünfte der *Larix leptolepis* (Gord.) aus den vulkanischen Gebieten Japans bei SO_2 -Begasung eine höhere Nadelresistenz aufweisen als solche aus vulkanfernen Gebieten (VOGL, SCHÖNBACH, HAEDICKE 1968). In den Vulkangebieten haben demnach die natürlichen Standortbedingungen, zu denen auch die schwefelhaltigen Gase der Vulkane gehören, bereits auf hohe SO_2 -Resistenz selektiert. Es ist deshalb nicht überraschend, daß sich die Arten *Larix leptolepis* und *Larix decidua* in der Nadelresistenz streng voneinander unterscheiden (vgl. Abb. 3).

Signifikante Unterschiede in der SO_2 -Resistenz waren auch zwischen den Herkünften der *Pinus contorta* (Douglas) nachzuweisen. Herkünfte aus den kontinentalen Trockengebieten sind resistenter als solche aus den feuchten küstennahen Gebieten Kanadas (TZSCHACKSCH, VOGL, THÜMLER 1969). Weiterhin zählen bei der Fichte hochnordische Herkünfte und solche aus Hochlagen zu den resistentesten (TZSCHACKSCH, WEISS 1972).

Diese Ergebnisse stärkten das Vertrauen zu den Resultaten künstlicher Begasung und gaben Anlaß, auch zwischen heimischen Saatgutbeständen auf erhöhte SO_2 -Resistenz zu selektieren. Das hatte

u. a. den Vorteil, daß von geeigneten Saatgutbeständen vorhandenes Saatgut sofort für die Aufforstung in den geringer geschädigten Waldgebieten eingesetzt werden konnte.

Nach dem Schadwinter 1956/57 wurden vielerorts Zusammenhänge zwischen Immissionsschäden und Frostschäden beobachtet (WENTZEL 1956; HUBER 1956; ZIEGER et al. 1958 – zitiert bei PELZ 1968 – sowie MATERNA 1978). Solche Schadwinter bestimmen in den Immissionsschadgebieten den Schadfortschritt am stärksten. Sie sind u. a. dadurch gekennzeichnet, daß nach milden Witterungsperioden plötzlich starke Spätfröste folgen, was im oberen Erzgebirge nicht selten ist. Für die hierdurch entstehenden Nadelschäden sind vor allem die Stabilität der Frosthärte und das Rückhärtevermögen von Bedeutung (VOGL et al. 1972; RANFT et al. 1978). Die Selektion von Fichtenpopulationen stützt sich deshalb ab 1970 nicht nur auf hohe SO₂-Resistenz, sondern schließt die Prüfung auf hohe Stabilität der Frosthärte und schnelles Rückhärtevermögen ein.

3.2.2 Zur Selektion resistenter Fichten im Immissionsschadgebiet

Die starke Differenzierung innerhalb der Fichtenbestände im oberen Erzgebirge Ende der sechziger Jahre machten beachtliche Resistenzunterschiede deutlich. Neben völlig abgestorbenen Fichten wuchsen solche, die äußerlich gesund erschienen und kaum Nadelschäden erkennen ließen (vgl. Abb. 4).

Diese sogenannten Resistenzfichten* zeichnen sich durch einen beachtlich hohen Radialzuwachs aus (TZSCHACKSCH 1977). Eingehende Untersuchungen (TZSCHACKSCH, HAASEMANN 1989) weisen nach, daß die weniger vitalen Fichten (5/10 bzw. 2/10 der Nadelmasse der Resistenzfichten), die in immissionsfreien Zeiten den höchsten Radialzuwachs erreichen, gegenüber den Resistenzfichten bereits vor 1945 statistisch gesicherte Zuwachsverluste erlitten, obwohl zu dieser Zeit noch keine okular sichtbaren Nadelschäden erkennbar waren. Bei diesen

* Das sind Fichten, die nach mehr als 20jähriger Einwirkung phytotoxischer Immissionen mit hoher Nadelresistenz selektiert wurden. (Resistenz bedeutet stets erhöhte Widerstandskraft im Vergleich zu vergleichbaren Nachbarbäumen.)



Abb. 4: Stark geschädigter Fichtenbestand mit resistenter Fichte (mit Wipfelbruch) im Revier Deutscheinsiedel, etwa 760 m NN

sensitiven Fichten führte der vorübergehende Ausfall der Emittenten zu Kriegsende wieder zu einem deutlichen Anstieg des Radialzuwachses, der aber mit der Wiederinbetriebnahme der Industrieanlagen im Egertal bereits nach 1950 immer stärker die Werte von vor 1945 unterschreitet (vgl. Abb. 5).

Für die waldbauliche Nutzung der Resistenzfichten ist besonders wichtig, daß diese bereits bei der sehr geringen Immissionsbelastung vor 1945 (keine okular sichtbaren Nadelschäden) gegenüber den

Abb. 5: Relativer Radialzuwachs der sensitiven Vergleichsfichten gegenüber den Resistenzfichten im Revier Seiffen

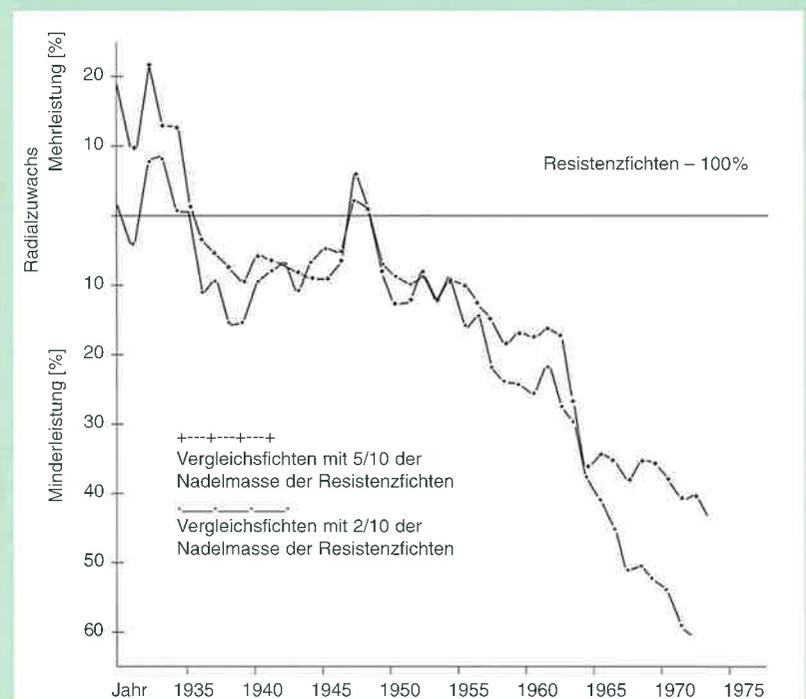


Abb. 6 a:
Junge Resistenzfichte vor dem Schadwinter 1976/77 im Revier Seiffen (am Kupferweg), etwa 720 m NN



Abb. 6 b:
Die gleiche Resistenzfichte nach dem Schadwinter 1976/77, der zu stärksten Nadel-schäden an den Nachbarfichten führte

sensitiven Fichten einen höheren Radialzuwachs realisieren. Durch die nach 1950 zunehmende Immissionsbelastung wird infolge der stärkeren Schädigung der sensitiven Fichten die Überlegenheit des Radialzuwachses der Resistenzfichten immer deutlicher (vgl. Abb. 5).

Diese Resistenzfichten für züchterische Ziele zu nutzen, war angesichts der im oberen Erzgebirge absterbenden Fichtenwälder keine Frage, sondern eine Aufgabe, zumal die Fichte in diesen Lagen durch annähernd gleichwertige Baumarten nicht zu ersetzen ist. WENZEL (1967) hält die Züchtung einer relativ widerstandsfähigen Fichtensorte auch

dann noch für vertretbar, wenn sie die Widerstandskraft der standortangepaßten Laubhölzer nicht erreicht.

Im Schadgebiet des oberen Erzgebirges gibt es viele Standorte, auf denen der Mitbau einer Fichte mit erhöhter Immissionsresistenz nicht nur wirtschaftlich, sondern auch landeskulturell von Bedeutung ist. Aus diesen Gründen wurden in den am stärksten durch Immissionen geschädigten Fichtenbeständen der Reviere Seiffen, Deutschein-siedel und Oberlochmühle in der Zeit von 1974 bis 1979 Resistenzfichten ausgewählt, zuerst in älteren Beständen, später auch in Stangenhölzern und Dickungen. Dies geschah besonders nach Schad-wintern, die infolge der starken Differenzierung zwischen den Fichten eine leichtere und sichere Selektion ermöglichen (vgl. Abb. 6 a und 6 b).

Da die Belastungsfaktoren von Jahr zu Jahr in qua-litativ und quantitativ unterschiedlicher Wirksamkeit vorliegen, ist die Ausprägung der Resistenz um so sicherer, je länger die selektierten Fichten den Immissionen ausgesetzt waren. Um das Resistenz-verhalten der selektierten Fichten bei fortschreiten-der Immissionsbelastung zu ermitteln, bonitierten wir die Vitalität (Nadelresistenz) der Resistenzfich-ten bei der Auswahl und in den folgenden Jahren besonders nach Schadwintern mit den Noten 1 (keine sichtbaren Nadelschäden) bis 6 (alle Nadeln abgestorben).

Die in den älteren Beständen selektierten Resi-stenzfichten (über 300) wurden zunächst außerhalb des Schadgebietes in Mutterquartieren gesichert, in denen später die Pflanzfreier für die Anlage von Klonprüfungen und Samenplantagen sowie Steckreiser für die autovegetative Vermehrung gewonnen wurden. Ältere Fichten sind jedoch für die autovegetative Vermehrung nicht oder nur wenig geeignet. Vor allem deshalb wurden in den am stärksten durch Immission geschädigten Dickungen und Stangenhölzern jüngere Resistenz-fichten (über 250) selektiert, mit denen in Forst-revierern außerhalb des Schadgebietes umfangreiche Klonsammlungen angelegt wurden. Die Bewurze-lungsergebnisse der in diesen Klonsammlungen gewonnenen Steckreiser waren jedoch für die Massenvermehrung unzureichend, so daß diese Arbeiten weitgehend eingestellt werden mußten.

3.2.3 Zur Übereinstimmung der Resistenz im Immissionsschadgebiet mit den Ergebnissen künstlicher Begasungen

Resistenzprüfungen im Labor oder ähnlichen Anlagen sollen mit den Ergebnissen der Feldversuche übereinstimmen, solange man innerhalb einer Koniferenart oder -gattung vergleicht (ROHMEDER et al. 1962; ENDERLEIN, VOGL 1966; DÄSSLER 1967). Bei Kiefer (insbesondere bei *Pinus silvestris*) besteht jedoch im Immissionsschadgebiet des oberen Erzgebirges keinerlei Übereinstimmung zwischen der Feldresistenz und den Ergebnissen künstlicher Begasungen, der sog. Laborresistenz (TZSCHACKSCH 1987). Für die Fichte liegen hierfür erste Hinweise von LUX (1983) vor, die durch eingehende Untersuchungen mit unterschiedlicher Versuchsmethodik bestätigt werden. So besteht zwischen den Prüfzweigen von 34 Pflanzspärchen, die mit Pflanzreisern von Fichten hoher und sehr geringer Feldresistenz außerhalb des Schadgebietes hergestellt wurden und bei denen der Einfluß der Pflanzunterlage eliminiert werden konnte, nach SO₂-Begasung keinerlei Zusammenhang zwischen der Laborresistenz und der Feldresistenz ($r = 0,025$).

Ein analoges Ergebnis erhält man, wenn von den Fichten hoher Feldresistenz der Korrelationskoeffizient zwischen den Bonitierungsnoten der Feldresistenz und den Nadelnekrosen der Laborresistenz berechnet wird ($r = 0,028$). Damit ist eindeutig bewiesen, daß auch bei der Fichte kein Zusammenhang zwischen der Laborresistenz und der Feldresistenz besteht. Daß die Ergebnisse der Laborprüfungen nicht unbedingt mit den Ergebnissen der Feldversuche übereinstimmen müssen, darauf weisen auch andere Autoren hin (JENSEN et al. 1976; KARNOSKY 1983; u. a.). Demnach hat sich die Selektion mittels künstlicher Begasungen für die Nutzung der Ergebnisse für Aufforstungen in den Immissionsschadgebieten als Irrweg erwiesen.

Die im Immissionsschadgebiet gegebenen Belastungsfaktoren, die von Jahr zu Jahr in qualitativ und quantitativ unterschiedlicher Zusammensetzung vorliegen, sind auch mit den technisch modernsten Instrumentarien nicht zu reproduzieren, zumal sich die Ausprägung der Feldresistenz durch die jahrelange bzw. jahrzehntelange Einwirkung



phytotoxischer Immission vollzieht. Hierzu gehört auch der bisher kaum beachtete unterschiedliche Einfluß der Sonnenaktivität, der das Wachstum der Bäume (TZSCHACKSCH, HAASEMANN 1989) und deren Vitalität offensichtlich durch Störung des Erdmagnetfeldes beeinflusst (FISCHER 1993). Das bedeutet nicht, daß die Ergebnisse künstlicher Begasung auch für die Klärung von Teilfragen (z. B. Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung) unbrauchbar wären, im Gegenteil: Für die Ermittlung vieler kausaler Zusammenhänge sind sie zumeist unentbehrlich, und hier haben die Ergebnisse künstlicher Begasung zu wertvollen Erkenntnissen beigetragen, die u. a. auch die Grenzen ihrer Aussagekraft nachweisen.

3.2.4 Weitere züchterische Maßnahmen zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Fichte gegenüber phytotoxischen Immissionen

Wie bereits WENTZEL (1963) feststellte, sind Züchtungsmaßnahmen zur Erhöhung der Immissionsresistenz „nur für empfindliche, in größtem Umfang betroffene und zugleich betriebswirtschaftlich oder kulturell schwer entbehrliche Pflanzen sinnvoll. Das sind bei realer Betrachtung in Europa lediglich Fichte und Kiefer.“ Für die Fichte im oberen Erzgebirge trifft dies nicht nur in vollem Umfang zu, sondern hier bestehen wie in keinem anderen Gebiet Mitteleuropas auch die realen Voraussetzungen für solche Züchtungsmaßnahmen. Bei der Kiefer sind im oberen Erzgebirge Maßnahmen zur Erhöhung der Resistenz nicht erforderlich, da

Abb. 7:
Pinus silvestris am Rande eines Hochmoores nach über 20jähriger Einwirkung phytotoxischer Immissionen mit Resten der vor Jahren abgestorbenen Fichten im Revier Deutschein-siedel, etwa 725 m NN



Abb. 8:
Kreuzungsnachkom-
menschaft von Resi-
stenzfichten (rechts im
Bild) im Anbau mit
Fichtenprovenienzen
im Revier Neudorf bei
Oberwiesenthal, etwa
850 m NN

sie auch auf ungünstigem Standort (am Rande eines Hochmoores), auf dem die Fichte zuerst ausfiel, bis heute äußerst vital geblieben ist (vgl. Abb. 7).

Der zur Zeit aussichtsreichste Weg zur Erhöhung der Immissionsresistenz der Fichte ist die generative Vermehrung der im Schadgebiet des oberen Erzgebirges selektierten älteren Resistenzfichten, die durch Pflanzlinge sowohl in Klonsammlungen als auch in Samenplantagen und Klonprüfungsanlagen vorhanden sind.

Abb. 9:
Stark fruktifizierende
Resistenzfichten in der
mittels Hochpfropfung
angelegten Klon-
prüfung im Revier
Sayda, Aufnahme 1995

Die Nutzung solcher Anlagen für die generative Vermehrung erfordert aber einen Vorlauf (10 Jahre und mehr) bis die Pflanzlinge wenigstens z. T. männlich und weiblich blühen. Dieser Vorlauf fehlte anfangs. Um die Zeit bis zum Beginn der Fruktifikation der Pflanzlinge zu nutzen, wurden 1983 im Schadgebiet Deutscheinsiedel/Seiffen erste gelenkte



Kreuzungen auf den vereinzelt blühenden Resistenzfichten hergestellt. Die Pflanzenausbeute dieser Kreuzungen war jedoch sehr gering, deshalb wurden die erhaltenen Pflanzen u. a. auch für die autovegetative Potenzierung genutzt (TZSCHACKSCH et al. 1983). Durch Ausfall des Bearbeiters konnten diese Arbeiten nicht weitergeführt werden, obwohl auch BRAUN und KOHLSTOCK (1990) die Richtigkeit dieser Züchtungsstrategie bestätigen. Die vorhandenen Nachkommenschaften der Kreuzungen wurden u. a. mit verschiedenen Fichtenherkünften in Versuchsanlagen im Immissionsschadgebiet ausgepflanzt. Sie überzeugen heute von der Richtigkeit des eingeschlagenen Weges (vgl. Abb. 8).

Fehlte anfangs der Vorlauf für eine massenwirksame Vermehrung der selektierten Resistenzfichten, so bleiben die inzwischen vorhandenen Möglichkeiten z. T. ungenutzt. Seit Jahren blühen in den umfangreichen Pflanzungsanlagen zunehmend immer mehr Klone der Resistenzfichten, die für die Herstellung gelenkter Kreuzungen genutzt werden könnten (vgl. Abb. 9).

In der in den Jahren 1985/86 im Schadgebiet des oberen Erzgebirges (Revier Sayda) mit fast allen älteren Resistenzfichten mittels Hochpfropfung eingeleiteten Klonprüfung können heute Klone gewünschter Resistenz für die Herstellung der Kreuzungen ausgewählt werden. Die mit solchen Partnern hergestellten Kreuzungsnachkommenschaften würden bei autovegetativer Potenzierung relativ kurzfristig verfügbar sein. Später könnten diese autovegetativ vermehrten Fichten durch generative Nachkommenschaften der Resistenzfichten aus Samenplantagen abgelöst werden. Dabei ist nicht daran gedacht, die Schadflächen im oberen Erzgebirge nur mit solchen Fichten zu bestocken. Dies wäre weder möglich noch sinnvoll; aber die gegebenen Möglichkeiten des Mitangebues von Fichten mit erhöhter Immissionsresistenz nicht zu nutzen, ist für mich unverständlich.

Jede natürliche Population paßt sich bei längerer Einwirkung veränderter Standortbedingungen den neuen Gegebenheiten an.

Dieser Vorgang der natürlichen Anpassung wird durch die im Immissionsschadgebiet erfolgte Selektion und weitere züchterische Maßnahmen nur wesentlich beschleunigt. Da hier stets von

Wildpopulationen ausgegangen wird und bei Waldbäumen Resistenzfaktoren in der Regel polygen bedingt sind, dürften diese, den natürlichen Prozeß der Anpassung an die neuen Standortverhältnisse unterstützenden Maßnahmen für die weitgehende Erhaltung der genetischen Vielfalt nicht von so entscheidender Bedeutung sein, daß die vorhandenen züchterischen Ergebnisse ungenutzt bleiben.

Die moderne Biogeökologie vertritt den Prozeß der natürlichen Selbstregulation. „Der Mensch soll nicht die Funktion der Biosphäre übernehmen, sondern der Biosphäre die Arbeit erleichtern, ... wenn die Natur in einer durch den Menschen veränderten Umwelt spezialisierte Waldbiogeozönosen schafft“ (SCHWARZ 1976). Nichts anderes wird hier vorgeschlagen, um der Fichte die Chance zu erhalten, das Waldbild der Zukunft im oberen Erzgebirge mit zu bestimmen.

4 Zur Problematik des Anbaues von Ersatzbaumarten im Immissions-schadgebiet des oberen Erzgebirges

Die wirksamste Maßnahme zur Minderung der Immissionsschäden war und wird auch in Zukunft der Bestockungswechsel sein. Bereits KÖNIG (1924), der sich mit der Minderung der Immissionsschäden im Gebiet von Freiberg/Muldenhütten befaßte, erkannte dies und führte umfangreiche Anbauversuche zur Ermittlung von Ersatzbaumarten durch. Er erkannte aber auch, daß es einen annähernd gleichwertigen Ersatz für die ausfallende Fichte nicht gibt.

Im oberen Erzgebirge stand die Forstwirtschaft in den Jahren nach 1960 vor einer weit schwierigeren Situation. Hier, in den Kammlagen des Erzgebirges, wurden besonders in den Jahren nach 1970 durch die Immissionen der im Egertal konzentrierten Kraftwerke und Industrieanlagen allein auf deutscher Seite bis 1990 etwa 8 000 ha Fichtenwald vernichtet (vgl. Abb. 10 a, 10 b). Diese riesigen Kahlfelder mußten in möglichst kurzer Zeit mit Ersatzbaumarten aufgeforstet werden. Hierbei waren die autochthone Eberesche und Moorbirke eine wertvolle Hilfe, sie mußten aber durch fremde Ersatzbaumarten ergänzt werden, da sie nicht flächendeckend wirksam waren (vgl. Abb. 11 a, 11 b).

Der Anbau von Ersatzbaumarten unter den gegebenen Standortbedingungen war und ist mit einem gewissen Risiko verbunden, da durch die großflächige Entwaldung die Biozönose nicht nur gestört, sondern zerstört wurde und die naturgegebenen Standortverhältnisse noch extremer gewor-



den sind. Unter solchen Bedingungen wird es stets günstig sein, die Ersatzbestockung mit mehreren, möglichst vielen geeignet erscheinenden Baumarten zu begründen (TZSCHACKSCH 1977). Ersatzbaumarten, die auf großer Fläche unter den genannten Gegebenheiten angebaut werden, können durch das Auftreten unbekannter Schadfaktoren unter Umständen letal geschädigt werden. Für den Anbau eines naturnahen Waldes, der diesem Aspekt und vor allem auch landeskulturellen Gesichtspunkten

Abb. 10 a:
Abgestorbener
Fichtenbestand in den
Kammlagen des Erz-
gebirges (Tschechien),
etwa 800 m NN,
Aufnahme 1981



Abb. 10 b:
Kahlfeld in den
Kammlagen des Erz-
gebirges (Tschechien),
etwa 800 m NN,
Aufnahme 1981



Abb. 11 a: ■ □
 Ebereschen-Vorwald
 mit einzelnen *Picea
 omorica*, im Hinter-
 grund ältere Lärchen-
 gruppe im Revier
 Seiffen, etwa 725 m
 NN



Abb. 11 b: ■ □
 Moorbirke auf Hoch-
 moor nach Ausfall der
 Fichte, entstanden
 nach wiederholter
 „Schneesaat“ im
 Revier Deutschein-
 siedel, etwa 720 m NN

Abb. 12: ■ □
 Lärchen-Versuchs-
 anbau mit 18jährigen
 Kreuzungsnach-
 kommenschaften im
 Revier Seiffen, etwa
 700 m NN



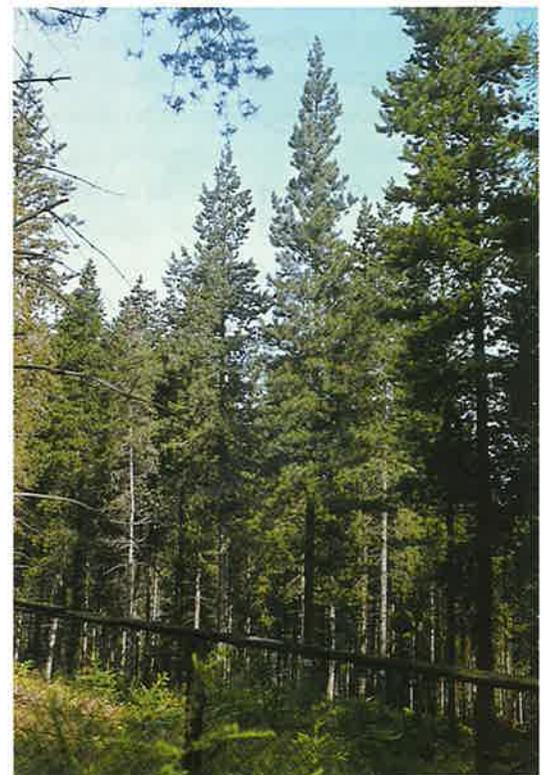
Abb. 13: □ ■
 Murraykiefer, 45jähri-
 ger Versuchsanbau mit
 der Herkunft „Sundre“
 im Revier Markersbach
 bei Königstein. Diese
 Herkunft hat sich im
 Erzgebirge bis 780 m
 NN bewährt

gerecht wird, sollte auch deshalb in Zukunft auf den Mitanbau der bisherigen natürlich vorkommen- den Hauptbaumart Fichte wenigstens in günstigen Lagen des Schadgebietes nicht völlig verzichtet werden. Daß dabei eine Fichte mit erhöhter Immissionsresistenz den größten Erfolg verspricht, ist unbestreitbar.

Über die Selektion von Ersatzbaumarten für Immissionsschadgebiete gibt es eine umfangreiche internationale Literatur, auf die hier nicht eingegan- gen werden kann. Am damaligen Institut für Forstpflanzenzüchtung in Graupa wurden zunächst laufende Züchtungsarbeiten auf die Belange der Immissionsschadgebiete ausgerichtet.

Von *Larix decidua* und deren Hybriden mit *Larix leptolepis* wurden im Immissionsschadgebiet erste Anbauversuche angelegt, die sich in der Folgezeit gut bewährten (HERING, HAASEMANN, BRAUN 1989) und heute in Höhenlagen von 700–800 m NN zu beachtlichen Beständen herangewachsen sind (vgl. Abb. 12). Dies führte dazu, daß die Lärche im Immissionsschadgebiet des oberen Erzgebirges mit zu den am stärksten vertretenen Ersatzbaumarten zählt.

Die Murraykiefer (*Pinus contorta* Dougl.) ist nach JENTSCH (1954) eine ausgesprochene Pionierbaum-



art, die in ihrer Heimat geeignet ist, größere Kahlflächen zu bestocken. Deshalb wurden auch hier laufende Arbeiten genutzt, um für die Standortgegebenheiten des Immissionserschadgebietes geeignete Herkünfte zu ermitteln. Als solche konnte u. a. die Herkunft „Sundre“ ermittelt werden (TZSCHACKSCH, VOGL, THÜMLER 1969), von der in dem von JENTSCH in Sachsen angelegten Streuver-such bereits Saatgut für die Aufforstung der Kahlflächen geerntet werden konnte (vgl. Abb. 13).

Anbauversuche, u. a. mit *Picea glauca* (Kanadische

Weiß- oder Schimmelfichte), weisen darauf hin, daß eine sichere Beurteilung der Baumart bei größerem Verbreitungsgebiet nur durch Herkunftsversuche möglich ist (WEISS, BRAUN, WEISSLEDER 1988). Weitere Anbauversuche, z. T. als tastende Vorversuche, wurden mit den Fichtenarten *Picea mariana* (Schwarzfichte), *Picea orientalis* (Kaukasusfichte) und der *Picea rubra* (Rotfichte) angelegt, die 1984 durch Unterstützung des tschechischen Forstinstitutes in Strnady mit einem umfangreichen Sortiment amerikanischer Fichtenarten und Fichtenherkünfte erweitert werden konnte.

5 Bemerkung zum Zusammenhang zwischen der Immissionsresistenz und der Trockenresistenz

Bereits 1925 wies WIEDEMANN darauf hin, daß bei der Fichte zwischen Rauchsäden und Sommerdürre ein Zusammenhang besteht. Untersuchungen zur Immissionsproblematik haben dies immer wieder bestätigt (STEINHÜBEL 1961/62; KLEMM 1966; TZSCHACKSCH et al. 1969; BRAUN 1977; KLEIN 1981).

Hier liegt der wohl seltene Fall vor, daß zwei unterschiedliche Resistenzen miteinander gekoppelt sind, was auf ähnliche bzw. gleiche Resistenzfaktoren hinweist. Von Bedeutung für diesen Zusammenhang sind u. a. der Xeromorphismus und die Stomatareaktion der Assimilationsorgane. Offensichtlich handelt es sich bei den Resistenzfichten um solche Typen, bei denen die stärkere Ausprägung des Xeromorphismus und eine sensiblere Stomatareaktion einerseits die Schadstoffaufnahme einschränken und andererseits bei Wassermangel die Transpiration begrenzen.

Dieser Zusammenhang scheint für den gegen Trockenheit besonders empfindlichen Flachwurzler Fichte von wesentlicher Bedeutung zu sein. Um Trockenschäden (Austrocknung) zu verhindern, schließt die Fichte ihre Stomata bereits bei geringer Luftfeuchte auch dann, wenn ihr Wurzelbereich noch optimal mit Wasser versorgt ist (PISEK 1956). Besonders junge Bestände haben in Trockenjahren Zuwachsverluste zu verzeichnen. Folgen mehrere Trockenjahre hintereinander, so wirken sie sich auf allen Standortgruppen, sogar auf denen mit

reichlicher Wasserversorgung, zuwachsmindernd aus. Auf tiefer gelegenen Standorten führt diese Empfindlichkeit der Fichte in Trockenjahren zu beachtlichen Zuwachsverlusten (WENK, FIEDLER 1977). Um die Folgen längerer Trockenheit abzuschwächen und die Wuchsleistung auf Böden mit zeitweisem Wassermangel zu verbessern, sollte die Erhöhung der Trockenresistenz ein erstrebenswertes Zuchtziel sein.

Infolge der Evolution der Biosphäre ist mit wesentlichen Veränderungen der Struktur der Biogeozö-nosen der Erde zu rechnen (SCHWARZ 1976). Wir wissen zwar z. Zt. nicht, welche konkreten Auswirkungen durch diese Veränderungen für unsere Waldgebiete zu erwarten sind, jedoch deutet sich an, daß durch den weltweit festgestellten Anstieg der Temperatur sich südliche Klimaverhältnisse, wenn auch langsam, weiter nach Norden verlagern werden. Dies würde bedeuten, daß die bereits heute erstrebenswerte Erhöhung der Widerstandskraft der Fichte gegenüber Trockenheit für die Zukunft von weit größerer Bedeutung sein könnte.

6 Abschließende Bemerkung

Die Natur schuf in Jahrtausenden Wälder, die den natürlichen Gegebenheiten angepaßt waren. Der Mensch veränderte diese Wälder nach seinen Bedürfnissen, schuf Fichten- und Kiefernmonokulturen, die dem Bedarf der sich entwickelnden Industrie und wirtschaftlichen Gesichtspunkten am besten entsprachen, die aber auch störanfälliger gegenüber Stürmen und Schädlingen und mit fortschreitender Entwicklung der Industrie auch gegenüber phytotoxischen Immissionen wurden. Heute stehen wir vor der Aufgabe, diese Wälder in weniger störanfällige Wälder umzuwandeln, die sowohl landeskulturellen als auch wirtschaftlichen Gesichtspunkten gerecht werden.

Wie immer bei der Umgestaltung von Wirtschaftssystemen wollen die Nachfolger alles besser machen und vergessen dabei, daß dies ihre Vorgänger auch wollten. Es kann heute nicht um die Schaffung eines Landschaftsparkes gehen, sondern um einen naturnahen Wirtschaftswald. Der Wald war und wird stets eine wichtige Rohstoffquelle bleiben, deren Bedeutung mit fortschreitender Zeit zunehmen wird. Der Anbau einer den derzeitigen Standortbedingungen besser angepaßten Fichte kann hierzu beitragen. Sie sollte deshalb auch für die Zukunft in einem naturnahen Wirtschaftswald eine der autochthonen Waldgesellschaft entsprechende Bedeutung behalten.

