

Schriftenreihe der
Sächsischen Landesanstalt für Forsten

Heft 18/99

**Biogeochemisches Potenzial
ausgewählter Baumarten
auf meliorierten, immissionsbeeinflussten
Standorten des Erzgebirges**



Freistaat  Sachsen

Sächsische Landesanstalt für Forsten

Inhalt

	Vorwort	2
1	Einleitung	3
2	Standörtliche Bedingungen	4
3	Versuchsflächen und Untersuchungsmethoden	6
3.1	Versuchsflächen	6
3.2	Untersuchungsmethoden	8
4	Oberirdische Trocken- und Mineralstoffmassen	9
4.1	Meliorationsversuch Kahleberg	10
4.2	Meliorationsversuch Schwarzer Teich	13
4.3	Meliorationsversuch Kaltenbrunner Flügel	14
4.4	Meliorationsversuch Schaftwald	16
4.5	Meliorationsversuch Taubenbach	19
5	Einflüsse von Weich-Laubbäumen auf den Standort	22
6	Vorschläge für den meliorativen Waldumbau auf Freiflächen	30
7	Zusammenfassung	33
8	Literatur	36

Die hohen Schwefel- und Säureinträge der letzten Jahrzehnte haben die Wälder im Erzgebirge geschädigt und großflächig absterben lassen.

Seit mehr als 10 Jahren bemühen sich Forstleute, die Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass auf den vorgeschädigten Flächen mithilfe der Sukzession Mischwälder aus standortgerechten heimischen Baumarten aufwachsen können. Zur Unterstützung dieser Zielstellung wurde das Forschungsprojekt „Umwandlung immissionsgeschädigter Fichtenforste durch meliorative Bodenbearbeitung und Kalkung“ vom Sächsischen Staatsministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Forsten (SML) gefördert und an das Institut für Bodenkunde und Standortslehre Tharandt der TU Dresden sowie die Sächsische Landesanstalt für Forsten (LAF) vergeben.

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes entstand 1998 die Dissertation von DR. BARTELT, die in der vorliegenden Ausgabe unserer Schriftenreihe in gekürzter Fassung wiedergegeben wird.

Während des Projektes wurden Versuchsflächen angelegt, auf denen es gelang, die stark versauerten und basenarmen Böden durch flächige Bodenbearbeitung und Kalkung so zu stabilisieren, dass sich Weichlaubhölzer ansamen und entwickeln konnten. Wie die Untersuchungsergebnisse zur Entwicklung und Struktur der innerhalb von 10 Jahren entstandenen Mischbestände sowie der oberirdischen Phyto- und Nährelement-Massen zeigen, tragen diese Baumarten in hohem Maße zur ökologischen Stabilität der neuen Waldgeneration bei. Insbesondere die Salweide vermag es, die mit Bodenbearbeitung und Kalkung eingeleitete technologische Melioration dieser extremen Standorte biologisch langfristig zu stabilisieren und die Nährstoffkreisläufe zu aktivieren. Daraus leitet sich zwingend die Notwendigkeit ab, die Weich-Laubbaumarten im Sinne des von der Landesforstverwaltung angestrebten ökologischen Waldumbaues zur Sanierung immissionsgeschädigter Standorte in den sächsischen Mittelgebirgen einzubeziehen.

Die Anlage und Erhaltung der Versuchsflächen erfolgte – über die politische Wende hinweg – in enger Zusammenarbeit mit den örtlich zuständigen Forstbehörden. Ein besonderer Dank gilt an dieser Stelle den Herren Forstamtsleitern BRANZ, JUPPE, PRIELIPP, SCHUSSER, UNRUH, den ehemaligen Oberförstern DR. BÖKER, LINDNER, PANSOLD, TROMMER, WAGNER sowie allen nicht namentlich genannten Revierleitern.