7 Literatur

- ANONYMUS (1913): Die Verhütung von Rauchsäden. Forstw. Cbl. 35, 159–160
- BRAUN, G. (1977): Über Ursachen der Immissionsresistenz bei Fichte und Folgerungen für die Resistenzzüchtung. Forstw. Cbl. 96, 62–67
- BRAUN, H.; KOHLSTOCK, N. (1990): Aufgaben und Ergebnisse der Forstpflanzenzüchtung speziell für die Immissionsschadgebiete der Mittelgebirge der DDR. AFZ. 33–34
- DÄSSLER, H. G. (1967): Zur Aussagekraft experimenteller Resistenzprüfungen. Arch. Forstwes. 16, 781–785
- ENDERLEIN, G.; VOGL, M. (1966): Experimentelle Untersuchungen über die SO₂-Empfindlichkeit der Nadeln verschiedener Koniferen. Arch. Forstwes. 15, 1207–1224
- FISCHER, R. (1993): Sind Spitzenentladungen mitverantwortlich für Waldschäden? AFZ 13, 646–655
- HERING, S.; HAASEMANN, W.; BRAUN, H. (1989): Ergebnisse eines 19jährigen Anbauversuches mit Hybrid-, Europäer- und Japanerlärchen im Rauchschaadgebiet des oberen Erzgebirges. Beitr. Forstwirtschaft 23, 11–17
- JENSEN, K. F.; DOCHINGER, L. S.; ROBERTS, B. R.; TOWNSEND, A. M. (1976): Pollution Responses: Modern Methods in Forest Genetics. Edited by J. P. Miksche, Springer-Verlag, Chapter 9, 189–216
- JENTSCH, J. (1954): *Pinus Murrayana* Balf., *P. contorta* var. *Murrayana* Engelm., *P. latifolia* Engelm. 1. Teil: Ein Anbauversuch im mitteldeutschen Raum. Arch. Forstwes. 3, 288–352
- KARNOSKY, D. (1983): Variation in Air Pollution Responses of Hardwood Trees. AQUILO, Ser. Bot. 19, 183–188
- KLEIN, B. (1981): Trockenresistenz und Immissionshärte der Fichte. Forstwiss. Fak. Ludwig-Maxim.-Uni. München, Diss. 190 S.
- KLEMM, W. (1966): Beitrag zur Beziehung zwischen Wasserhaushalt und Rauchsädigung der Kiefer. Biol. Zbl. 85, 781–783
- KÖNIG, E. (1924): Über Forstkulturwesen im Rauchschaadgebiet. Tharandter Forstl. Jahrb. 75, 113–123
- KRÜGER, E. (1951): Die Verhütung von Rauchsäden als pflanzenzüchterisches Problem. Bergakademie: Freiburger Forschungsberichte, 21–23
- LUX, H. (1983): Zur Methodik der SO₂-Resistenzforschung, insbesondere der Massenselektion bei der Baumart Fichte. Wiss. Z. Techn. Uni. Dresden 32, 215–218
- MATERNA, J. (1962): Einführung in die Rauchschaadprobleme im Erzgebirgstheil der ČSSR. Wiss. Z. TU, Dresden 11, 639–641

- MATERNA, J. (1978): Frostschäden in Fichtenbeständen in Abhängigkeit der Schwefeldioxidbelastung. X. IUFRO-Fachtagung in Ljubljana vom 18.–23. 9. 1978
- PELZ, E. (1962): Einführung in die Rauchschaadprobleme im Erzgebirgstheil der DDR. Wiss. Z. TU, Dresden 11, 643–648
- PELZ, E. (1966): Grundlagen und Möglichkeiten von Gegenmaßnahmen bei Schädigung der Wälder durch Rauch und Staub. Schnellinformation, Wiss. Techn. Zentrum der Forstwirtschaft, 38 S.
- PISEK, A. (1956): Der Wassergehalt der Meso- und Hygrophyten – Bäume und Sträucher –. Handbuch Pflanzenphysiologie, Springer-Verlag Bd. III, 842–845
- RANFT, H.; MICHAEL, G.; FEILER, S.; TESCHE, M.; BELLMANN, C. (1978): Untersuchungen über die Komplexwirkung von SO₂ und Frost an Pflanzen. F/E-Bericht, TU Dresden, Sektion Forstwirtschaft Tharandt, 32 S.
- ROHMEDER, E.; MERZ, W.; SCHÖNBORN, A. v. (1962): Züchtung von gegen Industrieabgase relativ resistenten Fichten- und Kiefernarten. Forstwiss. Cbl. 81, 321–332
- SCHWARZ, S. (1976): Evolution der Biosphäre und ökologische Prozesse. Wiss. Welt, 20, 13–22
- STEINHÜBEL, G. (1961/62): Rauchhärte der Immergrünen. Mitt. Dt. Dendrolog. Gesellschaft, 62, 71–76
- TZSCHACKSCH, O.; VOGL, M.; THÜMLER, K. (1969): Vorselektion geeigneter Provenienzen von *Pinus contorta* Douglas (*Pinus murrayana* Balf.) für den Anbau in den Rauchschaadgebieten des oberen Erzgebirges. Arch. Forstwes., 18, 979–982
- TZSCHACKSCH, O.; WEISS, M. (1972): Die Variation der SO₂-Resistenz von Provenienzen der Baumart Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.). Beitr. Forstwirtschaft, 5, 21–23
- TZSCHACKSCH, O. (1977): Ergebnisse der Forstpflanzenzüchtung für Immissionsschaadgebiete im Erzgebirge. In: Bewirtschaftung des Fichtenrauchschaadgebietes. Wiss. Tagung Agrarwiss. Gesellsch. der DDR, in Tharandt, 26–35
- TZSCHACKSCH, O. (1983): Möglichkeiten der Begründung von Fichtenbeständen verminderter Anfälligkeit gegenüber phytotoxischen Immissionen durch Hochpfropfungen. Soz. Forstwirtschaft., 33, 339–341
- TZSCHACKSCH, O.; VOGEL, ST.; SUSSMILCH, G.; DACHSEL, R.; SCHÄFER, G.; SCHACHLER, G.; WEISER, F. (1983): Vorschlag einer immissionsresistenten Fichten-Herkunftssorte und Fichten-Mehrklonsorte, F/E-Bericht, Inst. Forstwiss. Eberswalde, 27 S.
- TZSCHACKSCH, O. (1987): Zur Labor- und Feldresistenz der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) gegenüber phytotoxischen Stoffen und Schlußfolgerungen für die Anbauwürdigkeit von Kiefernarten in den Immissionsschaadgebieten des oberen Erzgebirges. Beitr. Forstwirtschaft, 21, 97–102
- TZSCHACKSCH, O.; HAASEMANN, W. (1989): Radialzuwachs von Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) und Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) unterschiedlicher Feldresistenz während 20jähriger Einwirkung phytotoxischer Immissionen. Beitr. Forstwirtschaft., 23, 163–170
- VOGL, M.; BÖRTITZ, S.; POLSTER, H. (1964): Physiologische und biochemische Beiträge zur Rauchschaadforschung. 3. Mitteilung: Der Einfluß stoßartiger, starker SO₂-Begasung auf die CO₂-Absorption und einige Nadelinhaltsstoffe von Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) und Bergkiefer (*Pinus mugo* Turra) unter Laboratoriumsbedingungen. Arch. Forstwes., 13, 1031–1043
- VOGL, M.; SCHÖNBACH, H.; HAEDICKE, E. (1968): Experimentelle Untersuchungen zur relativen Rauchhärte im Rahmen eines Provenienzversuches mit japanischer Lärche. Arch. Forstwes., 17, 1001–1013
- VOGL, M.; TZSCHACKSCH, O.; ENDERLEIN, H.; BÖRTITZ, S.; HAEDICKE, E. (1972): Untersuchungen zur Entwicklung eines Schnelltestes zur Bestimmung der SO₂-Resistenz der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.), Biol. Zbl. 91, 601–612

Kiefern für die Immissionsschadgebiete der Mittelgebirge

– züchterische Ergebnisse und Perspektiven –

H. LATTKE

Das Absterben der Fichte in den Hoch- und Kammlagen der ostdeutschen und angrenzenden Mittelgebirge hält gegenwärtig noch immer an und wird die Forstwirtschaft mit Sicherheit auch für die nächsten Jahrzehnte vor Probleme stellen. Schadursache ist nach wie vor in erster Linie das SO_2 . In zunehmendem Maße werden daneben noch andere Schadstoffe, vor allem die sogenannten Photooxydantien, wirksam, besonders im Westergebirge.

Nach dem „Waldschadensbericht 1996“ des Sächsischen Staatsministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten sind in Sachsen 50 000 ha Wald durch Immissionen geschädigt, davon 10 000 ha besonders schwer (Schadsymptome an mehr als 2/3 der Bäume). Auf dem südlich angrenzenden tschechischen Gebiet war bereits 1987 nach Angaben von MATERNA die Fichte auf 30 000 ha total abgängig und auf einer ähnlich großen Fläche hochgradig geschädigt.

Die natürliche Sukzessionsfolge läßt auf diesen Flächen erst in Jahrzehnten wieder geschlossene Wälder – überdies solche mit wirtschaftlich geringwertigen Baumarten – erwarten. Um den aus ökologischen und ökonomischen Gründen notwendigen raschen Wiederaufbau geschlossener Waldbestände zu bewerkstelligen, bleibt nur der Weg über die Begründung von Vor- oder Interimswäldern (NEBE 1994). In beiden Fällen scheint es – da keine Dauerbestockung angestrebt ist – verantwortbar, ggf. auch auf geeignete nichtheimische Baumarten bzw. Herkünfte zurückzugreifen.

Es bleibt eine vordringliche Aufgabe der forstlichen Forschung, solche geeigneten „Ersatzbaumarten“ bereitzustellen, mit deren Hilfe die forstliche Bewirtschaftung der Immissionsschadlagen aufrechterhalten werden kann – bis zu dem noch nicht vorhersehbaren Zeitpunkt, an dem durch geeignete grenzübergreifende Maßnahmen, vor allem in der Industrie und im Verkehrsbereich, der Schadstoffgehalt der Luft auf einen Wert abgesenkt worden ist, der eine Wiedereinbürgerung der standortgerechten heimischen Baumarten ermöglicht. Wenn sich auch der Anteil der Laubbaumarten an dieser „Zwischenwaldgeneration“ sicherlich noch erhöhen wird, dürften die Koniferen doch weiterhin einen erheblichen Teil der Ersatzbaumarten stellen.

Unter den in Frage kommenden Nadelbaumarten nehmen die Kiefern eine besondere Stellung ein. Die Ursachen dafür liegen einmal schon in der vergleichsweise großen Anzahl der verfügbaren Arten und Herkünfte. Nicht wenige davon sind speziell an die Bedingungen der Hoch- und Mittelgebirge angepaßt; einzelne erreichen oder bilden die Baumgrenze.

Zum anderen weisen die Kiefern bereits als Gattung eine vergleichsweise hohe Immissionshärte auf. Diese Eigenschaft steht offenbar – worauf bereits TZSCHACKSCH (1987) hingewiesen hat – in Zusammenhang mit der häufig sehr starken Ausprägung xeromorpher Eigenschaften bei den Assimilationsorganen zahlreicher Kiefernarten. Der amerikanische Kiefernexperte MIROW (1967) bezeichnet den Xeromorphismus als die „hervorstechendste morphologische Eigenheit“ (the most striking feature) der Kiefern und verweist in diesem Zusammenhang auf den kompakten Bau der Nadeln mit einem besonders günstigen Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen sowie weitere entsprechende morphologische Besonderheiten. Zusammenhänge zwischen dem Xeromorphiegrad der Assimilationsorgane und der Widerstandsfähigkeit gegenüber Schadgasen wurden auch bei anderen Gehölzen festgestellt, so u. a. von HUTTUNEN (1978) und KLEIN (1981) bei Fichte und von sowjetischen Forschern an Laubbaumarten (KOZJUKINA und OBRASZOWA 1971). Diese Zusammenhänge kommen dadurch zustande, daß Gehölze mit xeromorphen Assimilationsorganen einen vergleichsweise geringen Gasstoffwechsel aufweisen, der zugleich eine gebremste Schadstoffaufnahme zur Folge hat. Es liegt in solchen Fällen also keine echte Schadstoffverträglichkeit, sondern eine vorwiegend morphologisch bedingte Scheinresistenz, eine sog. Avoidance im Sinn von LEVITT (1958), vor. Einige Kiefern, vor allem die ohnehin xeromorpheren Gebirgsformen, erscheinen aus den genannten Gründen für eine Rolle als Ersatzbaumarten geradezu prädestiniert; dies um so mehr, als ein Trend zu trockeneren, wärmeren Klimabedingungen in Mitteleuropa seit einigen Jahrzehnten unübersehbar ist.

Tatsächlich hat eine ganze Anzahl von Kiefernarten ihre Widerstandsfähigkeit gegen SO₂-Immissionen unter den extremen Bedingungen der Erzgebirgs-

hochlagen praktisch unter Beweis gestellt. Nach den von der damaligen „Hauptverwaltung Forstwirtschaft der DDR“ herausgegebenen „Bewirtschaftungsrichtlinien für die Immissionsschadlagen“ (1985) sind dies die Arten *Pinus contorta*, *Pinus strobus*, *Pinus peuce* und *Pinus mugo*, die lt. Richtlinie „in chronischen Rauchschadgebieten kaum geschädigt“ werden, sowie die als noch rauchhärter eingestuft, „nur in unmittelbarer Nähe des Emittenten noch merklich geschädigten“ Arten *Pinus nigra* und *Pinus cembra*.

Außer den Artunterschieden in der Immissionstoleranz bestehen – wie u. a. durch Begasungsversuche an *Pinus sylvestris* (ROHMEDER et al. 1982) und *Pinus contorta* (TZSCHACKSCH et al. 1969) nachgewiesen – beträchtliche individuelle Unterschiede von Baum zu Baum bzw. von Herkunft zu Herkunft. Bezeichnenderweise wiesen bei den Untersuchungen von ROHMEDER et al. (a. a. O) die resistenteren Einzelexemplare auch den geringsten Schwefelgehalt in den Nadeln auf.

Nachdem im Jahre 1985 nach einer längeren Unterbrechung die züchterischen Arbeiten an der Kiefer in Graupa wieder aufgenommen werden konnten, waren wir bemüht, die genannten Arten in das Arbeitsprogramm einzubeziehen. In Übereinstimmung mit der damaligen Zielstellung der Außenstelle wurde die Aufstellung eines Sortimentes von immissionstoleranten, klimaharten und leistungsfähigen Sorten der genannten Arten ins Auge gefaßt. Diese Sorten sollten vor allem die Möglichkeit bieten, in den immissionsgefährdeten Hoch- und Kammlagen der Mittelgebirge insbesondere ärmere und extreme Standorte, also einmal Trockenlagen und skelettierte Böden, andererseits aber auch vernaßte und anmoorige Standorte, in Bestockung zu bringen. Dabei konnten wir uns bei einigen Arten auf Arbeiten der vorangegangenen Kiefernbearbeiter in Graupa stützen, unter denen besonders THÜMLER und TZSCHACKSCH zu nennen sind.

Nachfolgend sollen einige der erzielten Ergebnisse und die sich abzeichnenden Perspektiven vorgestellt werden.

Als Ersatzbaumart ist bereits die heimische *Pinus sylvestris* aussichtsreich, worauf TZSCHACKSCH (1987) bereits früher hingewiesen hat. Auch in dem

angeführten „Waldschadensbericht 1996“ des Sächsischen Staatsministeriums für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten wird das im Vergleich zur Fichte „wesentlich niedrigere Schadniveau“ der Waldkiefer hervorgehoben (vgl. *Waldschadensbericht 1996*, S. 48). Dabei ist die im Schadgebiet zu beobachtende „Feldresistenz“ der *Pinus sylvestris* wesentlich höher als die bei Laborprüfungen festzustellende „Laborresistenz“, bei der die Waldkiefer etwa im Bereich der Fichte rangiert (RANFT und DÄSSLER 1970). Die Einsatzmöglichkeiten der Kiefer werden allerdings durch waldbauliche Faktoren – insbesondere eine erhöhte Bruchgefährdung und vergleichsweise hohe Aufwendungen bei der Kulturpflege – eingeschränkt (TZSCHACKSCH a. a. O.), eine Feststellung, die durch die erheblichen Bruchschäden durch Eis- und Reifanhang an Kiefern im mittleren und östlichen Erzgebirge im Winter 1995/96 bestätigt wird.

Von den zahlreichen Herkunftsrassen des bekanntlich sehr großen Areals der Waldkiefer kommen daher nur die schmalkronigen, weniger bruchgefährdeten „Höhenkiefernherkünfte“ als Ersatzbaumarten für die höheren Mittelgebirgslagen in Betracht. Von besonderem Interesse ist dabei die vom westlichen Erzgebirge bis zum Fichtelgebirge und Oberpfälzer Wald in Höhen zwischen 450–750 m vorkommende „östliche Höhenkiefer“ (RUBNER 1959/1962). Von den mitteleuropäischen Höhenkiefern könnten darüber hinaus die – allerdings stärker schüttelegefährdete – „westliche Höhenkiefer“ (im Schwarzwald bis 500 m) und die besonders spitzkronige, in den deutschen Alpen bis in Höhen von 1200–1400 m vorkommende „Alpenkiefer“ von Interesse sein. Als lokales Vorkommen verdient ebenfalls die in der Umgebung von Dippoldiswalde in Höhen zwischen 480 m und 670 m vorkommende, durch schmale Bekronung ausgezeichnete „Schmiedeburger Höhenkiefer“ Beachtung (LIEBSCHER 1987). Bisher finden sich in den Immissionslagen des Erzgebirges nur relativ wenige Bestände oder Vorkommen der Waldkiefer, zudem meist unbekannter Provenienz, ebenso fehlen ältere Versuchsanbauten mit Herkünften der heimischen Höhenkiefer (TZSCHACKSCH a. a. O.). Ein von THÜMLER (1967) ausgewerteter 6-jähriger Anbauversuch in Beerheide (650 bzw. 690 m ü. NN) mit deutschen, tschechischen, polnischen, slowakischen und Balkan-Gebirgsherkünften diente lediglich

dem Vergleich der Wuchsleistungen. Analog zum „Nordverschiebungs-Effekt“ erwies sich die Verbringung von Herkünften aus niedrigeren in bis zu 150 m höher gelegene Mittelgebirgslagen als „unbedenklich, ja wahrscheinlich sogar als Vorteil“ (THÜMLER a. a. O., S. 715).

Nach Wiederaufnahme der züchterischen Arbeiten an Kiefern in Graupa wurden daher im Schadgebiet mehrere Versuchsflächen mit Pflanzgut aus Höhenkiefern-Samenplantagen – z. T. als Vergleichsanbau mit anderen Kiefernarten – angelegt (Georgenfeld, 1986; Pobershau, 1986; Tellerhäuser, 1990; Hammerunterwiesenthal, 1992), deren Auswertung noch aussteht. Zur Erhaltung der Genressourcen der „Schmiedeburger Höhenkiefer“ konnten 2 Samenplantagen (Wahlsmühle, 1990; Beerwalde, 1990) begründet werden. Die Anlage weiterer Versuchsflächen mit Höhenkiefern-Herkünften im Schadgebiet scheint zweckmäßig.

Pinus contorta, die Murraykiefer, ist die bis vor wenigen Jahren im Immissionsgebiet des Erz- und Lausitzer Gebirges meistangebaute ausländische Kiefernart. Sie hat ein über 30 Breitengrade reichendes Verbreitungsgebiet an der Westküste von Nordamerika, wobei die Art an der Meeresküste ebenso zu Hause ist wie unter Hochgebirgsverhältnissen. Unter den sehr unterschiedlichen standörtlichen Bedingungen dieses ausgedehnten Areals haben sich zahlreiche Herkunftsrassen herausgebildet, deren Erscheinungsbild von Strauchformen bis zu Bäumen von 40 m Höhe reicht. Für den Anbau ist insbesondere die von CRITCHFIELD (1957) vorgeschlagene Untergliederung der Art in die 4 Unterarten *ssp. contorta* und *bolanderi* (Küstenherkünfte), *ssp. murrayana* (Gebirgsherkünfte) und *ssp. latifolia* (Inlandsherkünfte) von Bedeutung, wobei die letztgenannte Unterart den Hauptteil des Areals einnimmt und die Mehrzahl der bei uns angebaute Provenienzen stellt.

Für den Anbau in den oberen Erzgebirgslagen bringt die Murraykiefer neben hoher Immissionstoleranz einige weitere günstige Voraussetzungen mit. Sie ist – sofern geeignete Provenienzen gewählt werden – absolut froshart, dürrefest, raschwüchsig in der Jugend, setzt sich gegenüber dem Unkraut gut durch, wird wenig von Schütte befallen und galt anfangs auch als schneebruchsicher.

In Sachsen hat der Anbau der Murraykiefer eine relativ lange Tradition. Nachdem die Art – speziell die Herkunft „Sundre“ aus der kanadischen Provinz Alberta – durch spektakuläre Anbauerfolge in Finnland auf sich aufmerksam gemacht hatte, legte PROF. JENTSCH (Tharandt) 1930 mit dieser Herkunft im ganzen sächsischen Raum unter sehr verschiedenen standörtlichen Bedingungen insgesamt 16 Versuchsflächen an. 1931 folgte in Tharandt nochmals ein Versuch mit 6 weiteren Herkünften, der in Resten noch erhalten ist. Nach dem Kriege wurden die Arbeiten an der Murraykiefer von der Abt. Forstpflanzenzüchtung in Graupa wiederaufgenommen und bis 1979 insgesamt 17 weitere Versuche – teils Provenienzversuche, teils Nachkommenschaftsprüfungen – angelegt. Die Flächen liegen fast durchweg in der mittleren und oberen Region des Erzgebirges; besonders die späteren Versuche verfolgten bereits das Ziel, Herkünfte mit hoher Widerstandsfähigkeit gegen Schadimmissionen zu selektieren. Als Ergebnis der Arbeiten wurde 1971 die Herkunft „Sundre“ als „rauchharte Herkunftssorte“ anerkannt und eine Samenplantage in Waldsiedersdorf angelegt (TZSCHACKSCH 1971).

Die Anbauergebnisse der ersten Jahrzehnte schienen zunächst den hohen Erwartungen zu

entsprechen, die man in die Art und speziell in die Herkunft „Sundre“ gesetzt hatte. Bereits in den 60er Jahren machte allerdings eine Auswertung der „Jentsch-Flächen“ durch MEYER (1963, 1968) deutlich, daß zumindest die Herkunft „Sundre“ nicht in der Lage war, die erwarteten hohen Erträge aufzubringen. Hingewiesen wird auch auf die hohe Anfälligkeit der Art gegenüber dem Triebwickler *Rhyacionia buoliana* (STEPHAN 1982). Als großer Nachteil stellte sich außerdem die außerordentliche Schälgefährdung der Art durch das Rotwild heraus, die bis ins Abtriebsalter anhält.

Die Murraykiefer – auch die Herkunft „Sundre“ – erwies sich überdies in einem nicht vorhergesehenen Maße als schneebruch- und -wurfgefährdet, was allerdings teilweise auch falschen waldbaulichen Maßnahmen – insbesondere zu engen Pflanzverbänden – anzulasten ist. Vor allem als Ergebnis von Wild- und Schneebruchschäden sind inzwischen alle im Mittelgebirgsraum angelegten „Jentsch-Flächen“ (bis auf die Fläche Grumbach in 800 m Höhe, oberhalb der Naßschneezone) zusammengebrochen. Aus den gleichen Gründen waren bei Wiederaufnahme der Züchtungsarbeiten in Graupa auch die meisten der Institutsversuche nicht mehr exakt auswertbar, mit Ausnahme von 3 in den

Tab. 1:
Provenienzversuche
mit *Pinus contorta*,
Versuchsglieder

Zucht-Nr.	Jufro-Nr.	Herkunftsort	Staat	Unterart	Lage im Gradnetz		Höhe ü. NN	Vorkommen auf Fläche	
					nördl. Breite/	westl. Länge		I	II
1230	–	Sundre/Tharandt	(Alberta)	ssp. latifolia	(51° 50')	(114° 40')	(1100)	+	+
1232	–	Salmon Arm/Tharandt	(Brit. Columbia)	„ „	(50° 15')	(119° 20')	(490)	+	+
1257	2030	Hudson Hope	„ „	„ „	56° 02'	122° 05'	700	+	+
1258	2033	Nina Creek	„ „	„ „	55° 48'	124° 49'	760	+	–
1259	2035	Nass River	„ „	„ „	55° 37'	128° 38'	300	+	+
1260	2037	Red Willow River	„ „	„ „	54° 56'	120° 15'	950	+	+
1261	2046	Bowron River	„ „	„ „	53° 54'	122° 00'	670	+	+
1262	2054	Albreda Turnoff	„ „	„ „	52° 35'	119° 10'	980	+	+
1265	2066	Inonoaklin Valley	„ „	„ „	49° 54'	118° 12'	580	+	+
1268	2078	Kananaskis	Alberta	„ „	52° 02'	115° 02'	1400	+	++
1270	2090	Zigzag	Oregon/USA	ssp. murrayana	45° 23'	121° 52'	550	+	–
1271	2091	Mount Hood	„ „	„ „	45° 18'	121° 45'	1280	+	+
1321	–	Leistnerwald/Flöha	(unbek.)	(unbek.)	(unbek.)	(unbek.)	(unbek.)	–	+
1322	–	Tharandt	„	„	„	„	„	–	+
1323	–	Süd-Oregon	Oregon/USA	„	„	„	„	+	+
1324	2052	Wells	Brit.-Columbia	ssp. latifolia	53° 08'	121° 33'	1110	+	+
1325	2061	Westside Cartwright Lake	„ „	„ „	50° 49'	116° 26'	1170	+	+
1326	2065	Valley Road	„ „	„ „	49° 59'	114° 55'	1280	+	–

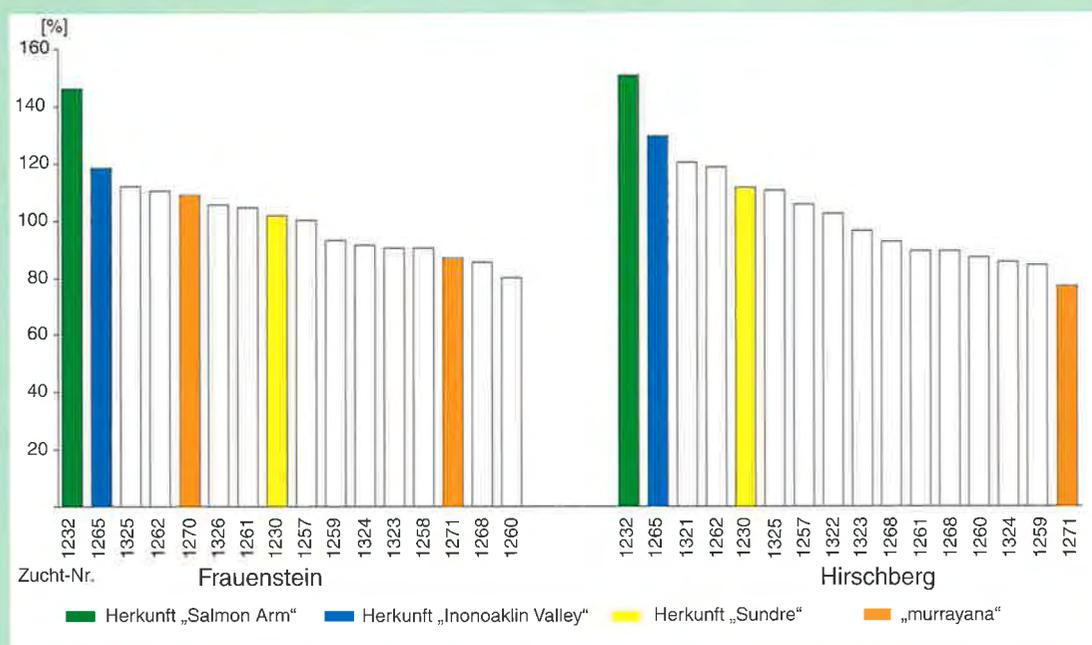
Jahren 1976 und 1979 zuletzt angelegten Provenienzversuchen. Interessant sind davon vor allem die beiden 1976 als Parallelversuche angelegten Flächen in den Revieren Frauenstein und Hirschberg. Beide liegen im Osterzgebirge, davon die Fläche Hirschberg in einer exponierten Kammlage in 700 m Höhe in der Rauchschatzone 1, die Fläche Frauenstein in 620 m Höhe in der Rauchschatzone 2. Beide Flächen enthalten ein weitgehend identisches Versuchssortiment mit 18 Versuchsgliedern (vgl. Tab. 1). Zum größten Teil handelt es sich dabei um Originalherkünfte aus dem Interior von British-Columbia, also um Vertreter der Unterart „*latifolia*“. 2 Provenienzen aus Nord-Oregon sind der Gebirgsform „*murrayana*“ zuzuordnen. Die Herkunft „Südoregon“ ist nicht näher definiert. Neben diesen Originalherkünften enthält das Sortiment noch 4 „Landrassen“; 2 davon – „Sundre“ und „Salmon Arm“ – sind aus Einzelstammabsaaten von je 10 Auslesebäumen aus dem Jentsch-Versuch im Tharandter Wald hervorgegangen, die „Landrasse Leistnerwald“ aus Saatgut eines inzwischen als Sondervorkommen ausgeschiedenen, über 60-jährigen Privatwaldbestandes im Raum Flöha. Über die 4. Landrasse („Tharandt“) liegen keine näheren Angaben vor.

Eine 1990 vorgenommene Auswertung von Meßdaten beider Flächen läßt erhebliche Unterschiede in der Wuchsleistung der Provenienzen erkennen, die besonders in der Volumenproduktion zu Tage treten (vgl. Abb. 1).

Sowohl in Frauenstein als auch in Hirschberg werden die vorderen Plätze mit hoher statistischer Sicherung gegenüber der Mehrzahl der anderen Versuchsglieder von den Herkünften „Salmon Arm“ (Zucht-Nr. 1232) – hier allerdings vertreten durch die „Landrasse“ aus Tharandt – und „Inonoaklin Valley“ (Zucht-Nr. 1265) eingenommen. „Salmon Arm“ übertrifft das Versuchsmittel in Frauenstein um 46 %, in Hirschberg um 48 %. Die Landrasse „Sundre“ (Zucht-Nr. 1230) wird von „Salmon Arm“ um 44 % bzw. 33 % übertroffen und liegt in der Volumenleistung auf beiden Flächen im Mittelfeld. Von den beiden „*murrayana*“-Herkünften reicht die Volumenproduktion der Herkünfte „Zigzag“ (Zucht-Nr. 1270) durchaus an die Leistungen der besseren „*latifolia*“-Herkünfte heran, während die „Mount Hood“ (Zucht-Nr. 1271) weit hinter den Versuchsmitteln zurückbleibt.

Neben der Wuchsleistung ist die Schneebruchsicherheit – wie bereits erwähnt – für den Anbau der Art in den Mittelgebirgshochlagen ein entscheidendes Kriterium. Ein h/d-Verhältnis von 80 stellt dabei nach übereinstimmenden Erfahrungen bei Nadelhölzern die kritische Grenze dar, oberhalb derer mit einer stärkeren Bruchgefährdung zu rechnen ist. Wie Abb. 2 erkennen läßt, wird diese Grenze von den meisten „*latifolia*“-Herkünften (mit Ausnahme der Provenienzen „*Inonoaklin Valley*“ und „*Nass River*“) knapp unterschritten. Die beiden „*murrayana*“-Provenienzen weisen erwartungsgemäß die niedrigsten Werte auf und sind in dieser Hinsicht

Abb. 1:
Provenienzversuch mit
Pinus contorta (Anlage
1976). Volumenproduk-
tion 1990 der Proveni-
enzen in Prozent des
jeweiligen Versuchs-
mittels



allen anderen Versuchsgliedern gesichert überlegen. Der nächste Rang wird bereits von der „*Salmon Arm*“ eingenommen, die auch in dieser Hinsicht ihre Spitzenstellung im Sortiment unterstreicht.

In welchem Umfang die genetische Komponente die Wuchsleistung der einzelnen Herkünfte bestimmt, zeigt ein Vergleich unserer Versuchsergebnisse mit den Resultaten einer 1971/72 von STEPHAN (1980) in der damaligen BRD angelegten Versuchsserie. In die 8 Einzelversuche (von Schleswig-Holstein bis Bayern, Höhenlage zwischen 380 m und 4 m ü. NN) waren 140 Provenienzen (darunter 73 der *ssp. latifolia*) einbezogen.

Mit geringen Abweichungen entspricht die von uns ermittelte, auf den Höhenwuchs bezogene Rangfolge der „*latifolia*“-Herkünfte der Versuchsserie von STEPHAN (vgl. Abb. 3). Die bei unseren Versuchen am besten abschneidende Original-Provenienz „*Inonoaklin Valley*“ (IUFRO-Nr. 2066) erwies sich auch bei STEPHAN (a. a. O., S. 69) auf allen Ver-

suchsstandorten mit Wuchshöhen zwischen 130 % und 140 % des jeweiligen Versuchsmittels als bisher wüchsigste „*latifolia*“-Herkunft.

Wie aus den vorausgehenden Darlegungen ersichtlich, liefern die bisherigen Erfahrungen mit dem Anbau von *Pinus contorta* in den Immissionsschadlagen der Mittelgebirge ein zwiespältiges Bild. Die häufig negativen Ergebnisse mit dieser Baumart stehen im Widerspruch zu deren positiver Bewertung z. B. in Finnland und Schweden, wo die Murraykiefer inzwischen zur wichtigsten exotischen Baumart avanciert ist, von der im 50- bis 70jährigen Umtrieb 50%ige Mehrleistungen gegenüber der dortigen Standortrasse der *Pinus sylvestris* erwartet werden (STEPHAN 1982).

Diese Tatsachen wie auch die dargestellten Versuchsergebnisse lassen vermuten, daß mit den bisherigen Anbauversuchen das züchterische Potential dieser besonders vielseitigen Baumart noch nicht erschöpft ist, und daß durch die Einbeziehung

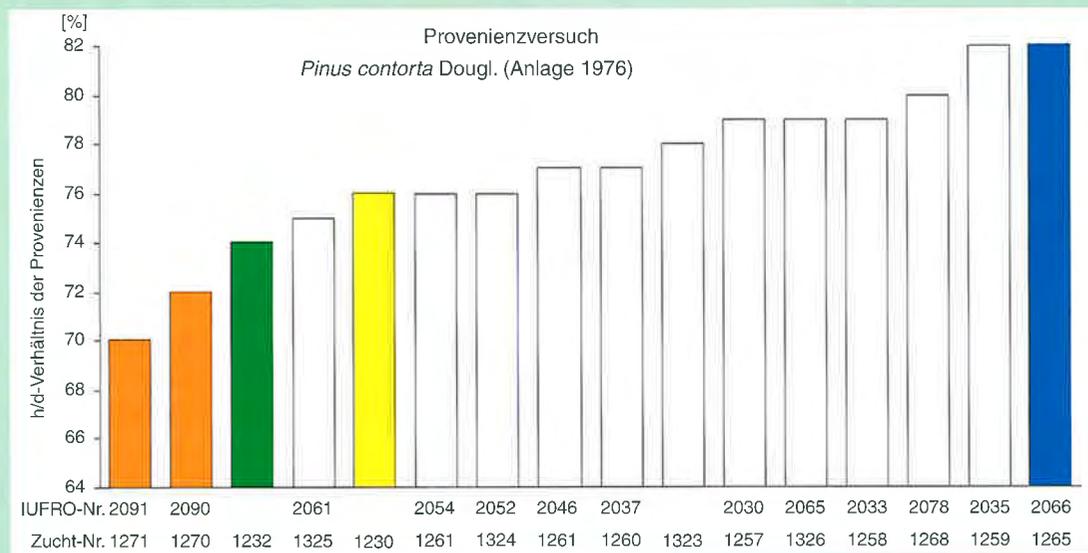


Abb. 2: Provenienzversuch mit *Pinus contorta* (Anlage 1976) h/d-Verhältnis der Provenienzen (Erläuterungen vgl. Abb. 1)

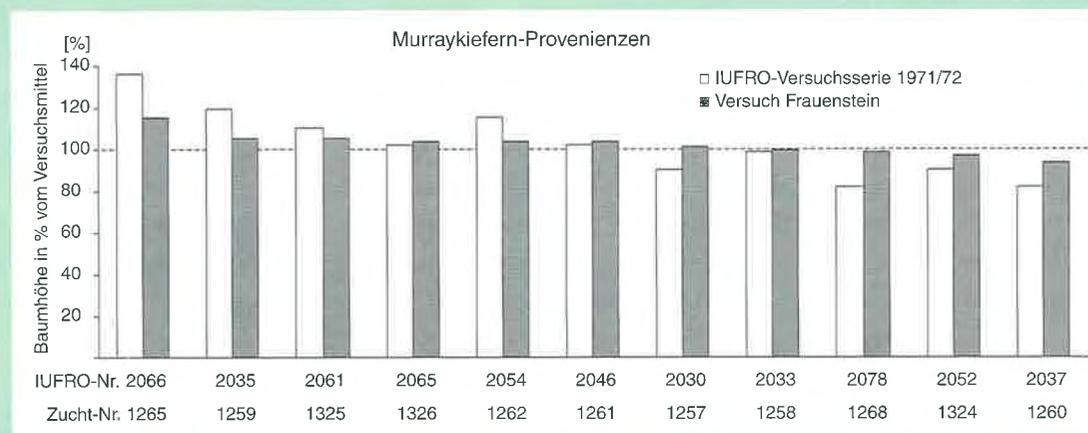


Abb. 3: Provenienzversuch mit *Pinus contorta*, Durchschnittshöhe der Provenienzen in Prozent des Versuchsmittels. Vergleich der Parallelversuche Frauenstein/Hirschberg (Anlage 1976) mit der IUFRO-Versuchsserie 1971/72

weiterer geeigneter Herkünfte im Verein mit spezifischen waldbaulichen Maßnahmen bessere Voraussetzungen für deren Einsatz als Pionier- und Vorwaldbaumart auch in den höheren Mittelgebirgslagen geschaffen werden können.

Pinus peuce, die „Rumelische Weymouthskiefer“, kann als eine der aussichtsreichsten Ersatzbaumarten für die Fichte in den Immissionsschadlagen betrachtet werden. Die zur Gruppe der 5-Nadler-Kiefern gehörende Art hat ein relativ kleines und zerstreutes Areal von Nordalbanien über Bulgarien bis nach Nordgriechenland und kommt dort bestandesbildend bis in Höhen von 2 300–2 400 m, als Einzelbaum bis 2 700 m vor. Für den Anbau in den höheren Mittelgebirgslagen ist besonders die im Ostteil des Verbreitungsgebietes (u. a. im Rilagebirge) vorkommende schmal- und spitzkronige Varietät von Interesse, die dort Maximalhöhen bis 43 m bei Durchmessern über 1,20 m erreichen kann (DIMITROV 1980). Sie bevorzugt Nord- und Nordosthänge und kommt sowohl auf Urgesteinsböden wie auch auf Kalk vor.

Pinus peuce war bereits 1927 durch v. TUBEUF als Ersatz für die blasenrostgeschädigte Weymouthskiefer empfohlen worden. Diese Empfehlung blieb ohne großen Widerhall, da sich *Pinus peuce* als typische Gebirgsart für den Anbau auf den Tieflands-Kiefernstandorten als wenig geeignet erwies. In den 60er Jahren geriet die „Rumelische Weymouthskiefer“ erneut in den Blickpunkt der forstlichen Forschung (KOHLSOCK 1965), diesmal bereits unter dem Aspekt, in ihr eine immissionstolerante Alternativbaumart für die Fichte in den Kammlagen der Mittelgebirge zu finden. *Pinus peuce* ist hierfür besonders geeignet:

- Die Art ist absolut winterhart und weder durch Früh- oder Spätfröste gefährdet.
- Sie besitzt eine ausgeprägte Immissionstoleranz und übertrifft in dieser Hinsicht die heimische Waldkiefer bei weitem.
- Schnee- und Windbruchschäden treten kaum auf.
- *Pinus peuce* wird kaum von Krankheiten und Schädlingen befallen; sie ist gegen Blasenrost (*Cronartium ribicola*) weitgehend resistent und wird vom Wild wesentlich weniger geschädigt als die Murraykiefer.

– Nachteilig ist allenfalls die langsame Jugendentwicklung, die erhöhte Pflegemaßnahmen erfordert.

1986 wurde die „Rumelische Weymouthskiefer“ daher in das Forschungsprogramm des damaligen „Forschungs- und Überleitungszentrums Graupa“ mit aufgenommen, zunächst beginnend mit der Erfassung und Aufnahme älterer Vorkommen dieser Art in den höheren Lagen des Erzgebirges. Kleine Bestände und Gruppen dieser Kiefernart sind in den 30er Jahren vor allem im Raum Schwarzenberg und Altenberg angepflanzt worden und stehen heute z. T. exponiert und isoliert, aber noch intakt auf den Rauchblößen, während die umliegenden Fichtenbestände bereits seit längerem abgestorben sind.

1987 wurde in Zusammenarbeit mit dem damaligen STFB Schwarzenberg eine solche Fläche in der Rauchschaadzone I (Höhenlage 830 m ü. NN, Alter zum Zeitpunkt der Aufnahme 55 Jahre) erfaßt und ausgewertet (LATTKE, BRAUN, RICHTER 1987). Die Ergebnisse bestätigen in beeindruckender Weise die vorliegenden Erfahrungen mit dieser Kiefernart und lassen auf geeigneten Standorten auch in den stärker durch Immissionen belasteten Gebieten noch eine vertretbare Holznutzung erwarten. So ergab ein seinerzeit angestellter Vergleich mit einem benachbarten Fichten- und Murraykieferanbau, bezogen auf den Einzelstamm, eine Mehrleistung der *Pinus peuce* von 36 % gegenüber der (bereits stark abgängigen) Fichte und von 33 % gegenüber der *Pinus contorta*. Auch zum gegenwärtigen Zeitpunkt weist der *Pinus-peuce*-Bestand noch eine dichte, vitale Bekronung auf, die Mehrzahl der Bäume fruktifiziert, vereinzelt tritt Naturverjüngung auf.

Als Ausgangsbasis für weitere züchterische Arbeiten und einen erweiterten Anbau dieser Kiefernart wurden inzwischen 171 Ausleseebäume selektiert, 70 davon auf einer speziellen Sammelreise in bulgarischen Originalbeständen (BRAUN 1988), der Rest aus heimischen Vorkommen. Mit diesem Material konnten 1990 3 Samenplantagen mit einer Fläche von 5,1 ha neu angelegt werden (Ehrenfriedersdorf, Fischbach, Niesky). *Pinus peuce* ist auf 3 neuangelegten Versuchsflächen vertreten (Pobershau, 1986; Tellerhäuser, 1990; Hammerun-

terwiesenthal, 1992) und wird von der Forstpraxis als „Interims-Bestockung“ im Erzgebirge bis in Höhen von 1 000 m auch in extremen Schadlagen mit Erfolg angebaut.

Auf die hohe Immissionstoleranz weiterer 5-Nadler-Kiefern wurde bereits 1984 von PAVLIŠ et al. als Ergebnis von Untersuchungen im tschechischen Teil des Erzgebirges hingewiesen. Von Interesse erscheinen dabei besonders *Pinus cembra* und die nordamerikanischen Arten *Pinus monticola* und *Pinus flexilis*.

Pinus cembra, die Zirbelkiefer, kommt in ihrem zerstreuten europäischen Verbreitungsgebiet bis in Höhen von 2 500 m vor und zeichnet sich durch Klimahärte und hohe Widerstandsfähigkeit gegen Schadimmissionen aus. Ihre forstlichen Einsatzmöglichkeiten werden dabei allerdings durch ihren langsamen Wuchs und geringe Endhöhe eingeschränkt. Ähnliches gilt für ihre asiatische Unterart *P. cembra ssp. sibirica*, die in ihrer Heimat Höhen bis 40 m erreicht. Bei Anbauversuchen der Forstfakultät Tharandt in den Hochlagen des Erzgebirges blieb die sibirische Zirbelkiefer hinter der Alpenzirbelkiefer bisher eher im Wuchs zurück (HARTIG, persönliche Mitteilung). Vom Graupaer Institut angelegte Versuche (Tellerhäuser, 1990; Hammerunterwiesenthal, 1992) liegen noch nicht ausgewertet vor.

Was die genannten nordamerikanischen Arten betrifft, so handelt es sich bei beiden um ausgesprochene Gebirgsformen. *Pinus monticola*, die westamerikanische Parallelart der Strobe, kommt im südlichem Teil ihres Verbreitungsgebietes bis in Höhen über 3 000 m vor. Sie erreicht Höhen bis 60 m bei bestechenden Stammformen und schmalen, fichtenähnlichen Kronen (MIROV 1967). Die Strobe selbst kommt – als ausgesprochene Tieflandsart – trotz ihrer nachgewiesenen, vergleichsweise hohen Immissionstoleranz wegen ihrer bekanntlich sehr starken Bruchgefährdung für den Anbau in höheren Mittelgebirgslagen nicht in Betracht. *Pinus flexilis*, die „Nevada-Zirbelkiefer“, gilt als besonders anspruchslos und äußerst widerstandsfähig gegen Luftschadstoffe. Sie wird in den Gebirgen des westlichen Nordamerikas ebenfalls bis in Höhen über 3 000 m angetroffen und erreicht Wuchshöhen bis 25 m (HARLOW und HARRAR 1941).



Auf die Problematik des Anbaus nordamerikanischer 5-Nadler-Kiefern wurde bereits früher hingewiesen (LATTKE 1990). Seit längerem ist bekannt, daß alle nordamerikanischen 5-Nadler-Kiefern hochempfindlich gegen Blasenrost (*Cronartium ribicola*) sind, während dies bei den europäischen und asiatischen Arten in weit geringerem Maße der Fall ist. STEPHAN (1985) konnte diese Beobachtungen durch umfangreiche Infektionsversuche bestätigen.

Die 5-Nadler-Arten sind trotz der z. T. großen räumlichen Entfernung der Areale untereinander weitgehend kreuzbar. Bei benachbartem Stand treten häufig natürliche Bastarde auf, die auch bei weiterführenden Kreuzungen untereinander oder mit den Ausgangsarten kombinierbar sind. Seit mehreren Jahrzehnten werden daher in verschiedenen Ländern – besonders in Nordamerika – umfangreiche Kreuzungsserien mit der Zielstellung durchgeführt, durch Kombination eurasiatischer und nordamerikanischer Arten blasenrostresistente Hybriden als Ersatz für die hochempfindlichen nordamerikanischen 5-Nadler-Arten herzustellen. Neben der gewünschten höheren Resistenz treten dabei häufig Heterosiseffekte auf. So berichtet QUERENGÄSSER bereits 1954 von völlig blasenrostfreien Hybriden zwischen der Weymouthskiefer und der „Himalaya-Strobe“ (*Pinus wallichiana*), die eine wesentlich höhere Wuchsleistung als die Elternarten aufwiesen. Ähnliche Erfahrungen mit Artbastarden der 5-Nadler-Kiefern liegen bei KRIEBEL (1983), BLAHA (1986) u. a. vor.

Abb. 4:
Aufforstung von
Rauchblößen im Revier
Hammerunterwiesen-
enthal mit *Pinus peuce*
(Anlage 1989, 970 m
ü. NN, Rauchschad-
zone I extrem)

Die in Graupa 1988–1991 durchgeführten Kreuzungen mit 5-Nadler-Kiefern verfolgten vorrangig das Ziel, Hybriden mit einer gegenüber der *Pinus peuce* rascheren Jugendwuchsleistung bei hoher Blasenrostfestigkeit zu erzeugen. In die Kreuzungen waren je 4 Klone der Arten *Pinus peuce* und *Pinus strobus* aus den Graupaer Klonsammlungen sowie ein durch besondere Wüchsigkeit ausgezeichneter Artbastard *Pinus strobus x wallichiana* (= *Pinus x schwerinii*) einbezogen. Pollen von 10 Ausleseebäumen der durch besondere Schmalkronigkeit ausgezeichneten *Pinus-monticola*-Herkunft Cour d' Alene (Idaho) wurde uns freundlicherweise vom Kiefernarboretum Sofronka/Pilsen (DR. KANÁK) zur Verfügung gestellt. Insgesamt gelangen 67 zwischenartliche Kreuzungskombinationen, die sich folgendermaßen aufteilen:

Tab. 2:
Gelenkte Kreuzungen
mit 5-Nadler-Kiefern
(Graupa 1988–1991)

<i>Pinus peuce x strobus</i> und reziprok	26
<i>Pinus peuce x schwerinii</i> und reziprok	8
<i>Pinus peuce x monticola</i>	22
<i>Pinus strobus x schwerinii</i> und reziprok	2
<i>Pinus schwerinii x monticola</i>	9

Ein 1992 angelegter Anbauversuch mit 5-Nadler-Kreuzungssämlingen im Revier Hammerunterwiesenthal ist z. Z. noch nicht ausgewertet (vgl. Abb. 5).

Abb. 5:
Pinus peuce x strobus-
Hybriden auf der Ver-
suchsfläche Hammer-
unterwiesenthal
(Anlage 1992, 850 m
ü. NN, Rauchscha-
dzone I extrem)



Von den weiteren Kiefernarten, deren Immissions-toleranz nachgewiesen ist, seien hier nur noch *Pinus nigra*, *Pinus leucodermis* und *Pinus mugo* agg. (Moorkiefer) erwähnt.

Pinus nigra nimmt zwar in der Rangfolge der „Rauchhärte“ einen der obersten Plätze ein, wird aber bisher wegen ihrer Schneebruchgefährdung nur bis in Höhenlagen von 600 m empfohlen. Inwieweit die bis in Höhen von 1 200 m vorkommenden, durch besondere Schmalkronigkeit und Wuchsfreudigkeit ausgezeichneten bulgarischen und bosnischen Herkünfte (RÖHRIG 1957) auch für einen Anbau in unseren höheren Mittelgebirgslagen geeignet sind, bedarf der Überprüfung.

Die der *Pinus nigra* nahe verwandte *Pinus leucodermis*, die sog. Schlangenhautkiefer, gilt als besonders klimahart und immissionstolerant. Nach SCHENCK (1939) wird sie „in ihrer Anspruchslosigkeit von keiner anderen Baumart Europas erreicht“. In ihrem eng begrenzten natürlichen Areal in einigen Balkan-Gebirgen wird sie bis in Lagen von 2 200 m angetroffen. Als Ergebnis der bereits erwähnten Sammelreise (BRAUN 1988) verfügt die Sächsische Landesanstalt für Forsten über je 25 *Pinus-nigra*- und *Pinus-leucodermis*-Klone aus bulgarischen Originalbeständen.

Die im Erzgebirge mit allen Übergangsformen von kriechwüchsigen (*spp. mugo*) bis zum aufrecht-einstämmigen Typ (*spp. uncinata*) vorkommende Moorkiefer (*Pinus mugo*) gilt als hochwiderstandsfähig gegen SO₂-Immissionen (PODHRADSKY 1986), gleichzeitig aber auch als in ihrem Bestand stark bedroht (GOLDE 1996). Sie wurde daher in das sächsische Programm zur Erhaltung forstlicher Genressourcen aufgenommen (WOLF und BRAUN 1995). Zur Erhaltung der Art wurden Schutzmaßnahmen vorgeschlagen. In Naturschutzgebieten sollten Moorkiefern gebietsfremder Herkunft beseitigt, bei Anpflanzungen außerhalb dieser Gebiete ausschließlich Saatgut erzgebirgischer Provenienz verwendet werden (GOLDE a. a. O.). Zur Generhaltung und Produktion von autochthonem Saatgut wurde bereits früher in Graupa eine Erhaltungs-samenplantage mit Klonen aus dem *Pinus-mugo*-Vorkommen Jahnsgrün angelegt.

Zusammenfassung

Die nach wie vor kritische Situation des Waldes in den immissionsgeschädigten Hochlagen der Mittelgebirge erfordert von der forstlichen Forschung weiterhin Bemühungen um die Bereitstellung von „Ersatzbaumarten“ für die Begründung von Vor- oder Interimswäldern, mit denen die forstliche Bewirtschaftung der Immissionsgebiete bis zum Einbringen der standortgerechten Baumarten nach Abklingen der

gegenwärtigen Schadstoffbelastung aufrechterhalten werden kann. Die Gattung *Pinus* kann hierzu aufgrund ihrer Arten- und Formenvielfalt wie auch ihrer anatomischen und physiologischen Gegebenheiten einen wertvollen Beitrag leisten. Die in Frage kommenden Arten werden vorgestellt, über Ergebnisse der in Graupa durchgeführten Arbeiten wird berichtet.

Literatur

- BLADA, I.: Genetische Resistenz gegen *Cronartium ribicola* und Hybridzüchtung zwischen *Pinus strobus* und *Pinus peuce* (Orig. rumän.). *Revista padurilor* (Bukarest) 101 (1986), 133–135.
- BRAUN, H.: Reisebericht über eine Sammelreise nach Bulgarien (nicht veröffentlicht). Institut für Forstwissenschaften Eberswalde (1988).
- CHIRA, E.: Doterajsie vrsledky a niektore skusenosti v hybridizach lesnych drevin. (Bisherige Ergebnisse und einige Erfahrungen in der Hybridisierung von Waldholzarten). *Lesnický časopis*, Praha, 13 (1967), 319–328.
- CHRISTENSEN, K. J.: A morphometric study of the *Pinus mugo* TURRA complex and its natural hybridization with *Pinus sylvestris* L. (*Pinaceae*). *Feddes Repertorium* 98 (1987), 623–635.
- CRITCHFIELD, W. B.: Geographic Variation in *Pinus contorta*. Harvard Univ., Maria Moors Cabot Found. Publ. 3, (1957) 118 S.
- DIMITRI, M. J.: Die rumelische Kiefer – Zustand, Besonderheiten und Möglichkeiten ihrer Entwicklung und Verbreitung (Orig. bulg.). Landverlag Sofia (1980).
- DOGRA, P. D.: Conifers of India and their wild gene resources in relation to tree breeding. *The Indian Forester* 111 (1985), 935–955.
- DUFFIELD, I. W.: Relationship and species hybridisation in the genus *Pinus*. *Z. Forstgen. und Forstpflanzenzüchtung* 1 (1952) 93–97
- EISELT, M. G.; SCHRÖDER, R.: Nadelgehölze. 4. Auflage Leipzig und Radebeul (1976), 351 S.
- GEISSLER, A.: Auswertung der im Jahre 1930 von JENTSCH angelegten Versuchsflächen mit Murraykiefer (*Pinus contorta* Dougl.). *Soz. Forstwirtschaft* 36 (1986), 182–184.
- GOLDE, A.: Untersuchungen zur aktuellen Situation der Moorpopulationen der Bergkiefer (*Pinus mugo* agg.) in Sachsen als Grundlage für Schutzmaßnahmen. Dipl.-Arbeit TU Dresden, (1996) 86 S.
- HARLOW, W. M.; HARRAR, E. S.: *Textbook of Dendrology*. New York und London (1941), 542 S.
- HARTIG, M.; JUNG, E.: Zur Anzucht der sibirischen Zirbelkiefer (*Pinus cembra* ssp. *sibirica* (DU Tour) Krylov). *Beiträge zur Gehölkunde* (1987), 42–51.
- HUTTUNEN, S.: The effects of air pollution on provenances of Scots pine and Norway spruce in Northern Finland. *Silva Fennica*, Helsinki 12 (1978), 1–16.
- JENTSCH, J.: *Pinus murrayana* Balf. (*Pinus contorta* var. *murrayana* Engelmann; *Pinus latifolia* Engelmann), I. und II. Teil. *Archiv für Forstwesen* 3 (1954), 288–352, 518–554.
- KANÁK, K.: *Arboretum Sofronka*, Praha (1971), 38 S.
- KANÁK, K.: Relations between local populations of the Scots and Mountain pine. *Communicationes Institutis Forestalis, Czechosloveniae* 13 (1983), 265–286.
- KANÁK, K.: Möglichkeiten der Anwendung irgendwelcher Arten der Gattung *Pinus* bei Aufforstungen in den Immissionsgebieten. *Proc. IX. Congressus Dendrologicus Praha-Pruhonice* (1985).

- KANTOR, J.: The provenance study plot with *Pinus contorta* Dougl. Czechoslovakia, Acta Universitatis Agriculturae Brno, Series C., 49, (1980) 33–54.
- KLEIN, B.: Trockenresistenz und Immissionshärte der Fichte, Diss. (1981), Forstwirtschaftl. Fak. d. Ludwig-Maximilian-Universität München, 190 S.
- KOHLSTOCK, N.: Ist *Pinus peuce* bei uns anbaufähig und anbauwürdig? Soz. Forstwirtschaft 15 (1965), 186–188
- KOZJUKINA, Z. T.; OBRASZOWA, W. J.: Beschädigung der Holzpflanzen durch Gase der kokschemischen Industrie (Orig. russ.), Uch. Zap. Perm. Univ. 258 (1971), 191–196.
- KRAUT, H.: Waldbauliche Behandlung von Murraykiefernjungwüchsen und -jungbeständen in Immissions-schadgebieten. Dipl.-Arbeit TU Dresden, Sektion Forstwirtschaft Tharandt (1989), 66 S.
- KRIEBEL, H. B.: Breeding eastern white pine: a world-wide perspective. For. Ecology and Management. Amsterdam 6 (1983), 263–279.
- LATKKE, H.; BRAUN, H.; RICHTER, G.: *Pinus peuce* Griseb. – eine erfolgversprechende Alternativbaumart für die Schadgebiete des oberen Erzgebirges. Soz. Forstwirtschaft 37 (1987), 279–282.
- LATKKE, H.: Kiefernarten für die immissionsgefährdeten Hochlagen der Mittelgebirge. Beiträge für die Forstwirtschaft 24 (1990) 155–160.
- LEVITT, I.: Frost, Drought, and Heat Resistance. In: Protoplasmatologia, Handbuch der Protoplasmaforschung, Bd. VIII, 1–87, Wien (1958).
- LIEBOLD, E.; FLEMMING, G.: Die Windgeschwindigkeit als zusätzlicher Belastungsfaktor im SO₂-geschädigten Fichtengebiet, Soz. Forstwirtschaft 39 (1989) H. 1, 23–25, 30.
- LIEBSCHER, U.: Die Schmiedeberger Höhenkiefer – Möglichkeiten und Methoden zur Erhaltung des Vorkommens. Fachschulabschlußarbeit Ingenieurschule für Forstwirtschaft Schwarzburg (1987), 32 S.
- LITTLE, E. L. JR; RIGHTER, F. J.: Botanical description of forty artificial pine hybrids, US Departm. Agr. Tech. Bull. 1345 (1965), 47 S.
- LYR, H.; POLSTER, H.; FIEDLER, H.-J. und Mitarb.: Gehölzphysiologie, Jena (1967), 444 S.
- MATERNA, J.: Waldschäden in der ČSSR. Österr. Forstzeitung (1987), 17–19.
- MEYER, H.: Ertragskundliche Auswertung eines herkunftssicheren Anbauversuches mit *Pinus contorta* Dougl. (*Pinus murrayana* Balf.) im mitteldeutschen Raum. Archiv für Forstwesen 12 (1963), 601–619.
- MEYER, H.: Abschließende Beurteilung der noch verbliebenen restlichen Jentsch-Versuchsflächen mit *Pinus latifolia* Engelm. (*Pinus murrayana* Balf.). Archiv für Forstwesen 17 (1968), 671–678.
- MINISTERIUM FÜR LAND-, FORST- UND NAHRUNGSGÜTERWIRTSCHAFT DER DDR: Richtlinie für die Bewirtschaftung immissionsgeschädigter Fichtengebiete (1985), 90 S.
- MIROV, N. T.: The genus *Pinus*, New York (1967), 602 S.
- MOTTL, J.; PRUDIC, Z.: Growth analysis of the stone pine on Klinovec in Ore Mountains and their graftings (Orig. tschech.) Zprav. les. vyzk. XXVII (4) (1982), 9–13.
- NEBE, W.: Zur Ernährung von Umwandlungsbaumarten auf immissionsbelasteten Standorten des Erzgebirges. Forstwirtschaftl. Cbl. 113 (1994), 291–301
- PAVLIŠ, J. ET AL.: Die Bedeutung einiger Kiefernarten für die Immissionsgebiete des Erzgebirges (Orig. tschech.), Lesn. prace (1984), 414–420.
- PODHRADSKY, D.: Widerstandsfähigkeit der Moorkiefer gegenüber SO₂-Immissionen im Westerzgebirge (Orig. tschech.) Lesn. prace (1986), 457–464.
- QUERENGÄSSER, E.: Über provenienz-, forstgenetische und forstzüchterische Arbeiten in Nordamerika. Mitteilungen der Dt. Dendrol. Ges. 58 (1953/54), 71–141.
- RANFT, H.; DÄSSLER, H. G.: Rauchhärtest an Gehölzen im SO₂-Kabinerversuch, Flora (Jena) 159 (1970), 573–588.
- RIGHTER, F. J.; DUFFIELD, J. W.: Interspecies Hybrids in pines, J. Hered 42 (1951), 75–80.
- ROHMEDER, E.; MERZ, W.; SCHÖNBORN, A. v.: Züchtung von gegen Industrieabgase relativ resistenten Fichten- und Kiefern-sorten. Forstwiss. Cbl. 81 (1982), 321–332.
- RÖHRIG, E.: Über die Schwarzkiefer (*Pinus nigra* Arnold) und ihre Formen. Silv. Gen. 6 (1957), 39–53.

- RUBNER, K.: Kiefernrassestudien in der Deutschen Bundesrepublik. Archiv für Forstwesen 30 (1959) 165–174, 205–214; 33 (1962) 138–151.
- SCHENK, C. A.: Fremdländische Wald- und Parkbäume. II. Bd. „Nadelgehölze“. Berlin (1939).
- SCHRÖCK, O.: Kiefer, *Pinus*. Handbuch der Pflanzenzüchtung. 2. Auflage, Bd. VI Berlin, Hamburg (1962), 837–853.
- STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN DES FREISTAATES SACHSEN: Waldschadensbericht 1996, Dresden/Graupa (1997), 92 S.
- STEPHAN, B. R.: Zur intraspezifischen Variation von *Pinus contorta* auf Versuchsflächen in der Bundesrepublik Deutschland. II. Ergebnisse aus der IUFRO-Versuchsserie von 1971/72, Silv. Gen. 29 (1980), 62–74.
- STEPHAN, B. R.: Herkunftsversuche mit *Pinus contorta* in der Bundesrepublik Deutschland Forstwissenschaftl. Cbl., 101 (1982) 245–259.
- STEPHAN, B. R.: Schwarzkiefern-Herkunftsversuch im südlichen Schleswig-Holstein, Allg. Forstzeitschrift 39 (1984), 579–581.
- STEPHAN, B. R.: Zur Blasenrostresistenz von fünfnadligen Kiefernarten. Allg. Forstzeitschrift 40 (1985), 695–697.
- THOMASIIUS, H.; HARTIG, M.: Anbau und waldbauliche Behandlung von Umwandlungsbaumarten in den SO₂-Schadgebieten des Erzgebirges. Agra-Broschüre, Markkleeberg (1989), 44 S.
- THÜMLER, K.: Erste Ergebnisse eines Anbauversuchs mit Gebirgsherkünften der *Pinus sylvestris* L. Archiv für Forstwesen 16 (1967), 713–718.
- TZSCHACKSCH, O.: Vorschlag einer rauchharten Herkunftsorte der Murraykiefer zur Anerkennung, F/E-Bericht, Institut für Forstwissenschaften Eberswalde (1971), 38, nicht veröffentlicht.
- TZSCHACKSCH, O.: Zur Labor- und Feldresistenz der Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) gegenüber phytotoxischen Stoffen und Schlußfolgerungen für die Anbauwürdigkeit von Kiefernarten in den Immissionsschadgebieten des oberen Erzgebirges. Beiträge für die Forstwirtschaft 21 (1987), 97–102.
- TZSCHACKSCH, O.; VOGL, M.; THÜMLER, K.: Vorselektion geeigneter Provenienzen von *Pinus contorta* Douglas (*Pinus murrayana* Balf.) für den Anbau in den Rauchschadgebieten des oberen Erzgebirges. Archiv für Forstwesen Berlin 18 (1969), S. 979–982.
- TUBEUF, C. v.: *Pinus peuce* als Ersatz der Weymouthskiefer. Mitteilungen der Dt. Dendrol. Ges. (1927), 241–244.
- WOLF, H.; BRAUN, H.: Erhaltung und Förderung forstlicher Genressourcen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten (1995), Heft 3.
- WRIGHT, J. W.: Species hybridization in the white pines. Forest Sc. 5 (3) (1959), 210–222.

Die Immissionstoleranzforschung in Tharandt und ihr Beitrag zur Erhaltung der Mittelgebirgswälder sowie zur Industrieumgrünung

H.-G. DÄSSLER

Abb. 1:
Institut für Pflanzen-
chemie und Holz-
chemie der TU Dres-
den in Tharandt

Erneut hat das Erscheinen des Waldzustandsberichts 1996 der Bundesregierung in der breiten Öffentlichkeit und unter Wissenschaftlern heftige Diskussionen ausgelöst. Wiederum stehen die angewandte Erhebungsmethodik, die Nutzung der Belaunungs- oder Benadelungsgrade zur Schad-

Fichten in den Höhenlagen des Erzgebirges und des Thüringer Waldes, so wird die offensichtliche Unterbewertung der Waldschadenssituation klar erkennbar.

In einer ähnlichen, wenn auch unter wesentlich anderen Vorzeichen stehenden Lage befand sich die Tharandter Immissionsforschung Mitte der fünfziger Jahre. Während des 2. Weltkrieges aufgrund der Ereignisse bedeutungslos geworden, hatte sie zunächst ein Schattendasein gefristet. Meldungen in den Nachkriegsjahren über die Zunahme der Staub- und Abgasbelastung und über Vegetationsschäden infolge des raschen industriellen Wiederaufbaus fanden bald öffentliche Beachtung und lösten Aufträge zu ersten großflächigen diagnostischen Erhebungen aus, die z. T. überraschende Ergebnisse erbrachten. Als dann die Interpreten der Untersuchungsergebnisse warnend den Finger erhoben und Maßnahmen zur Emissionsminderung einforderten, wurden sie als Schwarzseher, Panikmacher und Umweltfanatiker bezeichnet, der Überbewertung des Problems und der Anwendung zweifelhafter Diagnosemethoden bezichtigt. Der Autor erinnert sich noch einer Fachtagung an der Landwirtschaftsakademie zu Berlin im Jahre 1961, auf der ihm nach seinem Referat von Fachleuten entgegen wurde, daß die Industrie in Kürze Verfahren zur völligen Rückhaltung der Luftschadstoffe besitze und unsere Bedenken und weitere Forschungen auf dem Gebiet gegenstandslos seien. Die rasante Zunahme der Schäden an Waldbeständen in der Nähe industrieller Ballungsgebiete oder neu erstandener Großanlagen in den Folgejahren gab allerdings den gestellten Prognosen recht und erforderte nunmehr von der Wissenschaft erfolgreiche Gegenmaßnahmen. Trotz der im Tharandter Arbeitskreis vorliegenden zahlreichen Untersuchungsergebnisse von STÖCKHARDT, v. SCHRÖDER und WISLICENUS fehlte es jedoch an ausreichendem Wissen über die Widerstandsfähigkeit von Holzarten gegenüber Immissionen.



stufenabgrenzung und die Nichtberücksichtigung globaler atmosphärischer Veränderungen im Blickpunkt der Kritik. Aufgrund der Tatsache, daß in den Wäldern Europas trotz geringerer Benadelungsgrade höhere Zuwüchse als zuvor zu verzeichnen sind, werden das Vorliegen großflächiger Schäden in den Waldökosystemen in Frage gestellt und Hinweise auf den schlechten Gesundheitszustand der Wälder als Umwelthysterie abqualifiziert. Da im öffentlichen Leben Umweltprobleme von anderen Sorgen auf der politischen Bühne zunehmend verdrängt werden, verstärkt sich der Eindruck, die umfangreichen Waldschädigungen gehörten der Vergangenheit an. Betrachtet man jedoch die Höhe der Schadstoffeinträge an den Stationen der weitverzweigten Meßnetze, die verbreitete Bodenversauerung, die Störungen im Nährstoffhaushalt und Wasserhaushalt sowie die Schädigungsgrade der

Diese unter dem Begriff Immissionstoleranz bekannte, früher als Rauchhärte oder Immissionsresistenz bezeichnete Pflanzenreaktion auf eine gegebene Immissionsbelastung läßt Aussagen über den Belastungsgrad durch Luftverunreinigungen zu, den die Pflanzen unter bestimmten Umweltbedingungen ohne Veränderung ertragen können. Der Toleranzgrad der Pflanzen wird bestimmt durch ihre genetische Ausstattung, ihren Entwicklungszustand zum Zeitpunkt der Einwirkung sowie durch äußere Faktoren wie Boden, Klima oder biotische Interferenzen. Die Toleranzunterschiede wiederum beruhen vornehmlich auf bestimmten inneren, vererbaren Eigenschaften, auf anatomisch-morphologischen Besonderheiten sowie interzellularen

biochemischen und physiologischen Reaktionen. Eine besondere Rolle kommt dabei biochemischen Entgiftungsmechanismen zu, die für einen raschen Abbau der in die Pflanzenzelle eingedrungenen Luftschadstoffe, deren Umwandlungsprodukte, vor allem der durch sie induzierten Sauerstoffradikale sorgen. Nachteilig auf die Immissionstoleranz wirken sich alle Witterungseinflüsse aus, die den Spaltöffnungsmechanismus beeinflussen (Wind, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Strahlung), aber auch Klimaextreme wie Dürre und starke Fröste. Darüber hinaus beeinflussen die Nährstoffversorgung und Standortfaktoren das Ausharrvermögen der Pflanzen.

Konzeption und Untersuchungsmethodik

Für die Gewinnung verallgemeinerungsfähiger Aussagen zur Immissionstoleranz und zur Untersuchung quantitativer Zusammenhänge zwischen Schadstoffgehalt der Luft und Wirkung auf den Pflanzenorganismus erschien uns die experimentelle Begasungstechnik mit definierten Schadstoff-Luftgemischen geeignet, zumal zu dieser Untersuchungsmethodik bereits im Arbeitskreis durch H. WISLICENUS im Rauchversuchshaus gesammelte Erfahrungen vorlagen.

Der Beginn der Arbeiten war keineswegs unproblematisch. Die von H. WISLICENUS 1914 konzipierte und erbaute Versuchsanlage war nur noch in Fragmenten vorhanden, sie erwies sich als veraltet und für die vorgesehenen Arbeiten nicht mehr geeignet. Die benötigten Gasdurchsatzmengen, die Gemischkontrollen und die Applikationstechnik erforderten einfache und handliche Anordnungen. Um Begasungen unter weitgehend freilandähnlichen Bedingungen an einer Vielzahl von Versuchsobjekten durchführen zu können, wurde 1961 mit dem Bau eines Prüffeldes auf dem Wildacker im Tharandter Wald begonnen. Die mit fünf unabhängig voneinander beschickbaren Kabinenreihen und modernen Mischpumpen versehene Anlage ging 1963 voll in Betrieb. Leistungsfähige Ventilatoren sorgten für den Eintrag der Schadstoff-Luftgemische mittels eines Röhrensystems in die Kabinen. Mischtechnik und Meßsysteme ermöglichten Begasungen mit SO₂, HF, SO₂-HF-Gemischen, später mit Ozon,



NO₂, HCl, weiteren gasförmigen Schadstoffen und Kombinationen in kontrollierten und unterschiedlich dosierten Konzentrationen. Später konnte die Prüfanlage durch verschiebbare Großkabinen, durch open top chambers und Berechnungsanlagen ergänzt werden.

Abb. 2:
Prüffeld Immissionsforschung im Tharandter Wald

Immissionsszenarien und Toleranzprüfungen

Die installierte Technik gestattete sowohl Kurzzeitbegasungen mit hohen Schadstoffkonzentrationen als auch Langzeitbegasungen mit sehr niedrigen Dosierungen über mehrere Wochen und Monate als auch intermittierende Begasungen, bei denen den Versuchspflanzen längere Erholungsphasen eingeräumt wurden.

Da in Vorversuchen mit höheren SO_2 -Konzentrationen festzustellen war, daß bei *Picea abies* innerartliche Toleranzunterschiede (individuelle Resistenz) auftreten, wurden zunächst Massenselektionen an meist im eigenen Camp angezogenen Fichtenjungpflanzen unterschiedlicher Provenienzen, später auch an Fichtenklonen und Lärchenkreuzungen mit dem Ziel durchgeführt, tolerantere Individuen für den Anbau in Immissionsgebieten und für die Beerntung zu gewinnen. Die Ergebnisse dieser zeit- und materialaufwendigen Methodik wurden der Forstpflanzenzüchtung zur Verfügung gestellt und haben in den Arbeiten von SCHÖNBACH et al. 1964 und TSCHACKSCH 1981 ihren Niederschlag gefunden. Die Untersuchungen an getopften Jungfichten ließen weiterhin erkennen, daß die Immissionsempfindlichkeit mit zunehmendem Nadelalter abnimmt.

lichkeit des jüngsten Nadeljahrganges (LIEBOLD et al. 1982).

Lange Zeit wurde der Immissionseinfluß auf Pflanzen während der kalten Jahreszeit wegen des eingeschränkten Stoffwechsels für gering eingeschätzt. Wie Untersuchungen jedoch ergaben, nimmt in stärker immissionsbelasteten Gebieten die Frostgefährdung der Fichtenbestände ständig zu. Ein Anstieg der Frostempfindlichkeit unter Immissionseinwirkung konnte eindeutig nachgewiesen werden. Bei den in einem SO_2 -belasteten Gebiet exportierten Versuchspflanzen lag die relative Frosthärte gegenüber nicht immissionsbelasteten Kontrollgruppen um 4–5 °C niedriger. Daraufhin durchgeführte experimentelle SO_2 -Begasungen an Fichten im Winter ließen erkennen, daß oft nicht die niedrige SO_2 -Toleranz, sondern in erster Linie die verringerte Frosthärte als Schädigungsursache in Frage kommt. Die komplexe Wirkung von SO_2 und Frost führt in den Fichtenwäldern der Mittelgebirgslagen zu teilweiser oder völliger Braunfärbung der Benadelung und kann bei strengen Früh- und Spätfrösten zum Absterben von Bestandteilen führen. Der Stabilisierung und Erhöhung der Frosthärte durch Düngevarianten wurde deshalb in weiteren Versuchsreihen besondere Beachtung geschenkt (DÄSSLER und RANFT 1986).

Die Überprüfung der zur Kulturpflege und Flächenvorbehandlung in SO_2 -belasteten Mittelgebirgslagen verwendeten Herbizide und deren Einfluß auf den Gesundheitszustand von Fichtenpflanzen unter Immissionsbedingungen ergab eine deutliche Vitalitätsminderung der Pflanzen. Die nachteilige Beeinflussung durch Herbizide beruht dabei vor allem auf einer Verringerung der Frosthärte im Winter. Kiefernarten und *Picea pungens* erwiesen sich als weniger beeinflussbar.

Die besorgniserregende Zunahme der durch primäre „klassische“ Luftverunreinigungen ausgelösten Vegetationsschäden in industrienahen Zonen und großflächigen Immissionsgebieten veranlaßten uns, umfangreiche Versuchsbegasungen an einer Vielzahl von Holzarten mit relativ hohen Schadstoffdosierungen vorzunehmen, um nach der Intensität sichtbarer Schädigungseffekte Toleranzreihen auf-



Abb. 3:
Blau-Fichten am stark
abgasbelasteten Erzgebirgskamm

Bei SO_2 -vorbelastetem Versuchsmaterial aus einem Immissionsgebiet waren jedoch bei gleicher Begasungsintensität höhere Schädigungsgrade an den älteren Nadeln festzustellen. Die mehrjährige Immissionsvorbelastung unter Feldbedingungen überdeckt demnach die höhere Immissionsempfind-

zustellen. Je nach ihrem Verhalten wurden die getesteten Pflanzen in Kategorien „sehr empfindlich“ über Zwischenstufen bis „weitgehend tolerant“ eingeordnet. Vor allem die fortschreitende immissionsbedingte Dezimierung der Fichtenbestände in den Kammlagen der Mittelgebirge erforderte die Intensivierung der Suche nach geeigneten Ersatzbaumarten. Das weit verbreitete Auftreten und die hohe Phytotoxizität waren Grund dafür, daß wiederum zunächst Prüfungen mit SO₂ an einem etwa 200 Arten umfassenden Gehölzsortiment vorgenommen wurden. Parallel dazu erfolgte die Auswertung von Gehölzversuchsflächen, die im Nahbereich von drei Großbetrieben der chemischen Industrie angelegt worden waren. Bewertet wurden die Blatt- und Nadelempfindlichkeit der Versuchspflanzen sowie deren Regenerationsvermögen zu verschiedenen Zeitpunkten der Vegetationsperiode. Bei den mehrjährigen Versuchsreihen war eine weitgehende Übereinstimmung der Toleranzrangfolge zwischen den Ergebnissen der Kabinentests und Freilandbeobachtungen festzustellen. Mit Hilfe dieser breit angelegten Testreihen konnten für stark SO₂-belastete Schadgebiete etwa 20 bis 30 verhältnismäßig tolerante Gehölzarten vorgeschlagen werden. Zahlreiche empfindliche Arten ließen sich dagegen als für den Anbau ungeeignet ausschließen. Nachdem erkannt worden war, daß Fluorverbindungen häufiger am schädigenden Immissionskomplex beteiligt sind als bisher angenommen, wurde in zunehmendem Maße Fluorwasserstoff (HF) in die Testreihen und Freilanduntersuchungen einbezogen. Bei einer Gegenüberstellung unter definierter HF-Belastung geprüfter Gehölzarten mit speziell im Immissionsbereich eines Flußsäurewerkes angepflanzten gleichen Sortimenten ließ sich an den bis zu 8jährigen Pflanzen eine weitgehende Übereinstimmung im Toleranzverhalten bestätigen (DÄSSLER et al. 1972). Erwähnung finden sollten in diesem Zusammenhang auch die umfangreichen Untersuchungen zur HF-Toleranz diverser Obstgehölze, mit deren Hilfe Landwirtschafts- und Gartenbaubetrieben in belasteten Gebieten größere wirtschaftliche Verluste erspart werden konnten.

Um den Einfluß definierter Mischimmissionen zu studieren, erfolgten Kombinationsbegasungen mit SO₂-HF-Gemischen, wobei die Dosierungen den in Immissionsbereichen gemessenen Mischungsverhältnissen angepaßt wurden. Vergleiche von Prüf-

feldresultaten mit Schadansprachen auf immissionsbelasteten Versuchsflächen ließen wiederum weitgehende Übereinstimmung erkennen. Die getesteten Holzarten zeigten im wesentlichen die gleichen Rangfolgen, die im Verlauf einer Vegetationsperiode kleinen Schwankungen unterliegen können.

Die Zunahme errichteter Tierintensivhaltungen und deren Emissionen gaben Veranlassung zur Prüfung der NH₃-Toleranz von Laub- und Nadelgehölzen. Auch für weitere Schadstoffe wie HCl, Cl₂, NO_x, und Ozon liegen inzwischen umfangreiche Erfahrungen vor (FANGMEIER 1989; GUDERIAN 1985).



Abb. 4:
Ersatzbaumarten:
Anbau von *Picea omorika* auf immissionsbelasteten Flächen im West-
erzgebirge

Wie sich sehr bald herausstellte, kann die Toleranz von Pflanzen gegenüber unterschiedlichen Luftschadstoffen stark unterschiedlich sein. Die mit SO₂ erreichten Ergebnisse sind deshalb nicht auf andere Schadstoffe übertragbar. So erweisen sich z. B. die als SO₂-tolerant eingestufte *Castanea sativa* und *Taxus baccata* als wesentlich fluorempfindlicher. Ein Vergleich der Toleranzreihen gegenüber SO₂ und gegenüber Ozon läßt wiederum erkennen, daß *Sorbus aucuparia* und *Pinus nigra* als ozonempfindlicher einzuordnen sind, während die SO₂-empfindliche *Picea abies* sich als verhältnismäßig ozontolerant erweist.

Anzumerken ist allerdings, daß die meisten Toleranzprüfungen zunächst mit relativ hohen Schadstoffkonzentrationen vorgenommen worden sind, wobei die Rangfolge-Einteilung nach der Intensität sichtbarer Schädigungen erfolgte. In der

Zwischenzeit konnten einige der vorliegenden Toleranzreihen durch Langzeituntersuchungen mit niedrigeren Schadstoffdosierungen und Freilandbeobachtungen an nunmehr 30jährigen Versuchspflanzungen in Immissionsgebieten ergänzt werden. Unzureichende Kenntnisse liegen dagegen bisher über den Einfluß weiterer Mischimmissionen (z. B.: $\text{SO}_2 + \text{O}_3$; $\text{SO}_2 + \text{O}_2 + \text{NO}_x$; $\text{SO}_2 + \text{HF} + \text{O}_3$) und deren Auswirkung auf die Toleranzreihen vor.

Wegen des unterschiedlichen Verhaltens von Pflanzen unter verschiedenen Standort- und Umweltbedingungen sind gegen die Aufstellung derartiger Toleranzreihen wiederholt Bedenken erhoben worden. Werden jedoch bei der Einordnung weitgehende Differenzierungen vermieden und lediglich Gruppen unterschiedlicher Toleranz zusammengefaßt, ist gegen die Handhabung der Toleranzreihen nichts einzuwenden. Für die Wiederaufforstung von Schadgebieten und für die Anlage von Grüngürteln in Immissionsgebieten ist es unerläßlich, derartige in Begasungsexperimenten ermittelte Rangfolgen zur Verfügung zu haben. Alle Ergebnisse der Toleranzforschung flossen in Bewirtschaftungsrichtlinien ein, die vom Tharandter

Arbeitskreis bzw. unter dessen Federführung für großflächige Schadgebiete (Dübener Heide, Erzgebirge, Lausitzer Gebirge) und für lokale Schadflächen in der Umgebung größerer Industrieanlagen ausgearbeitet wurden. Diese Richtlinien zur Bewirtschaftung belasteter Waldbestände unter den jeweiligen Standortbedingungen enthielten neben den erforderlichen Angaben zum Einsatz immissionstoleranterer Baumarten u. a. auch Hinweise für die Erhaltung und Anlage von Klimaschutzriegeln und Vorwaldbeständen, zur Behandlung der Bestandesränder und für Düngemaßnahmen. Ziele dieser Empfehlungen waren die Verzögerung des Schadfortschrittes, die Erhaltung der landeskulturellen Leistungen der Bestände, die Geringhaltung der Nutzholzentwertung und die Schaffung von Voraussetzungen für eine Begründung neuer Waldbestände nach Abklingen der Immissionen. Für die Industrieumgrünung wurden nach Abklärung der Immissionsbelastung Projekte ausgearbeitet, denen außer Angaben zu schadstofftoleranteren Baum- und Straucharten Empfehlungen zur Bodenvorbehandlung, zur Düngung, zur Anlage von Staub- und Lärmschutzbeständen sowie zur Haldenbegrünung zu entnehmen waren.

Resümee

Seit 1964 wurden im Tharandter Arbeitskreis umfangreiche Untersuchungen zur Immissionstoleranz von Gehölzen durchgeführt. Die ermittelten und sorgsam bewerteten Immissionstoleranz-Reihen haben sich für den Anbau von Fichtenersatzbaumarten in immissionsbelasteten Mittelgebirgslagen und für die Industrieumgrünung als nützlich erwiesen.

Beweise hierfür sind die in stark abgasbelasteten Erzgebirgslagen befindlichen 20- bis 25jährigen, intakten Anbauflächen mit toleranteren Holzarten sowie die realisierten Umgrünungsprojekte von metallurgischen Betrieben im Inland, in Polen und der Slowakei.

Die vorgebrachten Einwände, die Immissionstoleranz-Forschung hätte die Industrie nur von der Verpflichtung zur Abgasreinigung entlastet, müssen zurückgewiesen werden. Vom Tharandter Arbeitskreis ist gegenüber der Industrie stets nachdrücklich die Forderung erhoben worden, den Abgasausstoß auf ein Mindestmaß und damit auf Größenordnungen zu senken, die von den meisten Pflanzen ertragen werden können. Da es auch künftig keine emissionsfreien Industrieanlagen geben wird und neue Luftschadstoffe zu erwarten sind, ist der Immissionstoleranz-Forschung auch weiterhin Beachtung zu schenken.

Literatur

SCHÖNBACH, H.; DÄSSLER, H.-G.; ENDERLEIN, H.; BELLMANN, E. UND KÄSTNER, W.: Über den unterschiedlichen Einfluß von Schwefeldioxid auf die Nadeln verschiedener Lärchenkreuzungen. Züchter 34 (1964): 312–316

TZSCHACKSCH, O.: Stand und Perspektiven der forstlichen Rauchresistenz-Züchtung in der DDR. Beiträge für die Forstwirtschaft (1981): 134–137

LIEBOLD, E.; EWERT, E.; DÄSSLER, H.-G.: Untersuchungen über den Einfluß von SO₂ und SO₂-HF-Gemischen auf Nadeljahrgänge unterschiedlichen Alters bei Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.). Wiss. Z. TU Dresden 31 (1982): 201–204

DÄSSLER, H.-G. UND RANFT, H.: Untersuchungen zur komplexen Wirkung von Immissions- und Frosteinfluß auf Fichtenwald in Mittelgebirgs-lagen. Allg. Forstzeitschr. 41 (1986): 340–343

DÄSSLER, H.-G.; RANFT, H. UND REHN, K.-H.: Zur Widerstandsfähigkeit von Gehölzen gegenüber Fluorverbindungen und SO₂-Flora 161 (1972): 289–302

FANGMEIER, A.: Effects of open top fumigations with SO₂, NO₂, and ozone on the native herb layer of a beech forest. Env. Exp. Bot. 29 (1989): 199–213

GUDERIAN, R.: Air Pollution by Photochemical Oxidants Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag (1985)

Die Bedeutung der Immissionsforschung und Resistenzzüchtung für den forstpraktischen Betrieb in Vergangenheit und Gegenwart

P. BRANZ

Die räumliche Nähe des Osterzgebirges und des Tharandter Waldes, sowohl zur Rauchschadforschung an der Forstlichen Akademie bzw. Hochschule in Tharandt als auch zu den Emittenten der Freiburger Hüttenindustrie und zur schadverursachenden Industrie im nordost-böhmischen Braunkohlegebiet führten dazu, daß die Forstleute des Osterzgebirges schon frühzeitig mit Rauchschäden, Schaddiagnostik und mit Vorschlägen zur Behandlung der Bestände konfrontiert wurden.

Mit der Forsteinrichtung zum Stichtag 01.01.1965 wurden erstmals konkrete Schadflächen im Bereich des Staatlichen Forstwirtschaftslehriebetriebes Tharandt ausgewiesen (905 ha in der Oberförsterei Altenberg und 188 ha in der Oberförsterei Tharandt).

In den 70er Jahren entwickelte sich in den Kamm-lagen des Erzgebirges der Schadfortschritt so dramatisch, daß für die Aufforstung der entstandenen Kahlfelder die Praktiker Unterstützung bei der Baumartenwahl brauchten.

Der Gesundheitszustand vieler Fichtenauf- und Jungwüchse ließ den Kulturerfolg von Fichtenaufforstungen auf vielen Standorten fragwürdig erscheinen.

1983 wurde der Fichtenanbau in den Rauchschad-zonen I extrem und I durch die Abteilung Forst-wirtschaft generell untersagt und in der Rauch-schadzone II nur in Ausnahmefällen zugelassen. Da Pflanzenmaterial anderer geeigneter einheimischer Baumarten nur im begrenzten Umfang zur Ver-fügung stand, wurde auf fremdländische Arten zurückgegriffen. Baumarten, die als Einzelvor-kommen in der Nähe von Industrieanlagen ihre Feldresistenz nachgewiesen hatten, wurden durch die Wissenschaft zum Anbau empfohlen.

Was lag in einem traditionellen Fichtengebiet näher, als erst einmal die fremdländischen Vertreter

der Gattung *Picea* dabei ins Auge zu fassen.

Diese empirisch nachgewiesene hohe Feldresistenz wurde dann durch entsprechende Begasungsver-suche untermauert. Im Ergebnis dieser Kabinen-tests entstand eine Liste der wichtigsten Baum- und Straucharten mit einer nachgewiesenen artspezifi-schen SO₂-Resistenz. Damit hatte die Praxis eine Grundlage für die Baumartenwahl in den Schad-gebieten.

Die übrigen Gefährdungen, insbesondere in den Kammlagen, konnten nur durch entsprechende Feldversuche geprüft werden.

Ein Netz von Versuchsflächen über das gesamte Schadgebiet gelegt, liefert heute wertvolle Erkennt-nisse zur Anbauwürdigkeit einzelner fremdländi-scher Baumarten und in Verbindung mit anderen Provenienzversuchen auch zur Eignung spezieller Herkünfte.

Im praktischen Forstbetrieb fanden diese Empfeh-lungen nicht immer die notwendige Berücksichti-gung. Die Baumart Murray-Kiefer ist dafür ein deutliches Beispiel. Obwohl durch Provenienzver-suche hinreichend bekannt war, daß Herkünfte aus dem gebirgigen Südwesten Kanadas (z. B. „Sundre“ aus dem Staate Alberta) und Nordwesten der USA am besten für die hiesigen Anbaugelände geeignet sind, wurden immer wieder küstennahe Herkünfte aus Oregon und Washington von inkompetenten Saatguteinkäufern importiert.

Man muß deshalb befürchten, daß bei den gegen-wärtig auf reichlich 200 ha stockenden Murray-Kiefernbeständen im Forstamt Altenberg auch Populationen dabei sind, die für das Anbaugelände weniger geeignet sind.

Bei der Douglasie gab es ähnliche Tendenzen. Bedauerlich ist ebenfalls, daß für alles importierte

Saatgut nur eine einheitliche Herkunftsschlüsselnummer vergeben wurde. Damit ist ein aussagekräftiger Herkunftsnachweis kaum möglich.

Die Erhaltung der genetischen Substanz der Fichte im Kammbereich des Erzgebirges wurde sowohl für die Wissenschaft als auch für die forstliche Praxis zu einem Wettlauf mit der Zeit. Selbst geringste Zapfenmengen wurden von den Zapfenpflückern unter schwierigsten Bedingungen geerntet.

Auf dem Kahleberg wurde ein Behang von 12 Zapfen/Baum als erntelohnend eingestuft. Als der Behang immer spärlicher wurde und schließlich völlig ausblieb, wurden an noch wenigen verbliebenen Altfichten und an vitalen Exemplaren in einzelnen Verjüngungsgruppen Pflöpfreiser geschnitten.

Als Ergebnis dieser Arbeit entstanden Erhaltungsplantagen für die Kammlagenfichten in Paulshain und Hirschbach. In der damaligen Oberförsterei Tharandt entstand ein Mutterquartier zur autovegetativen Vermehrung der Fichte.

Bewährte Sonderherkünfte wie die „Schmiedberger Höhenkiefer“ oder die „Schindelbacher Douglasie“ stehen in Samenplantagen in den Forstämtern Bärenfels und Tharandt für eine weitere Verbreitung zur Verfügung.

Das Pflöpfen wurde zu einer zusätzlichen Tätigkeit für interessierte Waldarbeiter. 1985 wurden 4 Waldarbeiter des ehemaligen Forstbetriebes vom Forschungs- und Überleitungszentrum Graupa ausgebildet. Ihre Aufgabe war es:

- die Pflöpfungen in den Mutterquartieren durchzuführen und
- Blaufichtenkulturen im Sinne einer Z-Baumauswahl mit Reisern der Gemeinen Fichte zu überpflöpfen.

Die Erwartungen, daß bei den Pflöpfungen die Rauchhärte der Blaufichte sich auf das Fichtenreis überträgt, erfüllte sich nicht. Die Pflöpflinge machen einen schütterten Eindruck und haben besonders im Winter 1995/96 sehr gelitten (vgl. Abb. 1).



Im Jahre 1986 erfolgten 1 197 Pflöpfungen. Der Pflöpfenerfolg war mit 20 % bei Fichte und 7,5 % bei Blaufichte sehr bescheiden.

Die Mutterquartiere, die heute Herkünfte repräsentieren, die am Ort der Reisergewinnung nicht mehr existieren, sind wertvoll für künftige Züchtungs- und Vermehrungsaufgaben. Der Erfolg bei den überpflöpfen Blaufichtenkulturen ist äußerst fragwürdig.

Mit züchterisch großem Aufwand wurden der forstlichen Praxis Aspenpflanzen aus Gewebekulturen zur Verfügung gestellt.

Genetische Einengung, aufwendige Anzucht und damit hoher Pflanzenpreis und schließlich enormer Transportaufwand, da dieses Pflanzenmaterial aus-

Abb. 1:
Fichten-Hochpflöpfungen



Abb. 2:
Meristemaspfen

schließlich als Substratpflanzen bereitgestellt wurde, rechtfertigen nur in Ausnahmefällen die Begründung von Vorwaldbestockungen mit diesem Pflanzenmaterial. Natürliches Ansamen dieser Baumart, insbesondere nach Kalkungsmaßnahmen, erfordert nunmehr auch keine Kulturbegründung mit dieser Baumart.

Die aus dem kampagneartigen Anbau dieser Meristemaspfen inzwischen entstandenen Bestockungen bieten günstige waldbauliche Möglichkeiten zum Einbringen von Schatt- und Halbschattbaumarten (vgl. Abb. 2).

Einen wesentlichen Beitrag zur Aufforstung im Rauchschaadgebiet lieferte die Forstpflanzenzüchtung mit der Bearbeitung der Lärchenarten.

Ausgewählte Sorten der Hybridlärche lassen bei inzwischen 19jährigen Anbauten beim nächsten Pflegeeingriff auch in extremem Schadgebiet die Nutzung verwertbarer Sortimente zu, während bei einer Reihe anderer Baumarten lediglich die Erhaltung der Vegetationsform Wald erwartet werden kann.

Heute, unter dem Einfluß immer noch hoher SO₂-Belastung, sehr hoher Ozon- und Fluorwerte, Disharmonien im Ernährungshaushalt durch hohe Stickstoff- und Schwefelgehalte und nicht mehr zu leugnende Klimaveränderungen, ist genetische Vielfalt mehr denn je gefragt, damit auch künftige Waldgenerationen den unterschiedlichen Belastungen gewachsen sind.

Dabei ist Artenvielfalt genauso notwendig, wie die Ausnutzung der ökologischen Amplitude bei den einzelnen Baumarten.

Mit gegenwärtig 40 Baumarten, die im Forstamt Altenberg vorkommen, gibt es eine breite Basis, die durch die Immissionsforschung künftig wissenschaftlich begleitet werden muß, damit verlässliche Empfehlungen für den künftigen Anbau dieser Baumarten gegeben werden können.

Hochleistungssorten, die gegenwärtig für die Baumarten Aspe, Lärche und Douglasie vorliegen und im Rauchschaadgebiet ihre Eignung nachgewiesen haben, sind in angemessenem Umfang ebenfalls beim Anbau zu berücksichtigen.

Die nachhaltige Erfüllung der Nutzfunktionen, die im Waldgesetz gefordert wird, zwingt auch zur Nutzung dieser Möglichkeit, selbst um den Preis, daß die genetische Basis dabei eingeschränkt wird.

Genetische und phänotypische Merkmale von Nachkommen feldresistenter Fichten – *Picea abies* (L.) Karst. – aus Immissionsschadgebieten

H. HERTEL

Einleitung

Viele Fichtenbestände des oberen Erzgebirges sind aufgrund jahrzehntelanger SO₂-Immission stark geschädigt und teilweise oder vollständig abgestorben. Vor mehr als 25 Jahren wurden deshalb Erhaltungsmaßnahmen auf der Basis verschiedener Konzeptionen und Methoden begonnen. Ausgewählte vitale Bäume wurden beerntet und zusätzlich über Stecklinge und Pfropflinge vermehrt, um Klon-sammlungen, Samenplantagen und Mutterquartiere auch in Gebieten mit geringerer Luftschadstoffbelastung anzulegen (Review MIHM 1991).

Aufgrund der z. T. geringen Anzahl bewurzelungs-fähiger Klone und der wahrscheinlich eingetretenen Selektion durch die starke SO₂-Belastung war zunächst anzunehmen, daß sich die genetische Struktur der „Restpopulation“ im Vergleich zum Ausgangsmaterial verändert haben könnte.

Mit Isoenzym-Genmarkern sollte untersucht werden, ob und wie sich die genetische Struktur selektierter Klone und ihrer generativen Nachkommen von anderen Fichtenbeständen des Gebietes unterscheidet, und ob bei der Einbeziehung dieses Materials in Aufforstungen eine verminderte Anpassungsfähigkeit durch genetische Einengung zu befürchten wäre.

Material und Methoden

In den 70er Jahren wurde im damaligen Forschungs- und Überleitungszentrum Graupa des Institutes für Forstwissenschaften Eberswalde mit der Auswahl widerstandsfähiger Fichten für den Anbau in Rauchschadgebieten begonnen. Von TZSCHACKSCH (1983) wurden in 40- bis 50jährigen, stark SO₂-geschädigten Beständen der Reviere Seiffen, Oberlochmühle und Deutscheinsiedel des oberen Erzgebirges Fichten mit möglichst geringen

Am Beispiel der 1979 angelegten Fichtenklonplan-tage Dahmsdorf bei Waldsieversdorf (Brandenburg) wurde die genetische Struktur der selektierten Klone mit Literaturdaten und mit anderen Fichten-populationen aus eigenen Untersuchungen ver-glichen. Die ermittelten populationsgenetischen Parameter ergaben eine ausreichende genetische Variation, die sich nicht wesentlich von anderen schon untersuchten Fichtenpopulationen der Region unterschied (HERTEL und EWALD 1995). Der durch die geringe Klonzahl bedingte Verlust selte-ner Allele mit Häufigkeiten unter 1 % wurde rein rechnerisch auf ca. 30 % der ursprünglich vorhan-denen geschätzt. Ein Vergleich mit dem Ausgangs-zustand ist nicht mehr möglich.

Das Ziel eines 1993 begonnenen Modellversuchs besteht darin, genetisch unterschiedlich strukturier-te Modellpopulationen aus Kreuzungsnachkom-menschaften langfristig zu beobachten, um festzu-stellen, welche Unterschiede zwischen den Gruppen bei Resistenz- und Wuchseigenschaften bestehen. Es geht dabei um die experimentelle Untersuchung der Frage, ob populationsgenetische Parameter wie z. B. Heterozygotiegrad, genetische Vielfalt und Diversität, die aus einer begrenzten Zahl Marker berechnet werden, geeignet sind, Prognosen über die Stabilität und Anpassungs-fähigkeit aufzustellen.

Nadelschäden und guter Frostresistenz selektiert (vgl. Abb. 1).

Die Bäume wurden im damaligen Bereich Forst-pflanzenzüchtung Waldsieversdorf über Stecklinge vermehrt, wobei nur ca. ein Viertel der Klone aus-reichende Bewurzelungsraten aufwies. Im Jahr 1979 konnte mit 3- bis 4-jährigen bewurzelten Stecklingen u. a. in Dahmsdorf bei Waldsieversdorf

Abb. 1:
Geographische Lage
der Ausgangsbestände
der selektierten
Fichtenklone und der
Plantage Dahmsdorf



(Brandenburg) ein Fichtenmutterquartier mit 59 Klonen und bis zu 40 Pflanzen pro Klon angelegt werden (WEISER und SCHACHLER 1988).

Das Blütejahr 1993 (vgl. Abb. 2) wurde für ein Kreuzungsprogramm genutzt, bei dem die Kreuzungspartner nach ihren vorher schon bekannten Isoenzym-Genotypen ausgewählt wurden. Die insgesamt 48 Nachkommenschaftsfamilien sollten zu einer der 3 Modellpopulationen gehören:

Modellpopulation 1:
geringe mittlere Zahl heterozygoter Loci (2,5 bis 5)
und geringe Zahl seltener Allele (0 bis 2),
13 Familien

Modellpopulation 2:
hohe mittlere Zahl heterozygoter Loci (6 bis 9) bei
gleichzeitig geringer Zahl seltener Allele (0 bis 2),
16 Familien

Modellpopulation 3:
hohe mittlere Zahl heterozygoter Loci (6 bis 9) bei
gleichzeitig hoher Zahl seltener Allele (2,5 bis 5),
19 Familien

Eine detaillierte Beschreibung zu den Modellpopulationen und den genetischen Analysen befindet sich bei HERTEL und KOHLSTOCK (1996).

Im Frühjahr 1994 erfolgte im Institut für Forstpflanzenzüchtung Waldsiedersdorf die Aussaat des geernteten Saatgutes aus gelenkten Kreuzungen zusammen mit einer Kontrolle aus dem Herkunftsgebiet 840 14 (früher 840 66, Forstamt Cunnersdorf, Revier Kleingießhübel). Die Pflanzen wurden als 2jährige Sämlinge im Mai 1996 in der Sächsischen Landesanstalt für Forsten verschult. Nachkommenschaftsfamilien mit ausreichender Pflanzenanzahl für die spätere Versuchsflächenanlage blieben als einzelne Prüfglieder bestehen, bei zu wenig Pflanzen je Nachkommenschaft mußten diese jedoch entsprechend der Zugehörigkeit zu den Modellpopulationen zu Prüfgliedern zusammengefaßt werden.

Abb. 2:
Die Plantage Dahmsdorf während der Blüte
1993 (im Vordergrund
Klon 293, dahinter der
extrem stark blühende
Klon 297)



Ergebnisse

Phänotypische Merkmale

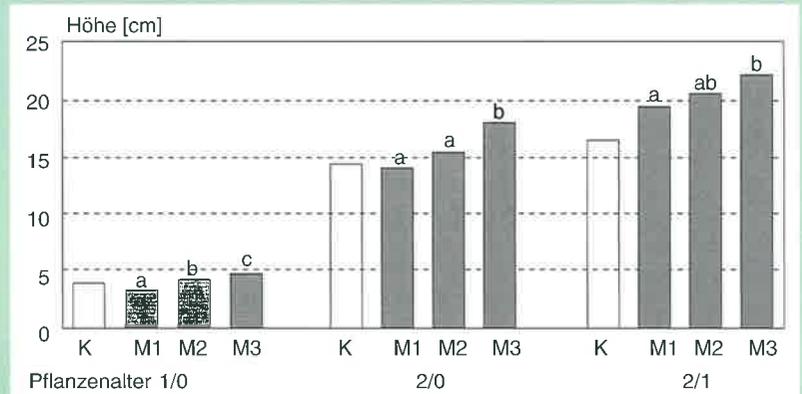
Die bisher gewonnenen Daten zur Wuchshöhe, zu Überlebensraten und zu den Frostschäden während der ersten drei Vegetationsperioden lassen erkennen, daß sowohl zwischen den einzelnen Nachkommenschaftsfamilien als auch zwischen den nach genetischen Kriterien gebildeten Modellpopulationen deutliche Unterschiede bestehen.

Dabei fällt auf, daß die Modellpopulation 3 in allen drei Jahren die höchste Wuchsleistung besitzt (vgl. Abb. 3), die höchste Überlebensrate I (Anzahl 2jähriger Sämlinge, bezogen auf die Anzahl aufgelaufener Samen in %) hat und die geringsten Frostschäden aufweist (vgl. Tab. 1). Lediglich die Überlebensrate II (Anzahl der Pflanzen 1 Jahr nach der Verschulung, bezogen auf die Anzahl verschulter Pflanzen in %) ist relativ ausgeglichen und zeigt keinen Trend. Damit erweist sich die Modellpopulation mit hohem Heterozygotiegrad und einer hohen Zahl seltener Allele ebenso wie in den beiden vorangegangenen Jahren vitaler als die beiden anderen Modellpopulationen.

Die Mittelwerte der Modellpopulationen und der Kontrolle lassen Korrelationen zwischen Wuchshöhe, Überlebensrate und Frostschäden vermuten, die aber bei Betrachtung der einzelnen Prüfglieder nicht nachgewiesen werden konnten (Korrelationskoeffizienten zwischen -0,2 und 0,2). Erwartungsgemäß bestehen Korrelationen im Höhenwachstum zwischen den Jahren (0,50 bis 0,74).

Die relative Homogenität von Kreuzungsnachkommenschaften drückt sich im geringeren Variationskoeffizienten beim Höhenwachstum (Messung von je 100 Pflanzen) aus, er beträgt im Mittel 27 % (20,0...33,7). Bei der Kontrolle beträgt der Variationskoeffizient dagegen 34 %.

Frostschäden wurden im Saatbeet trotz des extrem



strengen Winters 1995/96 nicht festgestellt (Beobachtung April/Mai 1996, Waldsieversdorf). Erst nach der Verschulung und dem ebenfalls kalten Winter 1996/97 traten Schäden auf, die als Anteil betroffener Pflanzen in Prozent im April 1997 ermittelt wurden. Als frostgeschädigt wurde eine Pflanze bezeichnet, wenn einer der Nadeljahrgänge 1996 oder 1995 oder beide stark verbräunt waren. Ein Pilzbefall als Ursache für die Verbräunung konnte ausgeschlossen werden (ZASPEL, persönliche Mitteilung).

Nur fünf Kreuzungsnachkommenschaften waren zu mehr als 10 % frostgeschädigt, darunter drei Nachkommenschaften des Mutterbaums 175 mit verschiedenen Pollenspendern (16 %, 21 % und 46 %). Die beiden anderen Nachkommenschaften waren reziproke Kreuzungen der Klone 176 und 292 (13 % und 16 %). Die Frostempfindlichkeit scheint somit eine starke genetische Komponente zu besitzen. Der Vergleich mit den Boniturnoten von TZSCHACKSCH (1983) ergab, daß der Klon 175 bei den Bonituren der Frostschäden 1974, 1976 und 1977 weniger Frostschäden als die selektierten Klone im Mittel hatte, alle drei männlichen Kreuzungspartner waren jedoch am Ausgangsstandort überdurchschnittlich stark frostgeschädigt. Der Klon 170, dessen Nachkommenschaft (175 x 170) fast zur Hälfte geschädigt ist, wies als einziger im Jahr 1977 die Boniturnote 5 (stärkste Frostschäden) auf und war 1981 bereits abgestorben.

Abb. 3: Mittlere Höhe von Fichtenkreuzungsnachkommenschaften in drei Modellpopulationen und der Kontrolle (die Zahlen in den Säulen geben die Anzahl der Nachkommenschaften bzw. Prüfglieder an, gleiche Buchstaben: kein signifikanter Unterschied $p < 0,05$, Kruskal-Wallis-Test)

Merkmal	Modellpopulation 1	Modellpopulation 2	Modellpopulation 3	Kontrolle	Versuchsmittel
Überlebensrate I	78 %	76 %	88 %	93 %	82 %
Überlebensrate II	89 %	84 %	87 %	97 %	86 %
Frostschäden	14 %	9 %	7 %	11 %	9 %

Tab. 1: Mittlere Überlebensraten und mittlerer Anteil frostgeschädigter Pflanzen in 3 Modellpopulationen und der Kontrolle (Erklärungen im Text)

Genetische Analysen

Die genetische Struktur der Kreuzungsnachkommen sind als „Familienmittelwerte“ bekannt und durch die Genotypen der beiden Kreuzungseltern bestimmt. Zwischen den einzelnen Individuen jeder Vollgeschwisterfamilie können jedoch trotzdem erhebliche Unterschiede im Heterozyotiegrad und bei der Anzahl seltener Allele bestehen, die an der Ausprägung der Merkmalsvariation innerhalb der

Tab. 2:
Vergleich des experimentell ermittelten Heterozyotenanteils mit dem erwarteten Heterozyotiegrad bei 3 Nachkommenschaftsfamilien

Kreuzungsnachkommenschaft/Modellpopulation	Anzahl untersuchter Individuen	Anzahl geprüfter polymorpher Loci	Heterozyotenanteil	Erwarteter Heterozyotiegrad
9 (368 x 326)/M1	96	4	0,605	0,625
32 (304 x 325)/M2	72	8	0,557	0,500
36 (304 x 292)/M3	48	6	0,504	0,583

Familien beteiligt sein können. Beziehungen zwischen individuellem Genotyp und Phänotyp sollen erst später, nach der Versuchsflächenanlage und einzelbaumweisen Kennzeichnung, untersucht werden.

Vorläufig wurde nur an wenigen Stichproben überprüft, inwieweit der aus den Genotypen der Kreuzungseltern berechnete Heterozyotiegrad der Nachkommenschaftsfamilie mit dem experimentell

ermittelten übereinstimmt oder ob bereits Selektionsprozesse stattgefunden haben.

Dazu wurden solche Nachkommenschaften ausgewählt, deren Überlebensrate I (Anzahl 2-jähriger Pflanzen, bezogen auf die Anzahl aufgelaufener Samen) nur zwischen 70 % und 80 % betrug, d. h. die im Verlauf der Sämlingsentwicklung überdurchschnittliche Ausfälle aufwiesen. Zur Überprüfung wurden an drei Nachkommenschaftsfamilien bei

2-jährigen Pflanzen stichprobenartige Analysen an den Genloci vorgenommen, an denen aufgrund der genetischen Struktur der Kreuzungseltern 2 oder 4 unterschiedliche Genotypen zu erwarten waren und bei denen auch bei kleinster Probenmenge eine ausreichende Enzymaktivität vorhanden war.

Alle untersuchten Individuen besaßen nur Allele, die auch in den Elternbäumen vorkommen, d. h. es konnte keine Kontamination mit Fremdpollen gefunden werden.

Bei der Nachkommenschaft Nr. 9 wurden an keinem der untersuchten Genorte Abweichungen der beobachteten von der erwarteten Verteilung der Genotypen gefunden (Chi-Quadrat-Test, $p < 0.05$).

Die Nachkommenschaft Nr. 32 zeigte dagegen am Locus SKDH-A einen signifikanten Heterozyotenüberschuß, an weiteren 4 Loci war der Heterozyotenüberschuß nicht signifikant.

Ein entgegengesetztes Verhalten war bei der Nachkommenschaft Nr. 36 zu verzeichnen. An den Loci PGDH-A und LAP-B waren signifikant weniger Heterozyoten als erwartet vorhanden, was durch eine Selektion gegen das jeweilige an diese Loci vorhandene seltene Allele zustande kam. An weiteren 3 Loci trat ein nicht signifikanter Homozyotenüberschuß auf.



Abb. 4:
Plantage Dahmsdorf,
Klon 395



Abb. 5: ■□
Plantage Dahmsdorf,
Klon 211

Abb. 6: □■
Plantage Dahmsdorf,
Zapfenbehang nach
Kreuzung am Klon 292
(Sommer 1993)

Diskussion

Durch die gezielte Auswahl von Kreuzungspartnern konnten Nachkommenschaften mit hoher genetischer Variation hergestellt werden. Diese Nachkommenschaften haben sich bisher in ihrem Wuchs- und Resistenzverhalten bewährt, wobei deutliche Unterschiede sowohl zwischen einzelnen Nachkommenschaftsfamilien als auch zwischen den daraus gebildeten Modellpopulationen bestehen.

Bisherige Ergebnisse zum Höhenwachstum und der Überlebensrate der Kreuzungsnachkommen nach der ersten und zweiten Vegetationsperiode wurden bereits veröffentlicht (HERTEL und KOHLSTOCK 1996). Ebenso befindet sich in dieser Arbeit eine Diskussion zum theoretischen Hintergrund des Versuchskonzeptes.

Die Einschätzung der Fitness der drei Modellpopulationen hat sich im Vergleich zur früheren Auswertung nicht verändert. Die Modellpopulation 3 mit einem hohen Heterozygotiegrad und einer großen Zahl seltener Allele besitzt die größte Höhe und die geringsten Frostschäden, während die Modellpopulation 1 mit geringem Heterozygotiegrad und wenigen seltenen Allelen die geringste Höhe und die stärksten Frostschäden aufweist. Die Überlebensrate nach dem Verschulen unterscheidet sich kaum zwischen den Modellpopulationen.

Eine Veränderung gegenüber dem Vorjahr ergab sich lediglich bei der Kontrolle im Vergleich zu den einzelnen Prüfgliedern. In den ersten beiden Jahren hatte sie eine überdurchschnittliche Überlebensrate und ein Höhenwachstum, das etwas unter dem Versuchsmittel lag, ergeben. Nach dem dritten Jahr belegt die Kontrolle bei der Überlebensrate nun den Rang 1, bei der Höhe dagegen ist sie auf den letzten Rang abgefallen (alle Prüfglieder absteigend geordnet).

Die genetischen Analysen an drei Nachkommenschaftsfamilien ergaben, daß nur in einem Fall, einer Nachkommenschaft aus der Modellpopulation 1 (geringer Heterozygotiegrad und wenig seltene Allele), der experimentell ermittelte Heterozygotiegrad an den untersuchten Loci mit dem erwarteten übereinstimmt. Die Reduktion der Pflanzenzahlen erfolgte in den beiden anderen Fällen nicht zufällig, sondern selektiv. In einer Nachkommenschaftsfamilie der Modellpopulation 2 (hoher Heterozygotiegrad und wenig seltene Allele) erhöhte sich der Heterozygotiegrad, während in der Nachkommenschaftsfamilie der Modellpopulation 3 (hoher Heterozygotiegrad und viele seltene Allele) der Heterozygotiegrad vermindert wurde. Das geschah durch eine Abnahme der Zahl seltener Allele. Damit bestätigte sich ein Teil der Hypothese, nämlich daß

sich eine hohe Anzahl seltener Allele negativ auf die Vitalität auswirken kann. Ob sich dieser Trend der Annäherung an ein mögliches Optimum in der Modellpopulation 3 generell zeigt, wird sich erst nach weiteren Analysen feststellen lassen.

Die Kreuzungsnachkommen der feldresistenten Fichten aus Immissionsschadgebieten des oberen Erzgebirges besitzen selbstverständlich einen hohen Wert als Genressource. Sie werden in Versuchsflächen, die in Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Forstpflanzenzüchtung Waldsieversdorf und der Sächsischen Landesanstalt für Forsten im Erzgebirge angelegt werden, weiter beobachtet werden.

Das in der Plantage Dahmsdorf geerntete Saatgut aus freier Abblüte dürfte größtenteils aus der gegenseitigen Bestäubung der selektierten Klone stammen, da sich die Fläche außerhalb des Verbrei-

tungsgebietes der Fichte befindet und von artifiziellem Vorkommen isoliert ist. Deshalb wurden im Herbst 1993 ca. 2 t klonweise geernteter Zapfen dieser Plantage an die Sächsische Staatsdarre in Flöha übergeben. Damit besteht die Möglichkeit, frei abgeblühte Einzelbaumnachkommenschaften der selektierten feldresistenten Fichten zu prüfen. Zur Zeit lagert das Saatgut in der dortigen Genbank.

Die Kreuzungsnachkommenschaften der selektierten Fichten bieten ideale Möglichkeiten zur Untersuchung des Zusammenhanges zwischen genetischer Struktur und phänotypischen Merkmalen auf den drei Ebenen Individuum, Kreuzungsnachkommenschaftsfamilie und Modellpopulation. Das zukünftig zu erwartende umfangreiche Datenmaterial kann einen Beitrag zum tieferen Verständnis von Anpassungsprozessen und der Aussagefähigkeit genetischer Marker leisten.

Dank

Den Mitarbeitern der Sächsischen Landesanstalt für Forsten möchte ich an dieser Stelle für Verschulung und Pflege der Versuchspflanzen herzlich danken. Ebenso gilt mein Dank Herrn Dr. H. Wolf und Herrn M. Paul für ihre aufgeschlossene Zusammenarbeit mit dem Institut für Forstpflanzenzüchtung in Waldsieversdorf.

Literatur

- HERTEL, H.; EWALD, CH. (1995): Conservation of genetic diversity in SO₂-polluted stands of Norway spruce (*Picea abies* Karst.). in: Population genetics and genetic conservation of forest trees. Ph. Baradat, W. T. Adams, G. Müller-Starck (eds.), SPB Academic Publishing Amsterdam, The Netherlands, 413–420
- HERTEL, H.; KOHLSTOCK, N. (1996): Forstpflanzenzüchtung und Biodiversität: Ein Modellversuch zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen genetischer Variation und Stabilität am Beispiel der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.). in: Biodiversität und nachhaltige Forstwirtschaft. Hrsg. Müller-Starck, 1. Aufl. Landsberg ecomed 1996, 93–104
- MIHM, M. (1991): Praktische Arbeiten als Grundlage für forstliche Generhaltung. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 22, 230–234
- WEISLER, F.; SCHACHLER, G. (1988): Aufbau sowie erste Ergebnisse zur Entwicklung und Nutzung eines Stecklings-Mutterquartiers mit Fichtenklonen verminderter Anfälligkeit gegenüber SO₂. Beiträge für die Forstwirtschaft 22, 55–61
- TZSCHACKSCH, O. (1983): Immissionsresistente Fichten-Herkunftsorte und immissionsresistente Fichten-Mehrklonsorte. Forschungsbericht A4, Institut für Forstwissenschaften Eberswalde, 27 S.

Erste Ergebnisse der Prüfung feldresistenter Klone der Fichte – *Picea abies* (L.) Karst. – im Erzgebirge und im Thüringer Wald

H. WOLF

1 Einleitung

Seit den 50er Jahren traten in den Hoch- und Kammlagen des Erzgebirges sowie in exponierten Lagen des Elbsandsteingebirges und des Zittauer Gebirges Schäden mit unterschiedlicher Intensität und Verbreitung an Fichtenbeständen auf, die durch SO₂-Immissionen aus Braunkohlekraftwerken im Böhmisches Becken verursacht wurden (ANONYMUS 1973, LIEBOLD und DRECHSLER 1991, RABEN et al. 1996). Neben administrativen, waldbaulichen und phytosanitären Maßnahmen in den Schadgebieten wurden in den 70er und 80er Jahren auch züchterische Maßnahmen zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Baumart Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) gegenüber Luftschadstoffen ergriffen (ANONYMUS 1973, 1978, 1985; TZSCHACKSCH 1981, 1983 a; MATSCHKE et al. 1984; KOHLSTOCK 1985; WEISER und SCHACHLER 1988).

Das Programm zur züchterischen Bearbeitung der Fichte umfaßte folgende Maßnahmen:

- die Selektion von feldresistenten Bäumen in Rauchschadgebieten zur Saatgutgewinnung, Anlage von Samenplantagen und autovegetativen Vermehrung,
- die Selektion von Fichten-Herkünften mit erhöhter SO₂- und Frostresistenz zur generativen und vegetativen Vermehrung,
- die Erhaltung des genetischen Potentials (TZSCHACKSCH 1981; KOHLSTOCK 1985; BRAUN et al. 1987, 1990; BRAUN und KOHLSTOCK 1990; WEISS et al. 1990).

Für die Zusammenstellung einer Fichten-Mehrklonsorte mit erhöhter Widerstandsfähigkeit gegenüber SO₂ wurden von 1973 bis 1990 ca. 1 500 vitale Fichten im Alter von 15 bis 110 Jahren von TZSCHACKSCH und WEISS ausgelesen. Die Auslese erfolgte in den extrem immissionsbelasteten Hoch- und Kammlagen des sächsischen und tschechischen Erzgebirges, des Elbsandsteingebirges, Zittauer Gebirges sowie des Iser- und Riesengebirges in Polen (TZSCHACKSCH 1983 b; FÜZ 1991). Die wei-

teren Schritte des Programmes zur Selektion von Fichten-Klonen für Immissionschadgebiete können PAUL (1997) entnommen werden.

Von 1986 bis 1990 wurden zur Prüfung der Vitalität, Wuchsform, Resistenz und Leistung der autovegetativ vermehrten Nachkommen von über 500 Auslesebäumen 13 Versuchsflächen angelegt. Die Feldprüfung sollte ausschließlich auf immissionsbelasteten Standorten des Erzgebirges und des Thüringer Waldes erfolgen (FÜZ 1991).

Parallel zu den genannten Auslesearbeiten und züchterischen Prüfungen wurde bereits seit 1983/84 nach einem Beschluß des Politbüros des SED-Zentralkomitees und des Ministerrates der DDR vom 26.02.1983 mit der autovegetativen Massenvermehrung von feldresistenten Fichten-Klonen begonnen. Zwischen 1984 und 1987 wurden nach Bereitstellung entsprechender Baumschulkapazitäten ca. 200 000 bis 300 000 Fichtenreiser pro Jahr gesteckt (SCHACHLER et al. 1987).

Im folgenden Beitrag werden erste Ergebnisse von Versuchsflächen vorgestellt, die zwischen Herbst 1988 und Frühjahr 1990 mit ca. 450 Klone feldresistenter Fichten angelegt wurden. 6 bzw. 7 Jahre nach Anlage der Versuchsflächen erfolgte eine Vollaufnahme von Ausfällen, Höhenwachstum und Wuchsform. Auf zwei Flächen konnten Nadelschäden nach SO₂-Einfluß sowie das Austriebsverhalten der geschädigten Pflanzen beobachtet werden.

2 Material und Methoden

2.1 Untersuchte Klone und Nachkommenschaften

In die Untersuchungen wurden in erster Linie autovegetativ vermehrte Klone feldresistenter Fichten aus den Rauchschadensgebieten der sächsischen, tschechischen und polnischen Mittelgebirge einbezogen (vgl. Abb. 1). Die Auslese der Fichten erfolgte nach der Vitalität. Als Kriterien dienten der Benadelungsgrad sowie sichtbare Schäden an den Nadeln nach Auftreten von Frostschäden (TZSCHACKSCH 1983 b; SCHACHLER UND OEDING 1996). Die Schwerpunkte der Auslesearbeiten waren

- 1974 und 1977 die Waldgebiete Deutscheinsiedel, Oberlochmühle und Seiffen im sächsischen Erzgebirge,
- 1984 die Waldgebiete Bolebor, Klíny, Kostany, Kovarska und Nacetin im tschechischen Erzgebirge sowie
- 1985 die Waldgebiete Swieradow und Szklarska Poreba im polnischen Riesen- und Isergebirge.

Weitere feldresistente Fichten wurden von 1983 bis 1988 in den Rauchschadensgebieten des Vogtlandes, des Erzgebirges und des Elbsandsteingebirges sowie des Oberlausitzer Berglandes und des Zittauer Gebirges ausgelesen.

Nach Auslese auf SO₂-Resistenz erfolgte ein weiterer Selektionsschritt durch die Auslese von Klonen, die bei der autovegetativen Vermehrung

eine Bewurzelungsrate von mindestens 35 % aufwiesen. Als Folge der vielfach unbefriedigenden Bewurzelung der 1974 und 1977 ausgelesenen Klone im Alter zwischen 30 und 110 Jahren wurde ab Beginn der 80er Jahre zur Auslese von Fichten im Alter zwischen 15 und 40 Jahren übergegangen. Die auf SO₂-Resistenz und Bewurzelungsfähigkeit ausgelesenen Klone wurden nach heterovegetativer Vermehrung in Mutterquartieren erhalten (siehe auch WEISER und SCHACHLER 1988).

Die vegetative Vermehrung des Versuchsmaterials erfolgte durch die Bewurzelung von Sekundärreisern, die in den Mutterquartieren gewonnen wurden. Die Stecklinge wurden 1984 (Fichten-Klonprüfung 1984) und 1985 (Fichten-Klonprüfung 1985) in der Forstbaumschule Dresdner Heide sowie in dem Bereich Forstpflanzenzüchtung des Instituts für Forstwissenschaften Waldsiedersdorf bewurzelt und in der Baumschule angezogen. Neben den feldresistenten Fichten-Klonen (vgl. Tab. 1 und 2) wurden auf den einzelnen Versuchsfeldern in unterschiedlichem Ausmaß Klonmischungen, die von Sämlingspflanzen abstammen (z. B. von Kreuzungsnachkommenschaften feldresistenter Fichten), angepflanzt. Darüber hinaus wurden Sämlingspflanzen aus Bestandsabsaaten verschiedener Fichtenarten wie *Picea abies*, *Picea rubens* Sarg. und *Picea orientalis* (L.) Link ausgebracht (vgl. Tab. 3).

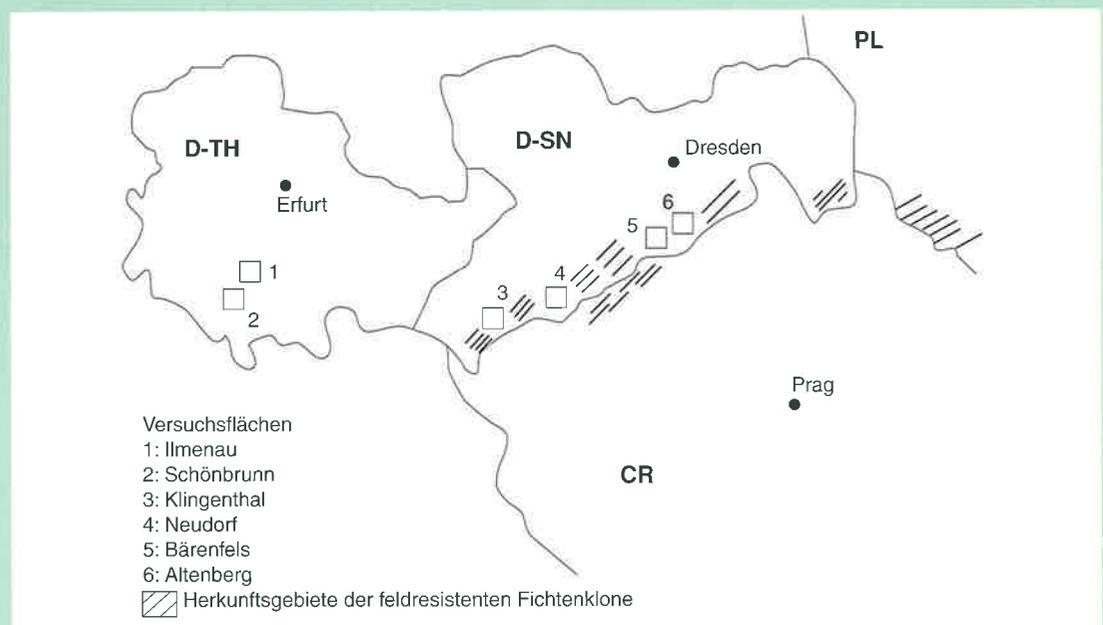


Abb. 1:
Herkunftsgebiete der
ausgelesenen feldresi-
stenten Fichten und
Lage der Versuchs-
felder im Erzgebirge
und Thüringer Wald

Tab. 1:
Untersuchte Klone
feldresistenter Fichten
aus Sachsen und
Thüringen

Forstamt	Waldgebiet	Anzahl Klone					
		Klonprüfung 1984			Klonprüfung 1985		
		Altenberg	Ilmenau	Klingenthal	Bärenfels	Neudorf	Schönbrunn
Adorf	Wohlhausen	-	-	1	-	-	-
Altenberg	Altenberg	-	-	2	1	-	1
	Georgenfeld	2	2	1	15	2	6
Bad Gottleuba	Markersbach	-	-	-	4	2	3
	Ottomühle	-	-	-	5	-	1
Bärenfels	Wahlsmühle	-	-	-	-	-	-
Cunnersdorf	Taubenbach	-	-	-	2	-	-
Eibenstock	Carlsfeld	-	-	-	1	1	-
	Schneehübel	-	-	-	-	1	1
Lauter	Antonsthal	-	-	1	-	-	-
Löbau	Jonsdorf	-	-	-	-	1	-
	Waltersdorf	-	-	-	5	1	-
Marienberg	Reitzenhain	2	-	-	13	17	9
	Schmalzgrube	-	-	-	5	21	8
Neudorf	Oberwiesenthal	-	-	-	1	11	4
Olbernhau	Deutscheinsiedel	47	9	17	42	26	48
	Oberlohmühle	23	16	7	22	11	12
	Seiffen	25	10	17	18	14	19
Saalfeld	Paulinzella	-	1	1	-	-	-
	Reichmannsdorf	-	2	-	-	-	-
Schönheide	Wiesenhaus	-	1	2	-	1	-
Suhl	Oberhof	-	1	1	-	-	-
Waldsiedersdorf*		-	-	-	3	5	4

* Vermehrung in Waldsiedersdorf; Identität dieser Klone ist nicht mehr eindeutig nachzuvollziehen

Tab. 2:
Untersuchte Klone
feldresistenter Fichten
aus der Tschechischen
Republik und Polen

Land	Forstbetrieb	Waldgebiet	Anzahl Klone					
			Klonprüfung 1984			Klonprüfung 1985		
			Altenberg	Ilmenau	Klingenthal	Bärenfels	Neudorf	Schönbrunn
ČR	Janov	Bolebor	13	11	7	1	1	1
		Nacetin	5	2	1	-	1	1
ČR	Klasterec	Kovarska	17	11	5	2	5	-
ČR	Litvinov	Kliny	9	3	1	1	-	1
		Kostany	8	4	2	2	1	1
P	Izera	Swieradow	-	-	-	3	10	1
P	Orle	Szklarska Porgba	-	-	-	51	74	32

Klonmischung	Klonprüfung 1984			Klonprüfung 1985		
	Altenberg	Ilmenau	Klingenthal	Bärenfels	Neudorf	Schönbrunn
Altenberg 34 x Gabelbach 12	x	-	-	-	-	-
Deutscheinsiedel 10 x Oberstadt 15	x	-	-	-	-	-
Wiesenhaus 14 x Schloßberg 1	-	-	-	-	-	x
Niederschlema 2 x Steinberg 11	x	-	-	-	-	-
Arlesberg 7 x Oberstadt 15	-	-	-	-	-	x
Heberndorf 13 x Oberstadt 15	-	x	x	-	-	-
Deutscheinsiedel 27 x Seiffen 31	x	x	-	x	x	x
Deutscheinsiedel 27 x Oberlochmühle 28	x	x	x	-	-	x
Deutscheinsiedel 27 x Oberlochmühle 45	x	-	-	-	-	-
Deutscheinsiedel 35 x Oberlochmühle 47	x	-	-	-	-	-
Klinovez (ČR)	x	-	-	x	-	-
Zelivka (ČR)	x	x	-	-	-	-
Blizyn (P)	-	x	-	x	x	x
Istebna (P)	-	-	x	-	-	-
Rycerka (P)	-	-	x	-	-	-
Chripelev (UK)	-	x	x	-	x	-
Skole (UK)	-	-	-	x	-	1
Sämlingsnachkommenschaften						
Kanzlersgrund Abt. 607 b	-	-	-	-	-	x
Oberhof Abt. 11 b	-	-	-	x	x	-
Oberhof Abt. 22 a + b	-	x	x	-	-	-
Schloßberg Abt. 15 c	-	-	-	x	x	x
Schmiedefeld Abt. 146 a ³	-	-	-	-	-	x
<i>P. rubens</i> Weckersdorf	-	-	-	-	x	-
<i>P. orientalis</i> Stamberghaus	-	-	-	-	x	-

Tab. 3:
Untersuchte Klonmischungen und Sämlingsnachkommenschaften

2.2 Versuchsflächen

Tab. 4:
Lage und standörtliche Verhältnisse von Versuchsflächen der Fichten-Klonprüfung 1984 (1, 3, 6) und Fichten-Klonprüfung 1985 (2, 4, 5)

Im Herbst 1988 sowie im Frühjahr 1989 (Fichten-Klonprüfung 1984) und 1990 (Fichten-Klonprüfung 1985) erfolgte die Pflanzung von 6 Versuchsflächen auf unterschiedlichen Standorten im Erzgebirge und im Thüringer Wald (vgl. Tab. 4). Zum Zeitpunkt der Anlage waren alle Standorte hohen SO₂-Immissionen ausgesetzt. Nach dem

deutlichen Rückgang der SO₂-Emissionen in den Bundesländern Sachsen und Thüringen seit 1991 sind vor allem noch die Flächen in den SäFoÄ Altenberg, Bärenfels und Neudorf grenzüberschreitenden SO₂-Immissionen ausgesetzt.

In der Fichten-Klonprüfung 1984 sind 26 Klone bzw. Klonmischungen, in der Fichten-Klonprüfung 1985 22 Klone bzw. Klonmischungen auf allen

Versuch	Forstamt	Revier	Abteilung	Höhe ü. NN [m]	Östl. Länge	Nördl. Breite	Temp. [°C]	Nieder-schlag [mm]	Grund-gestein
1	Ilmenau (TH)	Manebach	631 a ³	820	10° 53'	50° 42'	5,2	1052	Porphy
2	Schönbrunn (TH)	Steinsburg	250 a ² , a ³	780	10° 44'	50° 36'	4,3	1340	Porphy
3	Klingenthal	Rautenkranz	67 a ¹	915	12° 34'	50° 26'	5,8	1072	Granit
4	Neudorf	Hammerunter-wiesenthal	709 d ¹	830	13° 01'	50° 28'	4,7	1073	Schiefer
5	Bärenfels	Rehefeld	281 a ²	740	13° 41'	50° 45'	4,7	993	Gneis
6	Altenberg	Schellerhau	1659 a ⁴	780	13° 43'	50° 46'	5,4	993	Granit

Forstamt	Forstrevier	Anlage	Anzahl Prüfglieder	Wiederholungen	Prüfglieder ohne Wdh.	Pflanzen/Parzelle	Pflanzverband	Fläche in ha
Altenberg	Schellerhau	1988/1989	160	3	-	6	2,5 m x 1,3 m	0,94
Ilmenau	Manebach	1989	81	3	-	9	2,0 m x 1,5 m	0,66
Klingenthal	Rautenkranz	1989	72	3	-	10	2,0 m x 1,5 m	0,65
Bärenfels	Rehefeld	1990	203	2	86	15	2,0 m x 1,5 m	1,44
Neudorf	Hammerunterwiesenthal	1990	212	2	45	15	2,0 m x 1,5 m	1,73
Schönbrunn	Steinberg	1990	162	2	36	15	2,0 m x 1,5 m	1,37

Tab. 5:
Versuchsordnung
auf den Fichten-Klon-
Versuchsflächen in
Sachsen und
Thüringen

Flächen vertreten. Die Gruppe der gemeinsam verwendeten Klone/Klonmischungen in der jeweiligen Fichten-Klonprüfung wird im folgenden als Standardnackkommenschaften bezeichnet. Mit einer Ausnahme sind keine Klone, Klonmischungen oder Sämlingspopulationen auf allen Versuchsflächen der Fichten-Klonprüfungen 1984 und 1985 als Vergleichspopulationen mit angebaut.

In Abhängigkeit von dem zur Verfügung stehenden Stecklingsmaterial variierte die Anzahl geprüfter Klone je Fläche, die Anzahl Pflanzen je Parzelle und die Anzahl der Wiederholungen. Auf den Flächen Bärenfels, Neudorf und Schönbrunn konnte nur ein Teil des untersuchten Materials wiederholt werden (vgl. Tab. 5). Mit Ausnahme des Versuchs Altenberg betrug der Pflanzverband 2,0 m x 1,5 m.

2.3 Versuchsaufnahmen und statistische Auswertung

Ein Jahr nach Anlage der Versuchsflächen erfolgte eine Aufnahme der Ausfälle. 1992 und 1994 wurden auf der Fläche in Altenberg die Parameter Pflanzenzahl, Höhe und Vitalität ermittelt. Die Ergebnisse dieser Aufnahmen bleiben mit Ausnahme der Pflanzenzahlen 1992 im folgenden unberücksichtigt. Nach einer Vollaufnahme der thüringischen Flächen Ilmenau und Schönbrunn im Spätsommer 1995 wurden im Spätsommer 1996 auf den sächsischen Versuchsflächen Altenberg, Klingenthal, Bärenfels und Neudorf die Parameter Pflanzenzahl, Höhe, zusätzlich Form und Schäden erhoben.

Im Winter 1995/96 traten im mittleren und östlichen Erzgebirge durch langanhaltenden Antransport von SO₂-belasteten Luftmassen sehr hohe Schadstoffimmissionen auf (RABEN et al. 1996). Als Folge der auftretenden Schadstoffimmissionen wurden ca. 50 000 ha Waldfläche in unterschiedlich starkem Ausmaß geschädigt (SML 1996). Zur Ermittlung der Widerstandsfähigkeit gegenüber SO₂ und der Regenerationsfähigkeit nach SO₂-Einfluß wurden im Spätsommer 1996 auf den Flächen in Altenberg und Bärenfels, die im Hauptschadensgebiet liegen, zusätzlich die Parameter Austrieb, Antriebsintensität, Nadelverlustprozente in 4 Stufen (getrennt nach Nadeljahrgängen) sowie die Anzahl vorhandener Nadeljahrgänge am Wirtel 1993 erfaßt. Die Parameter Antriebsintensität und Anzahl vorhandener Nadeljahrgänge werden im folgenden nicht berücksichtigt, da sie sich bereits im Laufe der Aufnahmen als wenig aussagekräftig erwiesen (keine Unterschiede bzw. unterschiedlicher Einfluß der Schneedecke). Nach Ermittlung der beschreibenden Statistik erfolgte versuchsflächenweise die varianzanalytische Auswertung der erhobenen Daten sowie die Berechnung von Rang-Korrelationen nach SPEARMAN. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Anzahl von Klonen je Fläche sowie der zum Teil unvollständigen Wiederholung der Versuchsglieder wurde von einer weitergehenden statistischen Bearbeitung der Daten abgesehen. Der Vertrauensbereich für signifikante Zusammenhänge bzw. Unterschiede wurde mit $p \leq 0,05$ angesetzt. Die Datenverarbeitung erfolgte mit einer im ehemaligen Forschungs- und Überleistungszentrum Graupa entwickelten Standard-Software (WEISSLEDER 1990).

3 Ergebnisse

3.1 Fichten-Klonprüfung 1984 (Anlage 1988/89)

3.1.1 Ausfälle

Im ersten Jahr nach der Anlage der Versuchsfelder bewegen sich die Ausfälle über das gesamte Untersuchungsmaterial hinweg zwischen 4 % in Klingenthal und 16 % in Altenberg und Ilmenau. Der Durchschnitt aller Flächen liegt bei 12 %. Totalausfälle gibt es keine. Die Ausfälle der Standardnachkommenschaften betragen im Durchschnitt über alle Klone/Klonmischungen und Flächen 9 %. Nach 4 Jahren Wachstum kann auf der Fläche Altenberg eine deutliche Zunahme der Ausfälle beobachtet werden. Nur noch 19 % der untersuchten Klone weisen Ausfälle bis zu 20 % auf. Bei mehr als 80 % des Untersuchungsmaterials sind Ausfälle über 20 % zu verzeichnen (vgl. Abb. 2).

Abb. 2:
Entwicklung der Ausfälle auf der Versuchsfeldfläche Altenberg

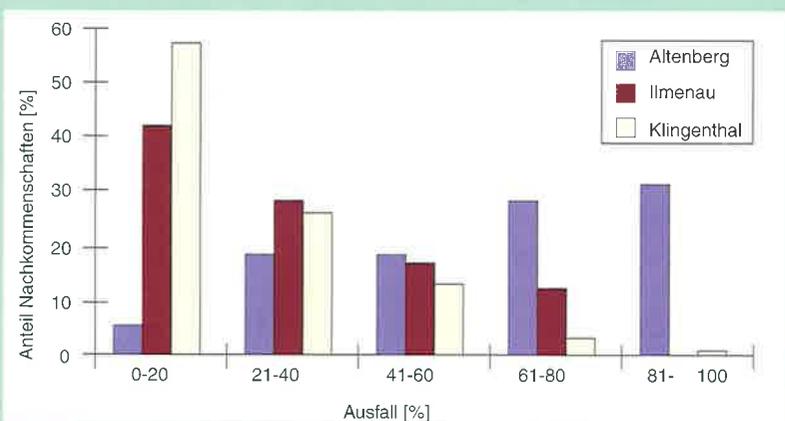
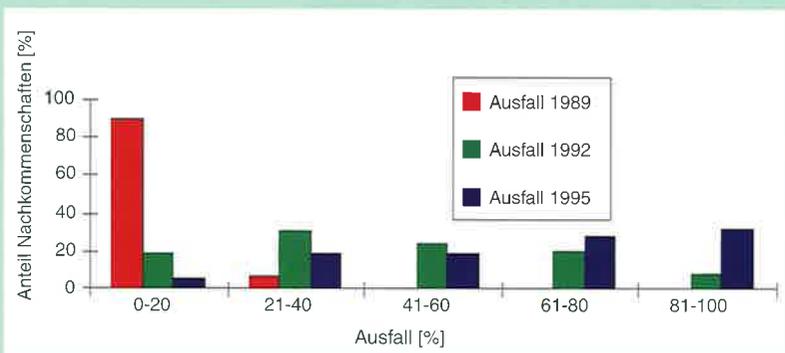


Abb. 3:
Ausfälle im Herbst 1995, 7 Jahre nach Anlage der Versuchsfelder

Diese Tendenz setzt sich auf dieser Fläche auch 7 Jahre nach Anlage fort. Im Herbst 1995 sind in Altenberg über alle untersuchten Klone hinweg 63 % aller Pflanzen ausgefallen. Nur noch 5 % des

Untersuchungsmaterials weisen Ausfälle bis zu 20 % auf. Mehr als die Hälfte der Klone (59 %) ist zu über 60 % ausgefallen (vgl. Abb. 2). Je 6 Klone aus Oberlochmühle (4314, 4326, 4328, 4345, 4354, 4361) und Seiffen (4275, 4727, 4750, 4756, 4764, 4765), 7 Klone aus Deutscheinsiedel (4768, 4769, 4791, 4802, 4805, 4816, 4845) sowie 3 Klone aus Kovarska (5767, 5768, 5776) und 2 Klone aus Nacetin (5792, 5793) fehlen vollständig. Auf den Flächen Klingenthal und Ilmenau sind die Ausfälle im Herbst 1995 über alle Versuchsglieder mit 25 % bzw. 31 % deutlich geringer. Der Anteil von Klonen mit höheren Ausfällen als 20 % bewegt sich zwischen 58 % und 43 % (vgl. Abb. 3).

Die Ausfälle der Standardnachkommenschaften sind 1995 ebenfalls deutlich höher als 1989. Die Mittelwerte unterscheiden sich mit Ausnahme der Fläche Altenberg nur unwesentlich von den Mittelwerten aller geprüften Nachkommenschaften (vgl. Tab. 6). Klonmischungen, die von Sämlingspflanzen abstammen, weisen 7 Jahre nach Pflanzung auf allen Versuchsfeldern deutlich geringere Ausfälle als der Durchschnitt der mitangebauten Klone auf (vgl. Tab. 6).

3.1.2 SO₂-Schäden und Austrieb 1996

Im Winter 1995/96 traten in Altenberg langanhaltende und hohe SO₂-Konzentrationen auf. An den Versuchspflanzen der Fläche Altenberg konnten im Frühjahr und Sommer 1996 an allen Pflanzteilen, die im Winter über die Schneedecke herausragten, Rotverfärbungen der Nadeln mit anschließendem Nadelverlust in unterschiedlichem Ausmaß beobachtet werden. Von Schnee bedeckte Pflanzenteile waren ohne Ausnahme grün. Die Ergebnisse der Schadensbonitur werden nachfolgend am Beispiel des Nadeljahrgangs 1995 dargestellt. An 56 % der untersuchten Nachkommenschaften konnten keine oder nur geringe Nadelverluste bis 25 % festgestellt werden. 30 % der Nachkommenschaften wiesen Nadelverluste zwischen 25 % und 50 % (21 %) sowie 51 % bis 75 % (9 %) auf. Nadelverluste über 75 % zeigten 14 % aller Versuchspflanzen (vgl. Tab. 7).

Gruppe	Ausfälle [%]											
	Altenberg				Ilmenau				Klingenthal			
	N	MW	MIN	MAX	N	MW	MIN	MAX	N	MW	MIN	MAX
Alle Nachkommenschaften	160	63	0	100	81	30	0	85	72	24	0	87
Standardnachkommenschaften	26	51	17	83	26	31	4	85	26	25	0	87
Klonmischungen	9	24	0	39	8	7	0	22	4	4	0	10

Zwischen den 20 am stärksten geschädigten Klonen (im folgenden sensibel genannt) und den 20 am geringsten geschädigten Klonen (im folgenden tolerant genannt) können klare Unterschiede nachgewiesen werden (vgl. Tab. 7). In der Gruppe der toleranten Klone finden sich 5 Klone aus Deutscheinsiedel (4418, 4468, 4770, 4793, 4854), 4 Klone aus Seiffen (4259, 4263, 4737, 4762), je 3 Klone aus Oberlochmühle (4333, 4698, 4704) und Kovarska (5675, 5771, 5778) sowie 2 Klone aus Bolebor (5680, 5687) und je 1 Klon aus Kliny (5797), Kostany (5804) bzw. Nacetin (5794).

Die Gruppe der sensiblen Klone setzt sich zusammen aus 8 Klonen der Herkunft Deutscheinsiedel (4448, 4787, 4815, 4819, 4826, 4834, 4861, 4864), je 3 Klonen der Herkunft Oberlochmühle (4330, 4715, 5760) bzw. Seiffen (4292, 4297, 4741), je

Interessant ist das Auftreten der Nadelverluste bei den Klonmischungen, die von Sämlingspflanzen abstammen. Diese Nachkommenschaften weisen geringere Schäden auf als das Versuchsmittel, aber stärkere Schäden als die Gruppe der toleranten Klone bei deutlich geringeren Ausfällen (vgl. Tab. 7). Die in dieser Gruppe enthaltenen Individuen von 7 Klonmischungen, die von Kreuzungsnachkommen feldresistenter Fichten abstammen, weisen zu 81 % Nadelverluste bis 25 % und zu 13 % bis 50 % aus.

Nach den Schadereignissen des Winters 1995/96 trieben auf der Fläche Altenberg im Durchschnitt aller untersuchten Nachkommen 84 % aller Pflanzen normal aus. Bei 2 % der untersuchten Pflanzen konnte ein Austrieb zwar festgestellt werden, der Austrieb starb jedoch im Laufe der Vegetations-

Tab. 6:
Ausfälle 7 Jahre nach Pflanzung auf den Versuchsflächen Altenberg, Ilmenau und Klingenthal nach Nachkommenschaftsgruppen gegliedert

Nachkommenschaften	N	Mittlerer Ausfall	Anteil Individuen [%] in den Nadelverluststufen			
			0–25 %	26–50 %	51–75 %	76–100 %
Klone mit geringsten Schäden (= tolerante Klone)	20	67 %	91	8	1	0
Klone mit stärksten Schäden (= sensible Klone)	20	70 %	17	19	15	50
Klonmischungen	9	24 %	75	15	7	3
Versuchsmittel	137 *	57 % *	56	21	9	14

* Ausfallprozent berechnet auf Basis der 1995 noch vorhandenen Nachkommenschaften

Tab. 7:
Nadelverluste nach SO₂-Einfluß im Winter 1995/96 auf der Versuchsfläche Altenberg

2 Klone der Herkunft Kliny (5798, 5799) und Kovarska (5672, 5673) sowie je einem Klon der Herkunft Bolebor (5686) und Nacetin (5787). Das Beispiel der geprüften Klone aus Deutscheinsiedel zeigt deutlich die Variation zwischen den als feldresistent ausgelesenen Klonen: Von 47 geprüften Klonen können 5 Klone der toleranten Gruppe und 8 der sensiblen Gruppe zugeordnet werden.

Berücksichtigt man die 7 bereits vollständig ausgefallenen Klone der Herkunft Deutscheinsiedel, können ca. 1/3 der geprüften Klone aus Deutscheinsiedel als sensibel angesprochen werden.

periode ab. 14 % der Pflanzen zeigten keinerlei Austrieb. Deutliche Unterschiede im Austriebsverhalten zeigen sich zwischen der Gruppe der sensiblen Klone und der Gruppe der toleranten Klone. Das Austriebsverhalten der Klonmischungen unterschied sich nur unwesentlich von dem der toleranten Klone (vgl. Tab. 8).

Zwischen dem Schädigungsgrad der untersuchten Nachkommenschaften und dem Austriebsverhalten 1996 konnte eine signifikante Korrelation ($r_s = 0,65$) beobachtet werden.

Tab. 8:
Austrieb 1996 nach
SO₂-Einfluß im Winter
1995/96 auf der Ver-
suchsfläche Altenberg

Nachkommenschaften	N	Mittlerer Ausfall	Anteil Individuen [%]		
			mit normalem Austrieb 1996	ohne Austrieb 1996	mit abgestorbenem Austrieb 1996
Tolerante Klone	20	67 %	96	0	4
Sensible Klone	20	70 %	61	38	2
Klonmischungen	9	24 %	95	2	3
Versuchsmittel	137 *	57 % *	84	14	2

* Ausfallprozent berechnet auf Basis der 1995 noch vorhandenen Nachkommenschaften

3.1.3 Höhe und Form

Das Höhenwachstum der untersuchten Klone wies zwischen den Versuchsflächen deutliche Unterschiede auf. Die mittlere Höhe über alle untersuchten Nachkommenschaften variierte zwischen 55 cm (Altenberg) und 158 cm (Klingenthal), die Mittelhöhen der Standardnachkommenschaften zwischen 72 cm (Altenberg) und 151 cm (Klingenthal) (vgl. Abb. 4).

Zwischen der Rangfolge der Standardnachkommenschaften können signifikante Korrelationen mit Koeffizienten zwischen $r_s = 0,53$ (Altenberg/Klin-

flächen unterscheidet sich die Höhe der einzelnen Nachkommenschaften signifikant. Auf den Flächen Ilmenau und Klingenthal können jedoch auch Unterschiede zwischen den Wiederholungen einzelner Nachkommenschaften sowie Wechselwirkungen zwischen den Nachkommenschaften und dem Standort festgestellt werden (vgl. Tab. 9).

Auf der von den SO₂-Immissionen des Winters 1995/96 besonders betroffenen Fläche Altenberg bestehen deutliche Unterschiede im Höhenwuchs zwischen der Gruppe der toleranten Klone und der sensiblen Klone einerseits sowie der Gruppe der Klonmischungen andererseits (vgl. Tab. 10).

Tab. 9:
Ergebnisse der
Varianzanalyse auf
Grundlage der indivi-
duellen Höhenwerte

Versuchsfläche	Ursache der Varianz	Freiheitsgrad	Quadratsumme	F-Wert
Altenberg	Nachkommenschaften (NK)	159	0,25015 * 10 ⁶	2,23 *
	Wiederholung (WH)	2	1672	1,18
	Wechselwirkung (WW) NK * WH	318	0,19111 * 10 ⁶	0,85
	Rest (R)	586	0,41397 * 10 ⁶	
Ilmenau	NK	80	0,23156 * 10 ⁶	8,24 *
	WH	2	6 220	8,86 *
	WW NK * WH	160	0,12532 * 10 ⁶	2,23 *
	R	1 283	0,45041 * 10 ⁶	
Klingenthal	NK	71	0,30775 * 10 ⁶	13,23 *
	WH	2	3 478	5,31 *
	WW NK * WH	142	84 272	1,81 *
	R	1 423	0,46624 * 10 ⁶	

* signifikant auf dem 0,05-%-Niveau

genthal) und $r_s = 0,77$ (Ilmenau/Klingenthal) beobachtet werden. Die Mittelhöhen der einzelnen Nachkommenschaften innerhalb der Versuchsflächen unterscheiden sich ebenfalls deutlich. Diese Werte liegen in Altenberg zwischen 23 cm und 151 cm, in Klingenthal zwischen 92 cm und 240 cm (vgl. Abb. 4). Auf den einzelnen Versuchs-

Das beste Wachstum weisen die Klonmischungen mit einer Mittelhöhe von 95 cm auf. Zwischen Höhenwachstum und Schadensausmaß besteht kein signifikanter Zusammenhang ($r_s = 0,21$).

Auf den Versuchsflächen Altenberg, Ilmenau und Klingenthal wachsen im Mittel der untersuchten

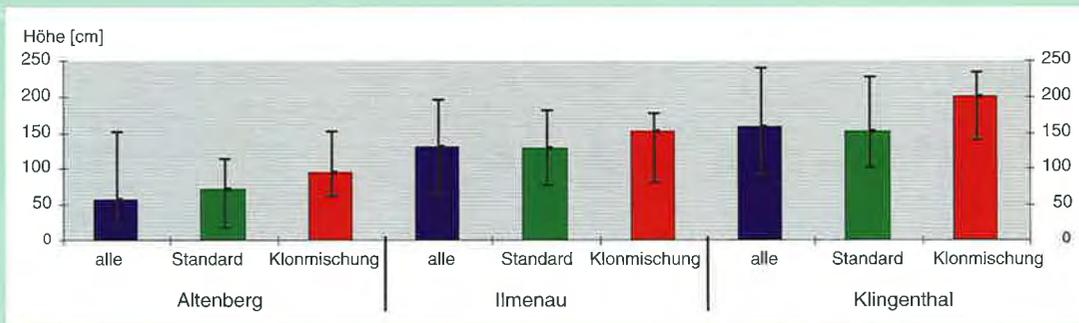


Abb. 4: Höhenwachstum (Mittelwert, Minimum, Maximum) der untersuchten Nachkommenschaften auf den Versuchsflächen der Fichten-Klonprüfung 1984

Nachkommenschaften	N	Mittlerer Ausfall	Höhe 1995 [cm]		
			Mittelwert	Minimum	Maximum
Tolerante Klone	20	67 %	66	23	123
Sensible Klone	20	70 %	56	26	100
Klonmischungen	9	24 %	95	64	151
Standardnachkommenschaften	26	51 %	72	18	114
Versuchsmittel	137*	57*	56	23	151

Tab. 10: Höhenwachstum (Mittelwert, Minimum, Maximum) verschiedener Nachkommenschaftsgruppen auf der Versuchsfläche Altenberg

* Ausfallprozent berechnet auf Basis der 1995 noch vorhandenen Klone

Nachkommenschaften 79 % der Pflanzen aufrecht. Die Nachkommenschaften in Altenberg und Ilmenau weisen deutlich niedrigere Werte mit 74 % bzw. 77 % als die Nachkommenschaften in Klingenthal mit 92 % auf (vgl. Abb. 5). 1–5 % der Pflanzen zeigen im Durchschnitt einen zweigförmigen Wuchs. Die restlichen Pflanzen befinden sich in unterschiedlichem Ausmaß in einem Übergangsstadium zwischen zweigförmigem und aufrechtem Wuchsverhalten. Diese Beobachtungen über alle

untersuchten Nachkommenschaften werden im wesentlichen durch das Wuchsverhalten der Standardnachkommenschaften bestätigt (vgl. Abb. 5). Die auf der Fläche Altenberg bereits bei den Parametern Ausfall, Höhe und Schäden beobachteten Unterschiede zwischen den Gruppen der toleranten Klone, sensiblen Klone und Klonmischungen können ebenfalls für den Parameter Wuchsform bestätigt werden (vgl. Tab. 11).

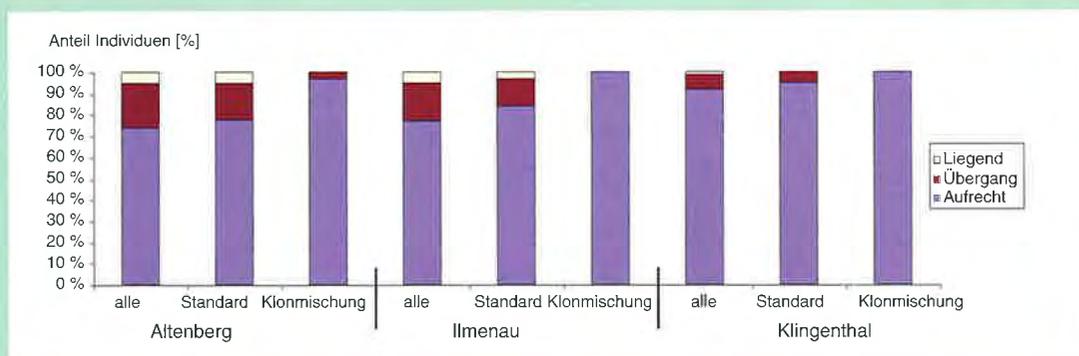


Abb. 5: Wuchsform der untersuchten Nachkommenschaften auf den Versuchsflächen der Fichten-Klonprüfung 1984

Nachkommenschaften	N	Wuchsform [%]		
		Aufrecht	Übergang	Zweigförmig
Tolerante Klone	20	80	18	2
Sensible Klone	20	58	29	13
Klonmischungen	9	97	3	0
Standardnachkommenschaften	26	77	17	5
Versuchsmittel	137*	74	21	5

Tab. 11: Wuchsform verschiedener Nachkommenschaftsgruppen auf der Versuchsfläche Altenberg

* Anzahl der 1995 noch vorhandenen Nachkommenschaften

3.2 Fichten-Klonprüfung 1985 (Anlage 1990)

3.2.1 Ausfälle

Im ersten Jahr nach Anlage bewegen sich die Versuchsflächenmittelwerte der Ausfälle zwischen 8 % in Schönbrunn und 13 % in Bärenfels. Die Ausfälle der Standardnachkommenschaften unterscheiden sich nicht wesentlich auf der jeweiligen Fläche von der Gesamtheit der Nachkommenschaften. Sämlingsnachkommenschaften und Klonmischungen, die von Sämlingspflanzen abstammen, weisen auf allen drei Flächen sehr niedrige Ausfälle zwischen 0 und 7 % auf.

6 Jahre nach der Versuchsflächenanlage kann eine deutliche Zunahme der Ausfälle auf allen Flächen beobachtet werden. Die Fläche Neudorf weist mit durchschnittlich 25 % Ausfällen den niedrigsten

Mittelwert auf. Allerdings wurde diese Fläche von 1990 bis 1995 wiederholt nachgebessert. Die festgestellten Ausfälle sind daher nicht aussagekräftig und werden nachfolgend nicht berücksichtigt.

Auf den Flächen Schönbrunn und Bärenfels wird dagegen eine Vervierfachung der Ausfälle festgestellt (vgl. Tab. 12). Im Gegensatz zur Erhebung 1990 weisen in Bärenfels 1995 mehr als 80 % der Nachkommenschaften Ausfälle über 21 % auf (vgl. Abb. 6). Auf dieser Fläche fehlen bereits je 3 Klone aus Deutscheinsiedel (4420, 4809, 4863) und Oberlochmühle (4366, 4374, 4393), je 2 Klone aus Ottomühle (6100, 6101) und Waltersdorf (6102, 6104) sowie der Klon 6213 aus Oberwiesenthal vollständig. Wie bereits 1990 können bei den Sämlingsnachkommenschaften und Klonmischungen, die von Sämlingspflanzen abstammen, wiederum deutlich niedrigere Ausfälle beobachtet werden (vgl. Tab. 12).

Tab. 12:
Ausfälle 6 Jahre nach Pflanzung im Herbst 1995 auf den Versuchsflächen Bärenfels, Neudorf und Schönbrunn nach Nachkommenschaften gegliedert

Gruppe	Ausfälle [%]											
	Bärenfels				Neudorf				Schönbrunn			
	N	MW	MIN	MAX	N	MW	MIN	MAX	N	MW	MIN	MAX
Alle Nachkommenschaften	203	50	0	100	212	25	0	100	159	32	0	100
Standardnachkommenschaften	22	48	0	90	22	19	3	57	22	23	0	60
Klonmischungen/Sämlingsnachkommenschaften	6	21	10	47	4	14	7	20	6	7	0	23

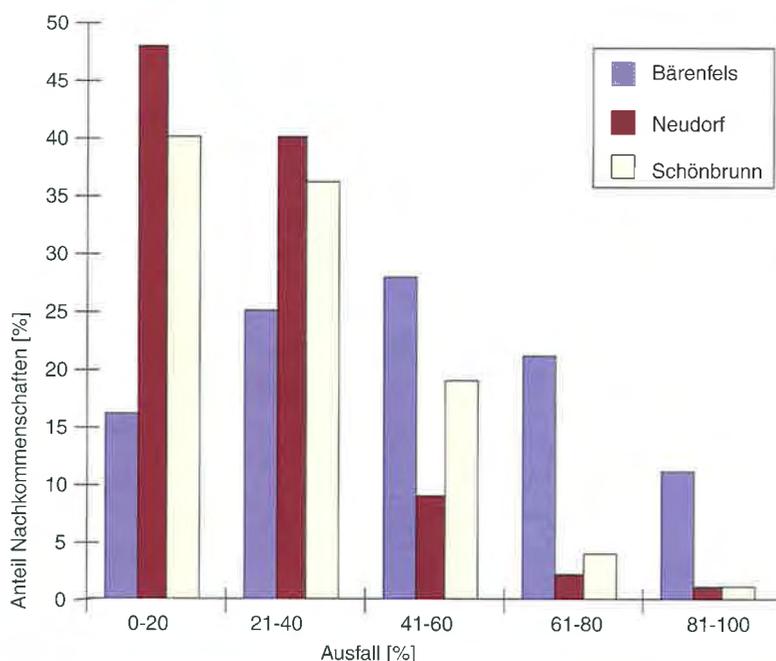


Abb. 6:
Ausfälle im Herbst 1995, 6 Jahre nach Anlage der Versuchsflächen

3.2.2 SO₂-Schäden und Austrieb 1996

Wie auf der Fläche Altenberg der Fichten-Klonprüfung 1984 konnten in Bärenfels ebenfalls nach dem Winter 1995/96 z. T. deutliche Nadelschäden an den Versuchspflanzen festgestellt werden. Im Durchschnitt aller untersuchten Klone und Klonmischungen zeigten 45 % der Pflanzen am Jahrestrieb 1995 keine oder nur geringe Nadelverluste bis 25 %. Bei weiteren 29 % konnten Nadelverluste zwischen 26–50 % (19 %) sowie 51–75 % (10 %) beobachtet werden. 27 % aller Versuchspflanzen wiesen Verluste über 75 % auf (vgl. Tab. 13). Auf der Fläche Bärenfels können ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den 20 am stärksten geschädigten (sensiblen) Klone und den 20 am geringsten geschädigten (toleranten) Klone nachgewiesen werden. Die Gruppe der toleranten Klone weist 6 Klone aus Szklarska Poreba (5980, 5983, 6000, 6007, 6022, 6032), 5 Klone aus Georgenfeld (5753, 5939, 5942, 5944, 5957), 3 Klone aus Deutscheinsiedel (4150, 4416, 4779) sowie je 1 Klon aus Altenberg (6116), Reitzenhain (5953), Seiffen (4739), Bolebor (4796), Kostany (5817) und Swieradow (6055) auf. Als sensibel können 5 Klone der Herkunft Deutscheinsiedel (4459, 4841, 4850, 4856, 4860), je 3 Klone der Herkunft Ober-

lochmühle (4330, 4384, 4392), Seiffen (4271, 4303, 4759) und Szklarska Poreba (6029, 6035, 6037), 2 Klone aus Georgenfeld (5751, 5754) sowie je 1 Klon aus Markersbach (5838), Ottomühle (5843), Reitzenhain (5830) und Waldsiedersdorf (BF202) angesprochen werden. Die Schädigung der sensiblen Klone in Bärenfels entspricht den beobachteten Schäden dieser Gruppe in Altenberg. Die toleranten Klone haben dagegen eine wesentlich geringere Anzahl von Individuen mit Nadelschäden bis zu 25 % (72 % vs. 91 %). Das Schadensausmaß der Klonmischungen, die von Sämlingspflanzen abstammen, und der Sämlingsnachkommenschaften entspricht im Gegensatz zu den Ergebnissen in Altenberg dem Versuchsmittel. Interessant sind aber auch in diesem Fall die beträchtlichen Unterschiede in den Ausfällen der einzelnen Gruppen.

Ebenso wie in Altenberg trieb auf der Fläche Bärenfels die überwiegende Mehrheit (79 %) der untersuchten Nachkommenschaften nach den Schadereignissen des Winters 1995/96 wieder normal aus. 20 % der Pflanzen zeigten keinerlei Austrieb. Bei 1 % war der Austrieb zwar erfolgt, aber im Laufe der Vegetationsperiode abgestorben. Das Austriebsverhalten der sensiblen und der toleranten Klongruppen in Altenberg und Rehefeld war nahezu identisch (vgl. Tab. 14).

Nachkommenschaften	N	Mittlerer Ausfall	Anteil Individuen [%] mit Nadelverlusten			
			0–25 %	26–50 %	51–75 %	76–100 %
Tolerante Klone	20	50 %	72	16	5	7
Sensible Klone	20	58 %	20	14	11	54
Klonmischungen/Sämlinge	6	21 %	47	19	6	28
Versuchsmittel	192*	47 %*	45	19	10	27

* Ausfallprozent berechnet auf Basis der 1995 noch vorhandenen Klone

Tab. 13:
Nadelverluste nach SO₂-Einfluß im Winter 1995/96 auf der Versuchsfläche Bärenfels

Nachkommenschaften	N	Mittlerer Ausfall	Anteil Individuen [%]		
			mit normalem Austrieb 1996	ohne Austrieb 1996	mit abgestorbenem Austrieb 1996
Tolerante Klone	20	50 %	92	6	1
Sensible Klone	20	58 %	62	37	1
Klonmischungen/Sämlinge	6	21 %	86	14	1
Versuchsmittel	192*	47 %*	79	20	1

* Ausfallprozent berechnet auf Basis der 1995 noch vorhandenen Nachkommenschaften

Tab. 14:
Austrieb 1996 auf der Fläche Bärenfels nach SO₂-Einfluß im Winter 1995/96

Im Gegensatz zu den Ergebnissen in Altenberg wies die Gruppe der Klonmischungen und Sämlingsnachkommenschaften in Bärenfels einen deutlich höheren Anteil der Pflanzen ohne Austrieb auf (2 % vs. 14 %). Das Austriebsverhalten dieser Gruppe ist dennoch besser als der Versuchsflächenmittelwert und deutlich besser als das der sensiblen Klongruppe. Auch in Rehefeld konnte eine signifikante Korrelation ($r_s = 0,67$) zwischen dem Schädigungsgrad der untersuchten Nachkommenschaften und dem Austriebsverhalten 1996 festgestellt werden.

3.2.3 Höhe und Form

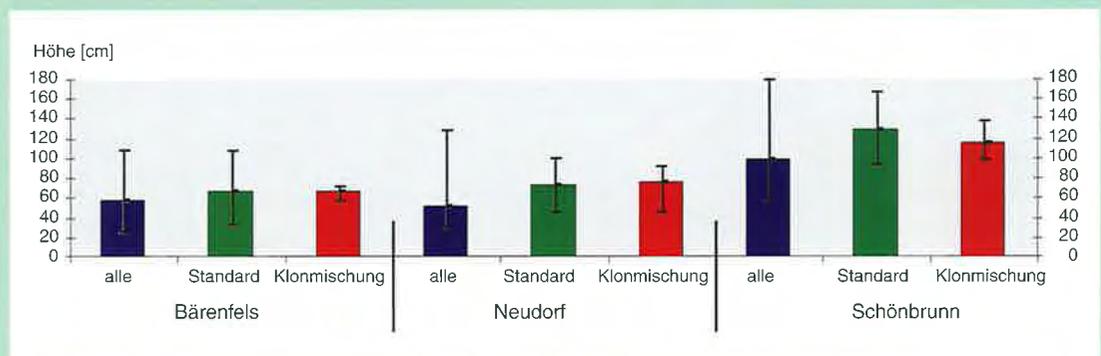
Auch zwischen den Versuchsflächen der Fichten-Klonprüfung 1985 können ebenfalls z. T. deutliche Unterschiede im Höhenwachstum der untersuchten Nachkommenschaften beobachtet werden. 6 Jahre nach Anlage der Versuchsflächen bewegt sich die mittlere Höhe über alle Nachkommenschaften zwischen 52 cm (Neudorf) und 99 cm (Schönbrunn). Das mittlere Höhenwachstum auf der Fläche Bärenfels unterscheidet sich mit 57 cm nur gering von dem in Neudorf (vgl. Abb. 7). Die mittleren Höhen der Standardnachkommenschaften drücken die Unterschiede zwischen den Flächen noch deutlicher aus. Der Mittelwert der Standardnachkommenschaften ist in Schönbrunn fast doppelt so hoch wie in Bärenfels. Zwischen diesen beiden Flächen

besteht eine signifikante Korrelation ($r_s = 0,55$) in der Rangfolge der vergleichbaren Nachkommenschaften. Auf den einzelnen Flächen unterscheiden sich die Mittelhöhen der untersuchten Nachkommenschaften ebenfalls beträchtlich. In Bärenfels und Neudorf ist die mittlere Höhe der bestwüchsigsten Nachkommenschaften mehr als viermal so hoch wie die der schlechtwüchsigsten (vgl. Abb. 7). Auf den einzelnen Versuchsflächen können ebenfalls wie bei der Fichten-Klonprüfung 1984 signifikante Unterschiede im Höhenwuchs der einzelnen Nachkommenschaften ermittelt werden. Allerdings zeigen sich auf allen Flächen signifikante Unterschiede zwischen Wiederholungen sowie Wechselwirkungen zwischen den Nachkommenschaften und dem Standort.

Ebenso wie auf der Fläche in Altenberg können in Bärenfels vor allem Unterschiede zwischen den Gruppen der toleranten und sensiblen Klone einerseits und der Gruppe der Klonmischungen und Sämlingsnachkommenschaften andererseits beobachtet werden. Die Unterschiede sind jedoch bei weitem nicht so deutlich wie in Altenberg (vgl. Tab. 15).

Zwischen dem Höhenwachstum der Nachkommenschaften und dem Schadensausmaß, ausgedrückt durch das Nadelverlustprozent, besteht wie bereits in Altenberg kein Zusammenhang ($r_s = -0,08$).

Abb. 7:
Höhenwachstum
(Mittelwert, Minimum, Maximum) der untersuchten Nachkommenschaften auf den Versuchsflächen der Fichten-Klonprüfung 1985



Tab. 15:
Höhenwachstum
(Mittelwert, Minimum, Maximum) verschiedener Nachkommenschaftsgruppen auf der Versuchsfläche Bärenfels

Nachkommenschaften	N	Mittlerer Ausfall	Höhe 1995 [cm]		
			Mittelwert	Minimum	Maximum
Tolerante Klone	20	50 %	51	35	92
Sensible Klone	20	58 %	57	43	91
Klonmischungen	6	21 %	67	58	72
Standardnachkommenschaften	22	48 %	66	34	108
Versuchsmittel	192*	47 %*	57	26	108

* Ausfallprozent berechnet auf Basis der 1995 noch vorhandenen Klone

Im Mittel der untersuchten Nachkommenschaften über die Flächen Bärenfels, Neudorf und Schönbrunn wachsen 87 % der Pflanzen aufrecht. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Flächen sind mit Mittelwerten zwischen 75 % und 88 % etwas geringer als auf den Flächen der Fichten-Klonprüfung 1984. Bis zu 3 % der untersuchten Pflanzen weisen einen zweigförmigen Wuchs auf. Die restlichen Pflanzen befinden sich in einem Übergangsstadium zwischen zweigförmigem und aufrechtem Wuchsverhalten (vgl. Abb. 8). Die auf allen Flächen der Fichten-Klonprüfung 1985 angebaute

Standardnachkommenschaften weisen insgesamt ausgeglichene Werte mit einem höheren Anteil an aufrecht wachsenden Pflanzen auf (vgl. Abb. 8).

Die bereits für die Versuchsfläche Altenberg beschriebenen Unterschiede in der Form der untersuchten Nachkommenschaften werden durch die Ergebnisse in Bärenfels bestätigt (vgl. Tab. 16). Die beobachteten Unterschiede sind im Falle der toleranten Klone deutlicher, im Falle der sensiblen Klone weniger deutlich als in Altenberg.

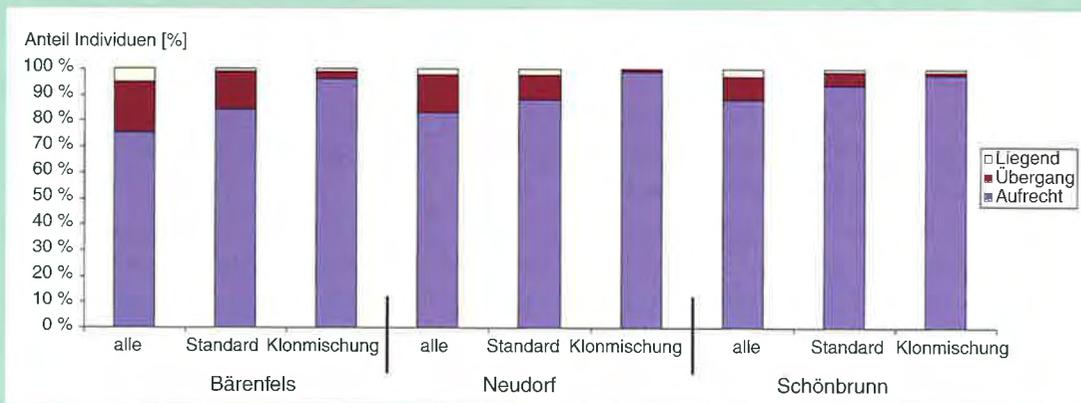


Abb. 8: Wuchsformen der untersuchten Nachkommenschaften auf den Versuchsflächen der Fichten-Klonprüfung 1985

Nachkommenschaften	N	Wuchsform [%]		
		Aufrecht	Übergang	Zweigförmig
Tolerante Klone	20	71	23	6
Sensible Klone	20	76	21	3
Klonmischungen/Sämlinge	6	96	3	1
Standardnachkommenschaften	22	84	15	1
Versuchsmittel	192*	75*	20	5

Tab. 16: Wuchsform verschiedener Nachkommenschaftsgruppen auf der Versuchsfläche Bärenfels

* Anzahl der 1995 noch vorhandenen Nachkommenschaften

4 Diskussion

Das auf den 6 vorgestellten Versuchsflächen verwendete Untersuchungsmaterial ist in Bezug auf das Alter und die Herkunft des Ausgangsmaterials sowie der Vermehrungsart sehr heterogen. Die Anzahl der geprüften Fichten-Klone ist ebenso von Fläche zu Fläche unterschiedlich wie die Anzahl vergleichsweise mitangebaute Klonmischungen und Sämlingsnachkommenschaften. Auf den jeweils 3 Versuchsflächen der Fichten-Klonprüfung 1984 und 1985 sind nur 26 bzw. 22 Klone und Klonmischungen als Standardnachkommenschaften gemeinsam angebaute. Ein einheitlicher Versuchs-

standard ist mit Ausnahme eines einzelnen Klons in keinem Fall über die beiden Klonprüfungen vorhanden. Die Ergebnisse der einzelnen Flächen sind daher nur bedingt miteinander vergleichbar.

Die Mittelwerte der Ausfälle der untersuchten Nachkommenschaften variieren 6 bzw. 7 Jahre nach Versuchsflächenanlage zum Teil erheblich zwischen den einzelnen Flächen. Sowohl die Ausfälle aller untersuchten Nachkommenschaften als auch die Ausfälle der Standardnachkommenschaften waren auf den Flächen Altenberg und Bärenfels

annähernd doppelt so hoch wie auf den anderen Flächen. Abgesehen von der Fläche Neudorf, die nach der Anlage wiederholt nachgebessert worden war, traten die geringsten Ausfälle auf der Fläche Klingenthal im westlichen Erzgebirge sowie in Ilmenau und Schönbrunn im Thüringer Wald auf. Neben unterschiedlicher Pflege der Flächen, könnten die Ergebnisse auch Ausdruck einer unterschiedlichen Belastung der einzelnen Flächen mit SO_2 sein. Vor allem die Flächen Altenberg und Bärenfels waren und sind grenzüberschreitenden SO_2 -Immissionen ausgesetzt, wie die Ereignisse des Winters 1995/96 eindrucksvoll belegen.

Im Erzgebirge konnte von 1991 bis 1995 ein kontinuierlicher Rückgang der SO_2 -Jahresmittelwerte von ca. $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Luft auf ca. $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beobachtet werden (SML 1996). Diese Werte liegen aber noch deutlich über dem von der UN/ECE zum Schutz empfindlicher Ökosysteme vorgeschriebenen Grenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (SML 1996). Im Winter 1995/96 konnten an der Luftmeßstation Zinnwald des Landesamtes für Umwelt und Geologie, die östlich von den Versuchsflächen Altenberg und Bärenfels liegt, von Oktober 1995 bis März 1996 maximale SO_2 -Tagesmittelwerte und maximale 3-Stunden-Mittelwerte zwischen $117 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $326 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. zwischen $244 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $616 \mu\text{g}/\text{m}^3$ beobachtet werden. Im mittleren Erzgebirge variierten an der walddahen Höhenmeßstation Fichtelberg die entsprechenden Werte zwischen $117 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $399 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. zwischen $354 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $1039 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (SLUG 1995 a, b, c; 1996 a, b, c).

Als Folge dieser sehr hohen SO_2 -Konzentrationen konnten auf den Flächen Altenberg und Rehefeld mehr oder weniger starke Nadelschäden an den einzelnen Nachkommenschaften festgestellt werden. Die Variation der Nadelschäden, ausgedrückt durch das Nadelverlustprozent, war zwischen den feldresistenten Klonen beträchtlich. Die Gruppen der 20 Klone mit den geringsten Schäden, tolerante Klone genannt, unterschieden sich in Altenberg und Rehefeld deutlich, sowohl von den Versuchsmittelwerten als auch von den vergleichsweise mitangebauten Klonmischungen bzw. Sämlingnachkommenschaften mit undefiniertem Resistenzverhalten. Ebenso wies die Gruppe der 20 Klone mit den stärksten Schäden, sensible Klone genannt, deutlich stärkere Schäden auf als die oben genannten Kol-

lektive. In beiden Gruppen der toleranten wie der sensiblen Klone sind sowohl Klone von älteren Ausleseebäumen als auch Klone von jüngeren Ausleseebäumen vertreten. Auslese Kriterium war in allen Fällen eine gegenüber Nachbarbäumen erhöhte Vitalität in Gebieten, die bereits eine längere Zeit (ca. 10–20 Jahre) zunehmenden Immissionsbelastungen ausgesetzt waren (TZSCHACKSCH 1983 b; WEISS, mündliche Mitteilung). Bei diesem Ausleseverfahren steigt die Sicherheit, Bäume mit hoher SO_2 -Toleranz selektiert zu haben, mit zunehmendem Alter sowie mit der Zeitdauer an, in der die ausgelesenen Bäume einem Schadeinfluß ausgesetzt waren (WEISER und SCHACHLER 1988). Nach WIESE et al. (1996) stellt die beobachtete Feldresistenz gegenüber SO_2 -Immissionen im wesentlichen jedoch keine Resistenz gegen Immissionsspitzen dar.

Die deutlichen Unterschiede zwischen Klonen, die zum Teil aus demselben Bestand stammen, in der Toleranz gegenüber SO_2 bestätigen die Ergebnisse älterer Untersuchungen zur genetischen Bedingtheit der SO_2 -Resistenz. (ROHMEDEK und VON SCHÖNBORN 1965; TZSCHACKSCH und WEISS 1972; KARNOSKY 1977; TZSCHACKSCH 1982). Darüber hinaus belegen die vorgestellten Ergebnisse erneut die Notwendigkeit von langjährigen Prüfversuchen im Freiland.

Neben den für das Erreichen des Zuchtziels „Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber SO_2 “ wichtigsten Kriterien „Toleranz gegenüber SO_2 “ und „Regeneration nach SO_2 -bedingten Schäden“ sind für die Umsetzung der Ergebnisse in die forstliche Praxis folgende Parameter von erheblicher Bedeutung: das Anwuchsverhalten, die Wuchsleistung und die Wuchsform. Bei den zuletzt genannten Parametern bestehen zwischen den Gruppen der toleranten Klone und den vergleichsweise mitangebauten Klonmischungen und Sämlingnachkommenschaften erhebliche Unterschiede. Die Klonmischungen, die von 3–5 Jahre alten Sämlingspflanzen abstammen, und die Bestandsabsaaten besitzen die niedrigsten Ausfallwerte. Sie weisen mit Ausnahme einer Fläche das beste Höhenwachstum sowie in jedem Fall die höchsten Anteile aufrechtwachsender Pflanzen auf. Ursache für diese Unterschiede ist eindeutig das unterschiedliche Alter der Ausleseebäume.

Das zunehmende Alter des Ausgangsmaterials verschlechtert bei allen Unterschieden auf klonaler Ebene die Bewurzelungsfähigkeit, die Häufigkeit bewurzelter Pflanzen, das Sproß-Wurzel-Verhältnis. Darüber hinaus wird die für die Überwindung von Topophysis- und Zyklophysiseffekten notwendige Zeitdauer negativ beeinflusst (KLEINSCHMIT et al. 1973; SCHACHLER et al. 1983, 1987; WEISGERBER 1983; SCHACHLER und MATSCHKE 1984). Dem Faktor Bewurzelungsintensität kommt auf SO₂-beeinflussten Standorten eine entscheidende Bedeutung zu, da SO₂ nicht nur die Assimilation oder die Frosthärte negativ beeinflusst, sondern auch das Wurzelwachstum (KELLER 1976, 1979, 1981).

Die vorgestellten Ergebnisse belegen eindrucksvoll das Dilemma der Überführung von Ergebnissen der SO₂-Resistenzzüchtung in die forstliche Praxis durch autovegetative Vermehrung. Die autovegetative Vermehrung von jungem Pflanzenmaterial, das sein Resistenzverhalten in Laborversuchen unter Beweis gestellt hat, ist ebenfalls nur bedingt sinnvoll, da sich Laborergebnisse nicht notwendigerweise auf Freilandbedingungen übertragen lassen (SCHOLZ 1983). Praxisrelevante Aussagen sind daher auch in letztem Fall nur nach langjährigen Feldprüfversuchen zu erwarten (KLEINSCHMIT 1983; WEISER und SCHACHLER 1988).

Die genetischen Grundlagen der Resistenz gegenüber Umweltschäden, die Möglichkeiten und Grenzen der Züchtung auf Immissionsresistenz, die Verluste an genetischen Informationen durch Immissionsschäden wurden bereits anderenorts diskutiert. Ebenso wurden die Gefahren einer genetischen Einengung durch die Selektion und Vermehrung einer geringen Anzahl von immissionsresistenten Individuen bereits erörtert (u. a. KLEINSCHMIT 1983; SCHOLZ 1983, 1984, 1985; GEBUREK und SCHOLZ 1985; WEISGERBER et al. 1985; HATTEMER und ZIEHE 1987; ZIEHE und HATTEMER 1987; ALBRECHT 1988; BERGMANN und SCHOLZ 1989; SCHOLZ und BERGMANN 1994). Bereits Mitte der 80er Jahre versuchte man, dem Verlust an genetischer Vielfalt durch Immissionsschäden sowie der genetischen Einengung durch Züchtung durch umfangreiche Maßnahmen zur Erhaltung der genetischen Vielfalt entgegenzuwirken (BRAUN et al. 1987; BRAUN und KOHLSTOCK 1990; WEISS et al. 1990; PAUL 1997).

Die bisherigen Ergebnisse der Fichten-Klonprüfungen 1984 und 1985 weisen darauf hin, daß die autovegetative Vermehrung älterer feldresistenter Fichten keine befriedigende Möglichkeit darstellt, der forstlichen Praxis Pflanzgut der Fichte mit erhöhter Widerstandsfähigkeit gegenüber SO₂ zur Verfügung zu stellen. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen weiterhin die Sächsische Forstdirektion Chemnitz, die einen Antrag auf Zulassung von älteren feldresistenten Fichten als Ausgangsmaterial für die Gewinnung von geprüftem Vermehrungsgut auf autovegetativem Wege (SCHACHLER und OEDING 1996) ohne langjährige Feld-Prüfung auf SO₂-belasteten Standorten ablehnte. Andererseits verfügen Individuen von Klonmischungen, die von Kreuzungsnachkommen feldresistenter Fichten abstammen und vergleichsweise auf der Versuchsfläche in Altenberg mitangebaut wurden, ebenfalls über eine relativ große SO₂-Toleranz. Im Gegensatz zu den toleranten Klonen besitzen die geprüften Klonmischungen sehr hohe Überlebensraten bei überdurchschnittlichem Wachstum und aufrechten Wuchsformen.

Diese Ergebnisse sind ein Hinweis darauf, daß eine Bereitstellung von Pflanzgut mit erhöhter Widerstandsfähigkeit gegenüber SO₂ für einen Anbau an langfristig mit SO₂ belasteten Standorten bei Bedarf möglich wäre. Die hierbei notwendigen Zwischenschritte wären gegebenenfalls die Kreuzung von Fichten mit nachgewiesener SO₂-Toleranz, die Nachkommenschaftsprüfung und Reproduktion SO₂-toleranter Nachkommenschaften durch Kreuzung mit u. U. nachfolgender autovegetativer Vermehrung der Sämlingspflanzen. Die beschriebenen Maßnahmen ersetzen aber in keinem Fall politische, rechtliche und wirtschaftliche Aktivitäten zur weiteren Reduktion der Belastung von Wäldern mit Luftschadstoffen jeglicher Natur.

Im Zusammenhang mit der Immissionsresistenz von Fichten ist bisher der Frage des Ursprungs auch der feldresistenten Fichten nur geringe Aufmerksamkeit geschenkt worden. RUETZ et al. (1996) zeigen anhand von biochemisch-genetischen Untersuchungen an unterschiedlich geschädigten Fichtenbeständen im Bayerischen Wald auf, daß neben der Anpassungsfähigkeit vor allem der Grad der Angepaßtheit eine entscheidende Rolle für das Überleben von Beständen am jeweiligen Standort

spielt. Die Arbeiten von ZIMMERMANN (1931) und NESTLER et al. (1957) weisen nach, daß im Erzgebirge bereits seit Anfang des 19. Jahrhunderts eine Vielzahl mehr oder weniger geeigneter Fichtenherkünfte aus ganz Europa angebaut wurden. Andererseits zeigen die Ergebnisse von Herkunftsversuchen, aber auch von biochemisch-genetischen Untersuchungen, daß autochthone Populationen wie z. B. die Herkunft „Carlsfeld“ ein hohes Maß an genetischer Vielfalt und Anpassungsfähigkeit an unterschiedlichste Standorte besitzen (GÄRTNER et al.

1996). Bei der Wiederbegründung von Waldbeständen in den Immissions-schadgebieten sollte daher unter Annahme einer weiteren Reduzierung der SO₂-Belastung bevorzugt auf Vermehrungsgut aus autochthonen Fichtenbeständen, die über eine hohe Anpassungsfähigkeit verfügen, zurückgegriffen werden. Eine Grundlage für die Auswahl geeigneter Populationen könnten die Ergebnisse von Herkunftsversuchen in Verbindung mit einer genetischen Inventur in Frage kommender Bestände sein.

5 Zusammenfassung

Zur Prüfung der Resistenzeigenschaften, Vitalität, Wuchsform und -leistung von ca. 450 autovegetativ vermehrten SO₂-resistenten Fichten-Klonen wurden zwischen Herbst 1988 und Frühjahr 1990 6 Versuchsflächen in immissionsbelasteten Lagen des Erzgebirges und des Thüringer Waldes angelegt. Die ersten Ergebnisse 6 bzw. 7 Jahre nach Anlage weisen einerseits auf deutliche Unterschiede in der Widerstandsfähigkeit der untersuchten Klonnachkommenschaften gegenüber SO₂ hin. Andererseits zeigen Klone mit einer sehr hohen SO₂-Toleranz nur ein schlechtes Anwuchsverhalten, ein unterdurchschnittliches Höhenwachstum sowie durchschnittliche Wuchsformen. Als Vergleich mitangebaute Klommischungen, die von Sämlingspflanzen abstammen, sowie Sämlingsnachkommenschaften

wurden zwar stärker als die toleranten Klone durch SO₂ geschädigt, sie besitzen jedoch Überlebensprozente, Höhenwachstum und Wuchsformen über dem Durchschnitt. Im Austriebsverhalten weichen die Klommischungen, deren Resistenzverhalten nicht definiert ist, nur gering von den Werten der toleranten Klone ab. Ursache für die festgestellten Unterschiede in der Überlebensrate, dem Höhenwachstum und der Wuchsform ist eindeutig das unterschiedliche Alter des autovegetativ vermehrten Ausgangsmaterials. Die vorgestellten Ergebnisse weisen deutlich auf die Schwierigkeiten hin, Ergebnisse der SO₂-Resistenzzüchtung durch autovegetative Vermehrung von älterem feldresistentem Ausgangsmaterial in die forstliche Praxis zu übertragen.

6 Danksagung

Für die jahrelange Mitarbeit bei Anlage, Betreuung und Aufnahme der Fichten-Klonprüfversuche sei Frau Hannelore Franke an dieser Stelle ebenso gedankt wie für die akkurate und sorgfältige Auswertung des umfangreichen Datenmaterials.

7 Literatur

ALBRECHT, J. (1988): Forstpflanzenzüchtung und genetische Variation. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 159, 84–87.

ANONYMUS (1973): Richtlinie für die Bewirtschaftung des Rauchschaadgebietes Oberes Erzgebirge und Sächsische Schweiz, Vereinigung volkseigener Betriebe, Forstwirtschaft Karl-Marx-Stadt (Chemnitz), 96 S., nicht veröffentlicht.

ANONYMUS (1978): Richtlinie für die Bewirtschaftung immissionsgeschädigter Fichtengebiete. Ministerium für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft der DDR, Ost-Berlin, 71 S., nicht veröffentlicht.

- ANONYMUS (1985): Richtlinie für die Bewirtschaftung immissionsgeschädigter Fichtengebiete. Ministerium für Land-, Forst- und Nahrungsgüterwirtschaft der DDR, Ost-Berlin, 90 S., nicht veröffentlicht.
- BERGMANN, F.; SCHOLZ, F. (1989): Selection effects of air pollution in Norway spruce (*Picea abies*) populations. In: SCHOLZ, F.; GREGORIUS, H.-R.; RUDIN, D. (Eds.): Genetic Effects of Air Pollutants in Forest Tree Populations. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 143–160.
- BRAUN, H.: Die Züchtung widerstandsfähiger Sorten. Sozialistische Forstwirtschaft 39, 121–123.
- BRAUN, H.; WEISS, M.; KOHLSTOCK, N. (1987): Erhaltung des genetischen Potentials der Fichte (*Picea excelsa*). Sozialistische Forstwirtschaft 37, 149–152.
- BRAUN, H.; KOHLSTOCK, N. (1990): Aufgaben und Ergebnisse der Forstpflanzenzüchtung speziell für die Immissionschadgebiete der Mittelgebirge der DDR. AFZ 45, 868–873.
- FORSCHUNGS- UND ÜBERLEITUNGSZENTRUM (FÜZ) (1991): Jahresbericht 1990, Graupa, 78 S.
- GAERTNER, G.; WOLF, H.; BRAUN, H. (1996): Untersuchungen zur genetischen Struktur der autochthonen Fichten-Population Carlsfeld im Erzgebirge und ihrer Nachkommenschaften als Grundlage zur Beurteilung der Effektivität von Generhaltungsmaßnahmen. Silvae Genetica 45, 294–301.
- HATTEMER, H. H.; ZIEHE, M. (1987): Genetische Grundlagen der Resistenz gegenüber Umweltschäden. Allg. Forst- und Jagdzeitung 158, 169–174.
- KARDONSKY, D. F. (1977): Evidence for genetic control of response to sulfur dioxide and ozone in *Populus tremuloides*. Can. J. For. Res. 7, 437–440.
- KELLER, TH. (1976): Der Einfluß von Schwefeldioxid als Luftverunreinigung auf die Assimilation der Fichte. Berichte der Eidgenössischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf, Nr. 161, 8 S.
- KELLER, TH. (1976): Der Einfluß langandauernder SO₂-Begasungen auf das Wurzelwachstum der Fichte. Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen 130, 429–435.
- KELLER, TH. (1976): Die Beeinflussung physiologischer Prozesse der Fichte durch eine Winterbegasung mit SO₂. Mitteilungen forstl. Bundesversuchsanstalt, Wien, 137, 115–120.
- KLEINSCHMIT, J. (1983): Möglichkeiten der Züchtung resistenter Waldbäume für die immissionsbelasteten Flächen. Der Forst- und Holzwirt 38, 196–199.
- KLEINSCHMIT, J.; MÜLLER, W.; SCHMIDT, J.; RACZ, J. (1973): Entwicklung der Stecklingsvermehrung bei Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) zur Praxisreife. Silvae Genetica 22, 4–15.
- KOHLSTOCK, N. (1985): Stand und Perspektiven der Rauchtoleranz-Züchtung und Möglichkeiten der Überführung. Beiträge für die Forstwirtschaft 19, 153–157.
- LIEBOLD, E.; DRECHSLER, M. (1991): Schadenszustand und -entwicklung in den SO₂-geschädigten Fichtengebieten Sachsens. AFZ 46, 492–494.
- MATSCHKE, J.; SCHÖNBORN, H.-J.; SCHACHLER, G. (1984): Möglichkeiten und Probleme bei der Selektion und Vermehrung rauchharter Forstgehölze. Beiträge für die Forstwirtschaft 18, 58–65.
- NESTLER, K.; MANN; RIESS (1957): Die Nebelfrostablagerungen im Fichtelberggebiet. Abschlußarbeit Fachschule für Forstwirtschaft, Schwarzburg.
- PAUL, M. (1997): Die Nutzung immissionsresistenter Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) für die forstliche Generhaltung. In: Forstpflanzenzüchtung für Immissionschadgebiete. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten, 13/97.
- RABEN, G.; ANDRAE, H.; LEUBE, F. (1996): Schadstoffbelastungen in sächsischen Waldökosystemen. AFZ/Der Wald 51, 1244–1248.
- ROHMEDER, E.; SCHÖNBORN, A. v. (1965): Der Einfluß von Umwelt und Erbgut auf die Widerstandsfähigkeit der Waldbäume gegenüber Luftverunreinigung durch Industrieabgase. Forstwirtschaftliches Cbl. 84, 1–13.
- RUETZ, W. F.; KONNERT, M.; BEHM, A. (1996): Sind Waldschäden auch eine Frage der Herkunft? AFZ/ Der Wald 51, 759–761.
- SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (SLUG) (1995 a, b, c; 1996 a, b, c): Monatsberichte zur Immissionssituation Oktober 1995–März 1996. Dresden.
- SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, ERNÄHRUNG UND FORSTEN (SML) (1996): Waldschadensbericht 1996. Dresden.

- SCHACHLER, G.; MATSCHKE, J.; KOHLSTOCK, N. (1983): Einbeziehung von autovegetativ vermehrten Fichten in die Waldbaukonzeption des mittleren Erzgebirges. *Sozialistische Forstwirtschaft* 33, 250–252.
- SCHACHLER, G.; MATSCHKE, J. (1984): Stand und Perspektiven zur autovegetativen Vermehrung von Fichte. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 18, 19–24.
- SCHACHLER, G.; MATSCHKE, J.; KOHLSTOCK, N. (1987): Verfahren zur autovegetativen Vermehrung von *Picea abies* und *Fagus sylvatica*. IFE-Berichte aus Forschung und Entwicklung 6, Institut für Forstwissenschaften Eberswalde, 64 S.
- SCHACHLER, G.; OEDING, P. (1996): Autovegetativ vermehrte Fichten mit erhöhter Feldtoleranz gegenüber Luftverunreinigungen. *AFZ/Der Wald* 51, 985–988.
- SCHOLZ, F. (1983): Kann Züchtung auf Immissionsresistenz zur Lösung des Problems „Waldsterben“ beitragen? *AFZ* 38, 281–283.
- SCHOLZ, F. (1984): Drohen unsere Wälder durch Luftverunreinigungen genetisch zu verarmen? *AFZ* 39, 1258–1261.
- SCHOLZ, F. (1985): Waldschäden durch Luftverunreinigungen als Herausforderung für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung. *Der Forst- und Holzwirt* 40, 238–247.
- SCHOLZ, F.; BERGMANN, F. (1994): Genetic Effects of Environmental Pollution on Tree Populations. In: ZIN-SUH KIM; HATTEMER H. H. (Eds): *Conservation and Manipulation of Genetic Resources in Forestry*. Kwang Moonkag, Seoul, 34–50.
- TZSCHACKSCH, O. (1981): Stand und Perspektiven der forstlichen Rauchresistenzzüchtung in der DDR. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 15, 134–137.
- TZSCHACKSCH, O. (1982): Untersuchungen zur Erbllichkeit der SO₂-Resistenz bei Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) und Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) mit Schlußfolgerungen für die Forstwirtschaft. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 16, 103–106.
- TZSCHACKSCH, O. (1983 a): Möglichkeiten der Begründung von Fichtenbeständen verminderter Anfälligkeiten gegenüber phytotoxischen Immissionen durch Hochpfropfungen. *Sozialistische Forstwirtschaft* 33, 339–341.
- TZSCHACKSCH, O. (1983 b): Immissionsresistente Fichten-Herkunftsorte – Immissionsresistente Fichten-Mehrklonsorte. Bericht des Instituts für Forstwissenschaften, Eberswalde, 27 S., nicht veröffentlicht.
- TZSCHACKSCH, O.; WEISS, M. (1972): Die Variation der SO₂-Resistenz von Provenienzen der Baumart Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.). *Beiträge für die Forstwirtschaft* 6, 21–23.
- WEISER, F.; SCHACHLER, G. (1988): Aufbau sowie erste Ergebnisse zur Entwicklung und Nutzung eines Stecklings-Mutterquartiers mit Fichten-Klonen verminderter Anfälligkeit gegenüber SO₂. *Beiträge für die Forstwirtschaft* 22, 55–61.
- WEISGERBER, H. (1983): Forstpflanzenzüchtung. *Mitteilungen der hessischen Landesforstverwaltung*, Bd. 19, 98 S.
- WEISGERBER, H.; ALBRECHT, J.; BOHNENS, J.; KECHEL, H.-G.; RAU, H.-M.; SCHULZKE, R. (1985): Bedrohung der genetischen Vielfalt unserer Wälder durch Immissionen – Gegenmaßnahmen der Forstpflanzenzüchtung. *Der Forst- und Holzwirt* 40, 235–238.
- WEISS, M.; PAUL, M.; BRAUN, H. (1990): Das genetische Potential der Fichte. *Der Wald* 40, 332–334.
- WEISSELEDER, S. (1990): Anwenderdokumentation zum Programm „Datenverarbeitungssystem (DVS)“. Forschungs- und Überleitungszentrum Graupa.
- WIESE, C.; SLOVIK, ST.; KAISER, W. M. (1996): Wirkungen hoher SO₂-Konzentrationen auf Fichte, Stechfichte, Waldkiefer und Latsche. *AFZ/Der Wald* 51, 570–572.
- ZIEHE, M.; HATTEMER, H. H. (1987): Populationsgenetische Ansätze zur Resistenz gegenüber Umweltschäden. *Allg. Forst- und Jagdzeitung* 158, 217–222.
- ZIMMERMANN, H. (1931): Fichtensamenbeschaffung in Sachsen. *Tharandter Forstliches Jahrbuch* 82, 821–864.

Die Nutzung immissionsresistenter Fichten – *Picea abies* (L.) Karst. – für die forstliche Generhaltung

M. PAUL

Einleitung

Zu Beginn der 80er Jahre kam es zu katastrophalen Absterbeerscheinungen in den Wäldern des Erzgebirges, welche das Überleben der Vegetationsform Wald in einer ganzen Region in Frage stellten. Bis dahin registrierte man Immissionsschäden mit lediglich lokalem Ausmaß.

Bestandteil einer Vielzahl von „Gegenmaßnahmen der Forstwirtschaft“ war die sogenannte Rauchresistenzzüchtung der Fichte.

Neben den in Sachsen bereits traditionellen Arbeiten zur Resistenzforschung (vgl. auch DÄSSLER in diesem Heft) erschloß sich Anfang der 70er Jahre infolge starker Immissionsschäden ein neues Feld der Züchtung: die Auswahl feldresistenter Fichten.

Anstoß der Arbeiten war die Feststellung, daß es in bereits abgestorbenen Fichtenbeständen einzelne noch lebende und vitale Exemplare gab. Diese vitalen Bäume galt es zu sichern. Weiterhin war es auffällig, daß auch angepaßte Bestände lokaler Herkünfte in extremen Rauchschadgebieten länger überlebten. Das war der Grund, weshalb man auch Nachkommenschaften dieser Bestände in das Programm einbezog.

Die Erhaltung von genetischem Material ist seit jeher ein Bestandteil forstlicher Pflanzenzüchtung. Der Unterschied besteht in den Auslesekriterien des Materials, welches gesichert wurde. Bei Arbeiten zur Verbesserung bestimmter Eigenschaften (Form, Frosthärte, Wuchsleistung etc.) wurde für die Archivierung bereits eine Feldauslese getroffen. Andererseits erforderten die Aufgaben zur Prüfung von Anbaueignungen eine möglichst große Variabilität in den Versuchen. Diesem Umstand wird bei der Nutzung vorhandenen Materials für die Zwecke der forstlichen Generhaltung Rechnung getragen.

Das im Rahmen der Resistenzzüchtung archivierte genetische Potential nimmt dabei eine Sonderstellung ein, denn es wurden sogenannte feldresistente Fichten gesichert. Es bestanden nur geringe Möglichkeiten für eine Selektion – es ging darum, zu retten, was zu retten war. Obwohl verschiedene Konzepte und Programme erstellt wurden, sind die heute vorhandenen Anlagen wohl eher das Ergebnis von Krisenmanagement.

Vorbereitung von Generhaltungskartierungen

Im Rahmen der aktuellen Aufgaben zur Erhaltung forstlicher Genressourcen (Evaluierung, Kartierung, Erhaltungsmaßnahmen gefährdeter Vorkommen) werden auch die vorhandenen Forschungsergebnisse und Anlagen geprüft (vgl. Abb. 1). Dazu zählen Genarchive, Samenplantagen, Versuchsflächen, Saatgutlager und Ergebnisse früherer Kartierungen. Der Vorteil der Verwendung eigener Quellen besteht in der exakten Herkunftsidentifikation.

Da das vorhandene Material in den Archiven und Versuchen in den meisten Fällen das noch einzig verfügbare aus einem bestimmten Gebiet ist, kann der Faktor „genetische Vielfalt“ nicht bewußt gestaltet werden. Es erübrigen sich Betrachtungen zu der Fragestellung, ob genug Einzelexemplare für eine Repräsentanz der Population gesichert wurden.

Erfassung	Charakterisierung	Registrierung	Erhaltung/Nutzung
<ul style="list-style-type: none"> • Hinweise aus der forstlichen Praxis • Biotopkartierung • Forsteinrichtung • Naturschutz • eigene Quellen <ul style="list-style-type: none"> – eigene Aufnahmen – Prüfung des gesicherten Materials aus früheren Arbeiten für Generhaltungszwecke <ul style="list-style-type: none"> – Genarchive, – Klonsammlungen – Saatgutlager • forsthistorische Studien • Saatgutberatungsdienst 	<ul style="list-style-type: none"> • forsthistorische Studien • genetische Analysen • Beschreibung des Vorkommens • Auswertungen züchterischer Versuche • Wertung für die Generhaltung 	<ul style="list-style-type: none"> • Generhaltungsdatei • Waldfunktionenkartierung • Forsteinrichtungswerk • Regionalplan 	<ul style="list-style-type: none"> • Erarbeitung von Erhaltungskonzepten

Abb. 1:
System der Ausweisung
von Generhaltungs-
objekten in Sachsen

Entstehung von Resistenzfichtenanlagen

Mit Beginn des flächigen Absterbens der Erzgebirgswälder wurde nach forstlichen Möglichkeiten gesucht, diesem zu begegnen. Ein Weg bestand darin, in den Schadgebieten Individuen zu sichern, welche durch eine erhöhte Feldresistenz noch mehrere Jahre überlebten. Es wurden verschiedene Strategien entwickelt und verfolgt. Dort, wo es noch möglich war, wurde Saatgut gewonnen. Weiterhin pflanzte man Reiser für die Anlage von Mutterquartieren. Diese Mutterquartiere waren dann die Quelle der Steckreiser für die autovegetative Vermehrung. Ein Ziel bestand von Anfang an auch darin, dieses Material in Nachkommenschaftsprüfungen zu testen. Dabei sollte sich herausstellen, ob die Resistenzerscheinungen genetisch fixiert sind.

Das führte dazu, daß wir heute in der Lage sind, auf eine Vielzahl von Flächen zurückgreifen zu können. Es muß allerdings auch festgestellt werden, daß dieses genetische Material nicht unbesehen für die Generhaltung nutzbar ist. Hauptanliegen der Beurteilung: Die eindeutige Identifikation des Ausgangsbestandes muß gegeben sein. In Abhängigkeit von der Repräsentanz des vorhandenen Materials in Bezug auf ein bestimmtes Gebiet kann es für Erhaltungsmaßnahmen verwendet werden. Beispielsweise ist eine Voraussetzung für die Anlage einer Gebietssamenplantage eine bestimmte Mindestanzahl von Klonen, welche verfügbar sein muß.

Mit dem flächendeckenden Absterben des Waldes starben auch viele Bestände, welche Ausgangsmaterial für Nachkommenschaftsprüfungen bildeten. Dieses Material existiert oft nur noch in den entsprechenden Versuchen. Um die Rauchschaadgebiete mit geeignetem Pflanzenmaterial zu versorgen, wurden auch Stecklinge in solchen Versuchen geschnitten. Ziel war eine Massenvermehrung. Dazu boten die oft noch jungen Versuchsanlagen gute Voraussetzungen, weil hier zusätzlich zur Verfügbarkeit des Materials eine gute Bewurzelung zu verzeichnen war. Ein Problem, welches an alten geschädigten Fichten zum limitierenden Faktor bei der vegetativen Erhaltung wird.

Zur Bewertung dieses Materials hinsichtlich seines Nutzens für die Generhaltung muß gesagt werden, daß es sich hierbei um selektiertes Material handelt. Jedoch ist dieses Material das einzig verfügbare aus bestimmten Gebieten. Die verbliebenen Reste dieser Fichtenvorkommen wurden in Samenplantagen und Mutterquartieren gesichert. Für die aktuellen Aufgaben der Generhaltung findet dieses Material heute seine Verwendung in Erhaltungsprogrammen.

Das in Tab. 1 (vgl. S. 71) aufgeführte Potential wird auch künftig Bestandteil von Generhaltungsmaßnahmen sein.

Anlage	Forstamt	Revier	Abteilung
GFIV79	Obermbau	Ansprung	74
GFIV80	Obermbau	Ansprung	74
GFIV81	Obermbau	Ansprung	74
GFIV84	Altenberg	Schellerhau	1659a4
GFIV85	Neudorf	Tellerhäuser	285b6
GFIV86	Neudorf	Nitzschhammer	281a1
GFIV87	Imenan (Th)	Mainebach	631
GFIV88	Klingenthal	Rautenkranz	67a1
GFIV90	Bärenfels	Rehefeld	281
GFIV91	Neudorf	Hammerunterwiesenthal	709d1
GFIV92	Eibenstock	Brückenberg	58a2
GFIV93	Schönbrenn	Steinberg	1145a2, a3
GFIV94	Marientberg	Reitzenhain	20
GFIV96	Neudorf	Hammerunterwiesenthal	724a4
MQ01	Brand-Erbisdorf	Großhartmannsdorf	114c2
MQ02	Brand-Erbisdorf	Großhartmannsdorf	1
MQ03	Löhmen	Fischbach	NHIB 33
MQ04	Löhmen	Fischbach	NHIB 33
MQ05	Löhmen	Fischbach	NHIB 33
MQ06	Tharandt	Nauendorf	435b4
MQ07	Langburkersdorf	Neustadt	555
MQ08	Langburkersdorf	Neustadt	555
MQ09	Heinzebank	Lengfeld	8990
MQ10	Dresden	Bühlau	37
MQ11	Heinzebank	Zschopau	90a2
MQ12	Löhmen	Graupa	VBS
MQO	Brand-Erbisdorf	Sayda	41/42
[N]	Summe		
Herkunft: Revier/Abt./Baum			
CR Klinovez			
Altenberg Abt. 1460 a3 Baum5			
Altenberg Abt. 178a6 Baum16			
Altenberg am Hochmoor Baum C			
Carlshof Abt. 277,278			16
CR Bolebor			2
CR Bolebor Abt. 257.A1, B1 B2, C2			20
CR Kliny			7
CR Kliny Abt.31D2, 42C2, Tiergarten			8
CR Kostanv			14
CR Kovarska			15
CR Nacetin			15
CR Zelivka			53
CR Kovarska Abt. 161D2			580
Deutschesiedel Abt. 11			1225
Deutschesiedel Abt. 1			2
Deutschesiedel Abt. 116, 117, 124			8
Deutschesiedel Abt. 133, 134			2
Deutschesiedel Abt. 15			1
Deutschesiedel Abt. 19			61
Deutschesiedel Abt. 20			32
Deutschesiedel Abt. 22, 23			40
Deutschesiedel Abt. 8			15
Deutschesiedel Abt. 9			73
Deutschesiedel Abt. 12			82
Deutschesiedel Abt. 13			23
Deutschesiedel Abt. 14			53
Deutschesiedel Abt. 17			31
Deutschesiedel Abt. 3			9
Deutschesiedel Abt. 4			10
Deutschesiedel Abt. 5, 6			37
Georgenfeld Abt. 192			399
Georgenfeld Abt. 194			402
Georgenfeld Hochmoor			131
Jonsdorf Abt. 339, 340, 341			106
Markersbach Abt. 775a1 Baum 57			356
Oberlochmühle			7
Oberlochmühle Abt. 101			60
Oberlochmühle Abt. 103			8
Oberlochmühle Abt. 105			54
Oberlochmühle Abt. 49, 52, 53, 54, 56, 58			20
Oberlochmühle Abt. 34			6
Oberlochmühle Abt. 42-49			84
Oberwiesenthal Abt. 372			480
Oberwiesenthal Abt. 336			84
Oberwiesenthal Abt. 386			90
Otomühle Abt. 623, 639			125
Polen/Blizyn			124
Polen/Astebra			49
Polen/Rycerka			20
Polen/Swieradow Abt. 370, 385, 386			438
Polen/Szklarska Abt. 200-225			3981
Reitzenhain Abt. 1, 2			1476
Reitzenhain Abt. 11			11
Reitzenhain Abt. 95			22
Schmalzgrube Abt. 286-293			1504
Seiffen Abt. 105			56
Seiffen Abt. 119			3
Seiffen Abt. 120			31
Seiffen Abt. 121, 122			27
Seiffen Abt. 126			3
Seiffen Abt. 128			7
Seiffen Abt. 113, 115			2
Seiffen Abt. 124			20
Seiffen Abt. 127			49
Taubenbach Abt. 146			72
Ukraine Chirjelev (Karpaten)			108
Ukraine Skole (Karpaten)			71
Waltersdorf Abt. 306			194
Wohlhausen 584c1+2			28
[N]			
Anzahl der ausgelesenen Bäume			
Alter der ausgelesenen Bäume			

Tab. 1:
Vegetative und generative
Nachkommenschaften des
Resistenzfichtenprogrammes
(Anzahl der in den Anlagen
gesicherten Exemplare)

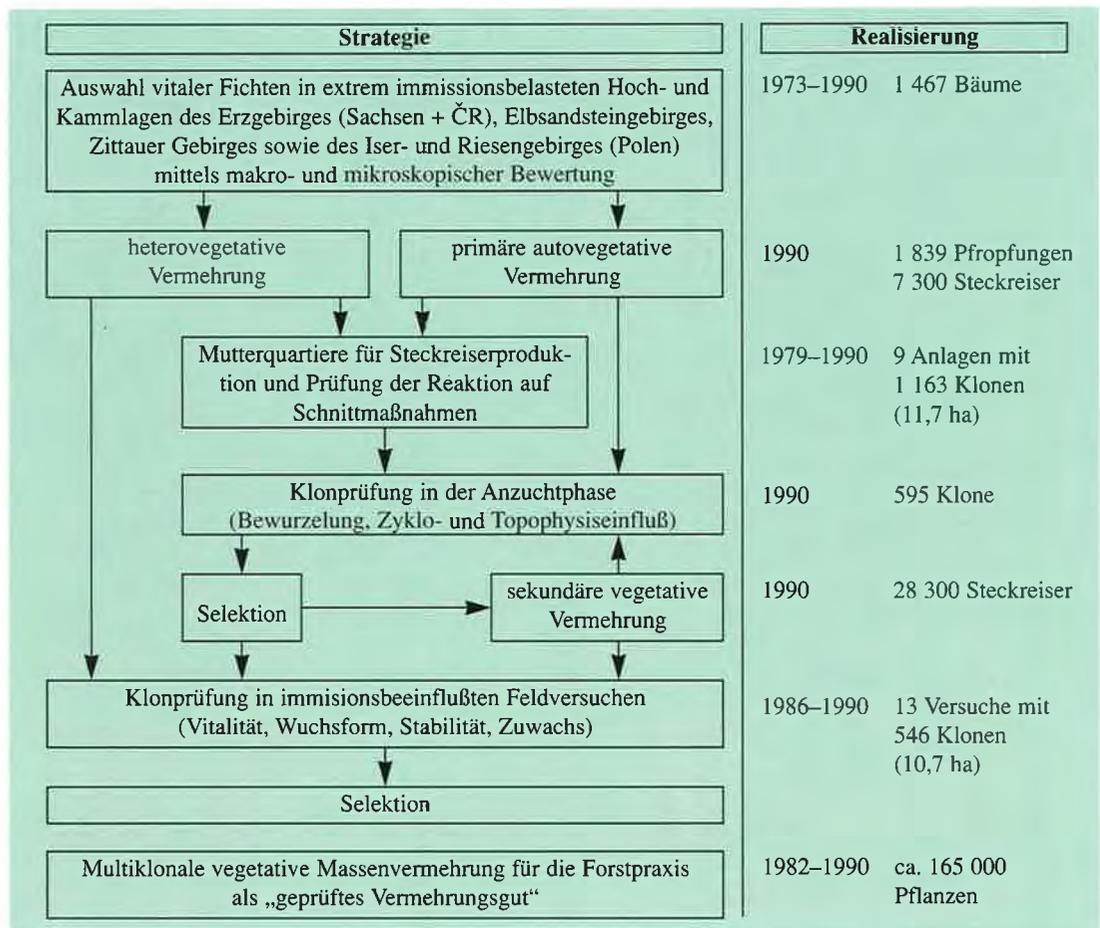


Abb. 2:
Programm zur
Selektion von Fichten-
klonen für Immissions-
schadgebiete und seine
Realisierung

Schlußfolgerungen

Für gegenwärtige und künftige Aufgabenstellungen ist es von Vorteil, auf definiertes Material rückgreifen zu können. Die vorhandenen Anlagen (Mutterquartiere, Samenplantagen, Genarchive, Versuche etc.) stellen, unabhängig von ihrem ursprünglichen Verwendungszweck, eine Genressource dar. Der Vorteil des Materials liegt in der Identifizierbarkeit des Ausgangsbestandes. Neben wissenschaftlichen Aufgaben sind es aus heutiger Sicht vor allem die Arbeiten zur Sicherung von Genressourcen, welche den Wert der Anlagen darstellen.

Für die Anlage von Fichten-Erhaltungsplantagen für Rauchschadgebiete des Erzgebirges sind die gesicherten Klone der „Resistenzfichten“ oft die einzige Quelle für autochthones Material. Durch die angelegten Samenplantagen kann künftig geeignetes Vermehrungsgut für die Aufforstung der Schadgebiete bereitgestellt werden.

Im rein praktischen Betrieb erforderte es auch einen bestimmten Aufwand, Genressourcen in Mutterquartieren, Genarchiven und Versuchen zu sichern. Das schließt auch Versuche ein, welche ihr Versuchsziel bereits erreicht haben und jetzt ausschließlich den Zwecken der forstlichen Generhaltung dienen. Allerdings erscheinen die dazu notwendigen Arbeiten im Vergleich zu den bereits investierten als der geringere Teil.

Bei den sogenannten „Resistenzfichten“ handelt es sich in den meisten Fällen um unwiederbringbare genetische Ressourcen, deren Erhaltung einen bestimmten Aufwand erfordert und rechtfertigt. Denn es ist notwendig, auch für künftige Aufgaben (z. B. Aufforstung der Rauchschadgebiete) eine breite genetische Basis zur Verfügung zu haben.

Beurteilung der im Immissionsschadgebiet des oberen Erzgebirges vorhandenen Bestände aus unterschiedlichen Baumarten und weiteres Vorgehen bei der Waldschadenssanierung

D. BUTTER, H.-J. RICHTER

1 Vorbemerkungen

Das Waldschadensgebiet in den sächsischen Mittelgebirgen umfaßt gegenwärtig ca. 120 000 ha. Davon sind auf 10 400 ha Fichtenbestände abgestorben (1962–1991: 8 800 ha; 1996: 1 600 ha). In der Zone des am stärksten geschädigten Waldes befinden sich 27 000 ha (Schadzone I und I extrem). Bis auf sehr wenige Flächen, die der Sukzession überlassen wurden, sind alle Flächen, auf denen der Wald abgestorben war, wieder aufgeforstet (LIEBOLD und GÄRTNER 1991; MAUERSBERGER, GÄRTNER und RICHTER

1991). Die dabei gewonnenen praktischen Erfahrungen sowie die Ergebnisse der wissenschaftlichen Versuche und des Waldmonitorings gilt es, von Zeit zu Zeit zusammenzufassen und für das weitere Vorgehen der Waldschadenssanierung und des Waldumbaus auszuwerten. Dem diene eine am 9. und 10. Juli 1997 durchgeführte Exkursion in Forstämter der Kammlagen des östlichen und mittleren Erzgebirges, deren Ergebnisse im folgenden niedergelegt sind.

2 Waldschadenssanierung und Baumartenwahl

2.1 Ausgangslage

Von 1962 bis 1991 wurden in den Immissionsschadzonen I und I extrem nach dem Absterben der Fichtenbestände auf fast 8 800 ha Wiederaufforstungsmaßnahmen durchgeführt.

Fichte	2 700 ha	31 %
Lärchen-Arten	1 700 ha	20 %
Stechfichte	1 400 ha	16 %
Murraykiefer	550 ha	6 %
Omorikafichte	560 ha	6 %
Eberesche/Birke	730 ha	8 %
sonstige Baumarten	1 135 ha	13 %
gesamt	8 775 ha	100 %

Tab. 1 a:
Anteil der Baumarten an den Aufforstungen im Immissionsschadgebiet nach Absterben der Fichte im Zeitraum von 1962–1991

Kiefer	92 ha	Stieleiche	45 ha
Weymouthskiefer	18 ha	Traubeneiche	112 ha
Schwarzkiefer	56 ha	Roteiche	34 ha
Rum. Weymouthskiefer	45 ha	Buche	176 ha
sonstige Kiefern	201 ha	Esche, Ahorn, Ulme	87 ha
verschiedene Tannen	21 ha	Hainbuche	4 ha
Douglasie	19 ha	Erle	143 ha
sonstige Fichten	27 ha	Aspe, Pappel	40 ha
		Linde	12 ha
Summe Nadelbäume	ca. 480 ha	Summe Laubbäume	ca. 655 ha

Tab. 1 b:
Aufgliederung der sonstigen 1962–1991 im Schadgebiet angebauten Baumarten

2.2 Grundsätze der Waldschadenssanierung

In Anlehnung an die Thesen der LAF zum Immissionssschadengebiet „Sächsische Mittelgebirge“ (vorgebracht auf einer Dienstberatung am 02.10.1996 in Karsdorf) werden für die weitere Waldschadenssanierung folgende **Ziele und Wege** vorgegeben:

Bodenschutz und Bodensanierung durch Kompensations- und Meliorationskalkungen (siehe „Bodenschutzkalkung, Entscheidungshilfen“ Merkblatt 3 der LAF, 1995).

Erhaltung des Waldes durch intensive, auf Einzelbaumstabilisierung ausgerichtete Pflege aller Jungwüchse und Jungbestände, rechtzeitige Verjüngung geschädigter Bestände und kurzfristige Wiederaufforstung von Kahlflecken.

Konsequente Wildbestandsregulierung als Grundvoraussetzung für die Waldschadenssanierung; Ziel ist die Einhaltung der Toleranzgrenzen bei Verbiß- und Schälschäden.

Langfristige Rekonstruktion des Fichten-Bergwaldes und des Fichtenbergmischwaldes oder anderer geeigneter Bestandeszieltypen auf 3 möglichen Wegen:

- Voranbau in geschädigten mittelalten Fichtenbeständen
- Anbau auf schadensbedingten Blößen unter Einbeziehung von Vorwaldbaumarten, Umbau von vorwaldartigen Beständen aus „Übergangsbaumarten“ *
- Einbeziehung der natürlichen Sukzession in die Verjüngung, auch durch Initiierung gelenkter Sukzessionen, begleitend oder ergänzend zu Aufforstungen.

In Abhängigkeit vom Schadensausmaß bzw. der Gefährdung der Bestände sind **nach der Intensität differenzierte Aufforstungsmaßnahmen** zu ergreifen:

Besonders stark geschädigte Bestände, an Prallfronten und/oder in exponierten Lagen auf bearbeitbaren Böden:

- streifen- oder plätzeweise Bodenbearbeitung und Kalkung,

- künstliche Verjüngung unter Nutzung eines breiten Baumartenspektrums zur Risikominimierung einschließlich von Vorwald- und in begrenztem Maße auch Übergangsbaumarten (Vorsicht mit Fichte!).

Bestände in geschützteren Lagen und im Schutz von vorgelagerten Beständen auf bearbeitbaren Böden:

- streifen- oder plätzeweise Bodenbearbeitung mit Kalkung,
- Pflanzung der Baumarten des Bestandesziels,
- Nutzung der natürlichen Sukzession von Bäumen und Sträuchern nach der Bodenbearbeitung und Kalkung als Zeitmischung.

Bei Aufforstungen sind keine Abstriche bei der Wahl der geeigneten Herkunft zulässig!

2.3 Baumartenwahl

2.3.1 Fichte (*Picea abies*)

Die Gemeine Fichte ist die **Hauptbaumart in den Hoch- und Kammlagen der sächsischen Mittelgebirge**. Ihr vielerorts schlechter Gesundheitszustand bzw. das Absterben dieser Baumart ist zuallererst auf die zu hohen Schadstoffeinträge (insbesondere SO₂) zurückzuführen. Unstandortgemäße Herkünfte tragen darüber hinaus ebenfalls zum negativen Zustand vieler Bestände bei. PAUL (1993) hat unter Bezug auf NESTLER, MANN und RIESS am Beispiel des Fichtelberges die bei dessen Aufforstung verwendeten unstandortgemäßen Fichten-Herkünfte zusammengestellt. Im Unterschied zu der von NEBE (1997) vertretenen Auffassung, bei den gegenwärtig noch hohen Schwefeleinträgen vom Anbau der Fichte in der Schadzone I abzusehen, wird der Voranbau ausschließlich autochthoner Fichten in geschützten Lagen und im Schutz noch vorhandener nicht autochthoner Fichtenbestockungen bzw. vorwaldartiger Bestände anderer Baumarten empfohlen. Diese Vorgehensweise erscheint aufgrund der fortschreitenden Entschwefelung der Großfeuerungsanlagen in der Tschechischen Repu-

* Übergangsbaumarten, auch Alternativ- oder Ersatzbaumarten, sind nicht zur natürlichen Waldgesellschaft gehörende Baumarten, die bis zur Reduzierung der Schadstoffeinträge auf ein den Fichtenanbau wieder rechtfertigendes Maß vorübergehend als Vorwälder die Vegetationsform „Wald“ im Schadgebiet erhalten sollen.

blik, der damit zu erwartenden weiter rückläufigen Schwefeleinträge und unter Beachtung zielgerichteter Bodensanierungen gerechtfertigt. Außerdem ist die Regenerationsfähigkeit von Fichtenverjüngungen offensichtlich größer als die älterer Fichtenbestände. Schließlich verlangt die Verjüngung in Hoch- und Kammlagen mehr Zeit als in den mittleren Lagen, die nicht ungenutzt verstreichen soll.

Vegetativ vermehrte Fichten mit erhöhter SO₂-Verträglichkeit, die von Graupa bereitgestellt wurden, versprechen einen gewissen Vitalitätsgewinn im Schadgebiet. Der Aufwand ist jedoch beträchtlich, so daß dieser Weg nicht weiter beschritten wird. Vorhandene Klonprüfflächen, z. B. in den Revieren Altenberg und Hammerunterwiesenthal, sollen durch die Landesanstalt für Forsten weiter beobachtet und ausgewertet werden.

2.3.2 Stechfichte (*Picea pungens*)

Stech- bzw. Blaufichtenvorwälder sind im Erzgebirge **großflächig vorhanden**. Ihre Umwandlung ist in der Regel nicht dringend. Im Vordergrund steht die Erziehung stabiler Individuen durch Pflege. Spätestens bei beginnender Auflösung solcher Bestände (z. B. durch Hallimasch) sollten extensiv streifenweise Baumarten der künftigen Waldgeneration (geeignete Fichten- und Buchenherkünfte, auf besseren Standorten auch Bergahorn) eingebracht werden. Dabei hat sich eine maschinelle streifenweise Bodenbearbeitung mit Kalkeinbringung hinsichtlich der Kosten und der Tagesleistung als vorteilhaft gegenüber plätzeweise arbeitender Technik erwiesen.

2.3.3 Serbische Fichte (*Picea omorika*)

Die Serbische Fichte verfügt über eine gute Rauchhärte und zeigt auch in extremen Lagen bei mittlerer Wüchsigkeit sehr gute Vitalität. Voraussetzung dafür sind zeitige Pflege und weitständige Erziehung. Die Länge der grünen Kronen muß mindestens die Hälfte der Baumlänge betragen.

2.3.4 Sonstige Fichten

Im Schadgebiet befinden sich Versuchsanbauten weiterer Fichtenarten, wie z. B. der Schwarzfichte

(*Picea mariana*), der Weißfichte (*Picea glauca*), der Engelmansfichte (*Picea engelmannii*) und der Nordamerikanischen Rotfichte (*Picea rubens*). Ein Urteil über eine Anbauwürdigkeit im Schadgebiet ist gegenwärtig noch nicht möglich. Die Versuche werden zu gegebener Zeit durch die Landesanstalt für Forsten ausgewertet.



2.3.5 Lärchen (*Larix spec.*) insbesondere Hybridlärchen

Die sächsische Forstverwaltung verfügt über geprüfte **Hybridlärchensorten**, die hinsichtlich ihrer SO₂-Verträglichkeit, ihrer Wuchsleistung und ihrer Schaftform sehr überzeugen. Sie sind sowohl als Vorwaldbaumart als auch gruppenweise in die zukünftige Waldgeneration eingemischt, **hervorragend geeignet**. Zukünftig sollten im Schadgebiet der Hochlagen des Erzgebirges nur noch geprüfte Hybridlärchen in begrenzter Stückzahl pro Hektar gepflanzt werden (keine Japanische Lärche, Europäische Lärche nur in mittleren und unteren Lagen bzw. außerhalb des Schadgebiets). Auf das von der Landesanstalt für Forsten 1997 herausgebrachte **Merkblatt** „Hybridlärchen-Anbau“ wird verwiesen.

2.3.6 Rumelische Weymouthskiefer (*Pinus peuce*)

Im Forstamt Marienberg, Revier Steinbach, befindet sich am Hirtstein in exponierter Lage und 850 m über NN der Rest eines 57jährigen Bestandes aus Rumelischer Weymouthskiefer. Er wurde 1940 auf Veranlassung von Professor Jentsch, Tharandt, in Mischung mit Fichte angebaut.

Abb. 1:
Blaufichtenjungwuchs im Revier Deutschein-siedel; die dazwischenstehenden Fichten wurden im Winter 1996/97 stark geschädigt

Die Fichte ist um 1980 infolge Immissionseinfluß vollständig abgestorben. Die Rumelische Weymouthskiefer ist in diesen Hochlagen der **Fichte in der Wuchsleistung ebenbürtig**, der Murraykiefer ist sie im Wachstum überlegen. Die *Pinus peuce* läßt sich auch ohne Zaun anbauen, am Hirtstein wurde im Gras reichlich Naturverjüngung vorgefunden. Allerdings zeigen stark geschälte Jungbestände aus Rumelischer Weymouthskiefer in einigen Erzgebirgsrevieren, **daß Waldschadenssanierung bei zu hohen Rotwildichten zu**



Abb. 2:
57jährige Rumelische Weymouthskiefer am Hirtstein im Revier Steinbach, Forstamt Marienberg



Abb. 3:
Wüchsige Spirke in der Abteilung 4 des Revieres Reitzenhain, Forstamt Marienberg

unvertretbaren Verlusten führt. Die Einstände aus Jungwüchsen und Jungbeständen unterschiedlicher Baumarten müssen kräftig gepflegt und für die Jagd erschlossen werden.

Weitere gute Anbauversuche, z. B. in den Forstämtern Altenberg und Bärenfels, beweisen, daß der Rumelischen Weymouthskiefer aufgrund ihrer Vitalität und Wuchsleistung der Vorzug unter den fremdländischen Kiefern im Waldschadensgebiet gebührt. Sie sollte nicht in Reinbeständen, sondern horstweise angebaut werden. Sie kann ohne weiteres in die künftige Waldgeneration aus Fichte und Buche einwachsen. Die LAF verfügt über vier Samenplantagen, aus denen Saatgut für geeignetes Pflanzenmaterial auf Bestellung gewonnen werden kann.

2.3.7 Murraykiefer (*Pinus contorta* var. *murrayana*)

Die Murraykiefer ist im Schadengebiet bis in Höhenlagen von max. 800 m über NN bei geeigneter Herkunft insbesondere **als Vorwaldbaumart geeignet** und unter Umständen auch in der Lage, in die zukünftige Waldgeneration einzuwachsen. Voraussetzung dafür sind eine **fichtenähnliche Erziehung** (Kronen nicht unter 50 % der Baumlänge) und regulierte Wildbestände. Sie erfordert ggf. eine Bekämpfung der Kiefernbuschhornblattwespe. Ihre hohe Regenerationsfähigkeit nach Kronenbruchschäden durch Schnee ist mehrfach erwiesen. Vorhandene Reinbestände sind nach intensiver Pflege stabil und nicht dringlich hinsichtlich der Einbringung der Baumarten der zukünftigen Bestandsgeneration.

2.3.8 Bergkiefer (*Pinus mugo*) und Spirke (*Pinus mugo* var. *uncinata*)

Beide Kiefern kommen in Mooren und auf anmoorigen Standorten in den Hoch- und Kammlagen des Erzgebirges vergesellschaftet mit Fichte und Moorbirke vor.

Wenn die Fichte infolge von Immissionen ausfällt, kann im Sinne des Artenschutzes und der Walderhaltung die gruppenweise Einbringung von Spirke sinnvoll sein. Sollte sich die Fichte nicht über geeignete Samenbäume (Herkunft!) wieder von

selbst einfinden, ist die extensive Einbringung von Hochlagenherkünften (z. B. Carlsfelder Fichte) vorzusehen.

2.3.9 Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*)

Geeignete Douglasienherkünfte zeigen selbst in den Hochlagen des Erzgebirges ein gutes Wachstum. Im Forstamt Neudorf, Revier Hammerunterwiesenthal, befindet sich der Rest eines ursprünglich 2,6 ha großen Douglasienbestandes, der in 820 m Höhe über NN **deutlich größere Vitalität und besseres Wachstum als die Fichte** zeigt. Die Douglasie ist als Beimischung im künftigen Fichten-Bergmischwald oder im Bestandesziel Buche-Nadelbaumtyp geeignet. Zu den dafür geeigneten Herkünften ist der Saatgutberatungsdienst bzw. die Landesanstalt für Forsten zu konsultieren.

2.3.10 Veitchstanne (*Abies veitchii*)

Im Forstamt Neudorf, Revier Neudorf, Abteilung 352 a⁶ befindet sich in 980 m über NN, umgeben von schadbedingt aufgelichteten mittelalten Fichtenbeständen, auf Hf-M2-Standort eine Versuchsfläche des Instituts Waldwachstum Tharandt mit 0,3 ha Veitchstanne (Alter: 36 Jahre, Mittelhöhe 11,3 m; BHD 14,8 cm). Neben der hohen Vitalität fällt die große Anzahl von Sämlingen der Naturverjüngung auf. Offensichtlich ist die Veitchstanne in den Hoch- und Kammlagen des Schadgebietes als horst- und gruppenweise Beimischung in der nächsten Bestandesgeneration geeignet. Schenk hat bereits 1939 den Anbau in den Räumen Oberwiesenthal, Rehefeld und Reitzenhain empfohlen.

2.3.11 Rotbuche (*Fagus sylvatica*)

Auf Basalt-, Phyllitschiefer- und Gneis-Verwitterungsböden sind in den Hoch- und Kammlagen des Erzgebirges vitale Buchenbestände erhalten geblieben. Sie zeigen **gegenüber der Fichte eine wesentlich höhere SO₂-Verträglichkeit**. Ein Beispiel dafür sind die Buchenbestände auf dem Hemmschuh im Forstamt Bärenfels. Solche Buchenbestände dienen **vorrangig der Eigenversorgung mit autochthonem Saat- und Pflanzgut**, besonders für das Schadgebiet. Notwendige Eingriffe dienen ausschließlich der Kronenpflege.



Abb. 4:
Wüchsige Douglasien-Kreuzungsnachkommenschaften mit geprüften Aspensorten in der Abteilung 272 des Reviers Rehefeld, Forstamt Bärenfels

Hinsichtlich der Einleitung von Naturverjüngung als planmäßige Verjüngungsmaßnahme sind diese Bestände zurückhaltend zu behandeln. Ankommende Naturverjüngung ist maximal zur Wildlingswerbung zu nutzen. Zielstärkennutzung ist vorerst unzulässig! Für die hervorragenden Buchenbestände im Forstamt Olbernhau, Revier Hirschberg, gilt dasselbe. Es ist anzustreben, daß, koordiniert durch die Forstdirektionen, über die Forstamtsbezirke hinaus aus diesen Beständen Wildlinge für die Waldschadenssanierung in den umliegenden Forstämtern bereitgestellt werden.

Je günstiger die Durchschnittstemperaturen sind oder je besser die Nährstoffausstattung des jeweiligen Standorts ist, um so mehr soll die Rotbuche in der künftigen Waldgeneration auch im Schadgebiet beteiligt werden. In Beimischung zur Fichte verbessert sie das Bestandesinnenklima und den Bodenzustand und **trägt somit zur Stabilisierung der Fichte bei**. Auf vielen Standorten im Schadgebiet ist sie deshalb mit der Fichte die wichtigste Baumart bei der Begründung der nächsten Waldgeneration. Die Buche sollte nicht großflächig bzw. auf der ganzen Teilfläche, sondern **horstweise** angebaut werden. Viele Buchenvoranbauten mit verhältnismäßig geringer Stückzahl pro Hektar erscheinen jedoch erst realisierbar, wenn es gelingt, den größten Teil davon ohne Zaun bei regulierten Wildbeständen ausführen zu können.

2.3.12 Eberesche (*Sorbus aucuparia*)

Die Eberesche bildet im Schadgebiet des mittleren Erzgebirges häufig Vorwälder. **Sie gehört im Fichtenbergwald als Mischbaumart in die künftige Waldgeneration.** Ebereschenvorwälder sind meist aus Naturverjüngung sehr baumzahreich entstanden. Bei einer rechtzeitigen Pflege können sie 30–50 Jahre stabil bleiben. Früher instabil werdende oder zerfallende Ebereschenvorwälder sind rechtzeitig mit den Baumarten der künftigen Waldgeneration voranzubauen. Neben aufgelichteten, geschädigten, mittelalten Fichtenbeständen bilden auch diese Ebereschenbestände ein Flächenpotential zur Einbringung autochthoner Fichtenherkünfte, die in den letzten Jahren reichlich vorhanden waren und künftig bedarfsgerecht angezogen werden.

2.3.13 Gemeine Birke (*Betula pendula*) und Moorbirke (*Betula pubescens*)

Beide Birkenarten sind mit der Eberesche natürliche, **willkommene Mischbaumarten** im Fichtenbergwald. Darüber hinaus sind sie die ersten Baumarten, die durch Schadereignisse entstandene Kahlfelder allmählich natürlich wieder besiedeln. Im Forstamt Olbernhau, Revier Deutscheinsiedel, wurden 1997 vereinzelt Schädigungen durch teilweise Entlaubung von Bäumen in jungen Birkenvorwäldern beobachtet. Das Schadausmaß erscheint deutlich geringer als die im Juni auf der tschechischen Seite des Erzgebirges besichtigten Schäden in Birkenvorwäldern. Die Pflanzung der Birkenarten im Schadgebiet wird nicht empfohlen. Im Bedarfsfall sind Birkenschneesaaten durchzuführen.

2.3.14 Aspe (*Populus tremula*) und Weide (*Salix spec.*)

Aspen und Weiden sind hervorragend geeignet, nach Kalkung und Bodenbearbeitung den gestörten Calciumkreislauf in den versauerten Böden des Schadgebietes wieder in Gang zu bringen. Bei geringem Verbißdruck stellen sich Weiden nach Bodenbearbeitung und Kalkung häufig von selbst ein. Es wird jedoch auch empfohlen, geeignete Aspensorten, die die Versuchsbaumschule Graupa aus Nachkommenschaftskreuzungen zur

Verfügung stellen kann, weitständig auf Schadflächen anzupflanzen. Sie sind bei rechtzeitiger Bedarfsermittlung innerhalb eines Jahres verfügbar und haben ein außerordentlich rasches Jugendwachstum (vergleiche Anbauten in den Revieren Altenberg und Hammerunterwiesenthal). Der gleichzeitige Anbau geeigneter Aspensorten mit Fichte, Buche und Bergahorn scheint sinnvoll.

2.3.15 Zusammenfassung der Baumartenwahl bei der Waldsanierung im Schadgebiet

Die **Fichte** kann in der Schadzone I vorerst nur in geschützten Lagen angebaut werden.

Geeignete Hochlagenherkünfte der **Rotbuche** bilden nach wie vor den **Schwerpunkt bei der Baumartenwahl** im Schadgebiet. Ihr Flächenanteil an den Aufforstungen der nächsten Jahre dürfte mindestens bei 50 % liegen.

Bergahorn, Esche und **Erle** sollten häufiger als bisher mitangebaut werden. Die **Wildlingswerbung** ist in geeigneten Laubbaumbeständen vorzubereiten und durchzuführen – auch über Forstamtsgrenzen hinaus. Laubbaumanbauten sind unter Beachtung standörtlicher Gegebenheiten **horstweise** vorzunehmen.

Birken, geeignete Aspensorten und die **Weide** sind willkommene Mischbaumarten, die in Form gelenkter Sukzessionen oder als gepflanzte Vorwaldbaumarten in die Wiederbewaldung des Schadgebietes integriert werden sollen.

Der bisherige hohe **Lärchen**-Anteil von 20 % an den Aufforstungen im Schadgebiet wird künftig zurückgehen. Für die oberen Lagen des Erzgebirges sollte ausschließlich auf geprüfte Hybridlärchen zurückgegriffen werden.

Die **Stech- oder Blaufichte** sollte nicht mehr zum Spektrum der Aufforstungsbaumarten gehören.

Bei teilweise sehr guter Wüchsigkeit zeigt die **Omorikafichte** bei entsprechender Pflege beste Vitalität. Deshalb sollte sie möglichst in Einzelmischung mit anderen Baumarten in geringem Umfang weiterhin angebaut werden.

Die Auswertung bisheriger Kiefernbaubersuche im Schadgebiet zeigt, daß die **Rumelische Weymouthskiefer** aufgrund hervorragender Wuchsleistung und Vitalität eine Vorrangstellung unter den fremdländischen Kiefernarten einnimmt. Ihr gruppen- und horstweiser Anbau sollte künftig etwas stärker als bisher (nicht nur 45 ha in 30 Jahren) durchgeführt werden.

Die **Murraykiefer** sollte in Zukunft nur noch in sehr begrenztem Umfang horstweise bis 800 m Höhenlage angebau werden. In den vorhandenen Anbauten kann sie bei weitständiger Erziehung und guter Wuchsleistung durchaus mit zielbestandesbildend sein.

Der Anbau der **Spirke** ist auf organischen Naßstandorten zu verstärken. Geeignetes Saatgut kann aus der Samenplantage der Landesanstalt für Forsten bereitgestellt werden.

Dem Anbau der **Douglasie** sollte auch unter den Bedingungen des Erzgebirgs-Schadgebietes endlich mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden! Geeignete Herkünfte stehen zur Verfügung.

Wenn auch die **Weißtanne** landesweit wieder verstärkt angebau wird, sollten bisherige Anbauversuche mit **fremdländischen Tannen** ausgewertet werden. Die bisherigen Anbauten der **Veitchstanne**



Abb. 5:
Als Vorwald im Schadgebiet geeignete Aspen aus Nachkommenschaftskreuzungen der Versuchsbaumschule Graupa im Revier Hammerunterwiesenthal, Forstamt Neudorf

in verschiedenen Forstämtern zeigen die ausgezeichnete Vitalität und Wüchsigkeit dieser Baumart.

In Präzisierung der bisherigen waldbaulichen Vorgaben zur Baumartenwahl bei der Waldschadenssanierung wird künftig neben dem Schwerpunkt Buche auf eine größere Beteiligung eines breiteren Baumartenspektrums einschließlich (in geschützten Lagen) der Fichte und in begrenztem Umfang bewährter Übergangsbaumarten orientiert.

3 Pflanzenbereitstellung

Die teuren Investitionen im Rahmen der Waldschadenssanierung sind nur gerechtfertigt, wenn bei den Verjüngungsmaßnahmen Baumarten geeigneter Herkunft ggf. sogar Sorte zum Anbau gelangen. Das gilt sowohl für die Vorwald- als auch für die Zielwaldbaumarten. **Insofern spielt die Herkunftssicherung im Schadgebiet eine entscheidende Rolle.** Da es sich um besondere Pflanzensortimente in begrenzter Stückzahl handelt, sollten

diese vorrangig in den dafür geeigneten landeseigenen Baumschulen angezogen werden. Das werden die Forstdirektionen stärker steuern, als es in den letzten Jahren der Fall war. Bei Lohnanzucht in privaten Baumschulen ist das Saatgut in jedem Fall durch die Forstverwaltung zur Verfügung zu stellen. Außerdem ist eine strikte Kontrolle durch die Kontrollbeauftragten für forstliches Saat- und Pflanzgut und die Auftraggeber (Forstämter) erforderlich.

4 Waldpflege im Schadgebiet

Grundvoraussetzung für den Umbau der Bestände im Schadgebiet ist es, im Rahmen der Pflege alle Möglichkeiten zu nutzen, die Vorwälder aus Über-

gangsbaumarten bzw. standortheimischen Baumarten und die vorhandenen, mehr oder weniger geschädigten Fichtenbestände zu stabilisieren.

In Jungwüchsen (Höhenbereich 2–5 m) müssen die günstigen Möglichkeiten zur solitären (konkurrenzstreibfreien) Erziehung vitaler Bäume durch entsprechend scharf geführte Pflegeeingriffe genutzt werden. Die Selektionsreserve hinsichtlich Vitalität wird dadurch erfahrungsgemäß nicht unzulässig eingeschränkt.

Nicht genannte Baumarten sind entsprechend einzuordnen.

Jungwuchspflege wegen der Gefahr nachfolgender Schältschäden durch Wild zu unterlassen, ist unzulässig! Forstämter, die ihre Zielstellung bei der Wildstandsregulierung noch nicht erreicht haben, können bei akuter Gefahr von Rotwildschäden in

gepflegten Jungwüchsen ausnahmsweise maximal 300 Bäume einbinden oder anderweitig schützen. Im extremen Schadgebiet besteht in Fichtenbeständen, die ungepflegt erwachsen sind, bei später starker Jungbestandespflege oder Jungdurchforstung die Gefahr, daß sie sich aufgrund ihrer Instabilität bei anhaltender SO₂-Belastung beschleunigt auflösen. Wenn in solchen Beständen kein Pflegeeffekt mehr erreichbar ist, sollen Eingriffe bei Bedarf auf Sanitärhiebe beschränkt bleiben.

Weitere Empfehlungen für die Bestandesbehandlung der Übergangsbauarten Lärche, Stechfichte, Murraykiefer und Omorikafichte im Immissionschadgebiet der sächsischen Mittelgebirge gibt das Merkblatt 4 der LAF (1996).

Baumart	Reduktion auf maximal	Wuchsraum bzw. Baumabstände
Fichte	1 500 St./ha	6 m ²
Stechfichte		ca. 2,5 x 2,5 m oder ca. 2 x 3 m
Omorikafichte		
Murraykiefer		
Rum. Weymouthskiefer		
Lärche	1 000 St./ha	9 m ²
Tanne		ca. 3 x 3 m
Spirke		
Fichte auf O-Standorten		
Buche	5 000 St./ha	2 m ²
Bergahorn		ca. 2 x 1 m
Birke		
Eberesche		

Tab. 2:
Maximale Anzahl verbleibender Bäume [St./ha] im Herrschen nach Jungwuchspflege im Höhenbereich 2–5 m

5 Literaturhinweise

SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN: Bodenschutzkalkung, Entscheidungshilfen, Merkblatt 3 (1995)

SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN: Merkblatt „Hybridlärchen-Anbau“ (1997)

SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEN: Empfehlungen für die Bestandesbehandlung der Baumarten Europäische Lärche, Stechfichte, Murraykiefer und Omorikafichte im Immissionschadgebiet der sächsischen Mittelgebirge. Merkblatt 4 (1996)

LIEBOLD, E; GÄRTNER, R: Die Arbeitsgruppe sächsischer Forstleute zur Bewirtschaftung der immissionsgeschädigten Wälder Sachsens. AFZ 10 (1991) 490–491

MAUERSBERGER, U.; GÄRTNER, R.; RICHTER H.-J: Gegenmaßnahmen der Forstwirtschaft in den sächsischen SO₂-Schadgebieten. AFZ 10 (1991) 496–499

PAUL, M.: Forstpflanzenzüchtung und naturnaher Waldbau. Der Wald 43 (1993) 296–299

NEBE, W.: Zur Baumartenwahl in den Kamm- und Hochlagen des Erzgebirges. Forst und Holz 12 (1997) 336–338

SCHENK: Fremdländische Wald- und Parkbäume. Berlin (1939)

Impressum

Herausgeber

Sächsische Landesanstalt für Forsten (LAF)
Bonnewitzer Straße 34, 01827 Graupa
Tel. (0 35 01) 54 20, Fax (0 35 01) 54 22 13

Redaktion
Matthias Paul

Fotografie
Dr. O. Tzschacksch, M. Hartig,
Dr. H. Hertel (Titel), Autoren

Gestaltung und Produktion
TRICOM Dresden
Druckerei Thieme, Meißen

Redaktionsschluß 10. November 1997
Auflage 2 000
Gedruckt auf Papier aus 100 % chlorfrei gebleichtem Zellstoff.

Bezug
Sächsische Landesanstalt für Forsten

ISBN 3-932967-13-5

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Unterrichtung der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Mißbräuchlich ist besonders die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, daß dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.

In der Schriftenreihe der LAF sind bisher die folgenden Titel erschienen:

Erstausgabe	Waldfunktionenkartierung
Heft 1/1994	Forstpflanzenzüchtung – Quo vadis?
Heft 2/1995	Wald und Klima
Heft 3/1995	Erhaltung und Förderung forstlicher Genressourcen
Heft 4/1995	Übersicht der natürlichen Waldgesellschaften
Heft 5/1995	Genetik und Waldbau der Weißtanne, Bd. I und II
Heft 6/1996	Waldumbau – Beiträge zum Kolloquium
Heft 7/1996	Wald und Boden
Heft 8/1996	Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke im Freistaat Sachsen
Heft 9/1996	Waldbiotopkartierung in Sachsen
Heft 10/1996	Empfehlungen geeigneter Herkünfte forstlichen Saat- und Pflanzgutes für den Anbau im Freistaat Sachsen (Herkunftsempfehlungen)
Heft 11/1997	Waldklimastationen
Heft 12/1997	Möglichkeiten einer integrierten Bekämpfung des Blauen Kiefernprachtkäfers
Heft 13/1998	Forstpflanzenzüchtung für Immissionsschadgebiete
in Vorbereitung	Permanente Stichprobeninventur im Nationalpark Sächsische Schweiz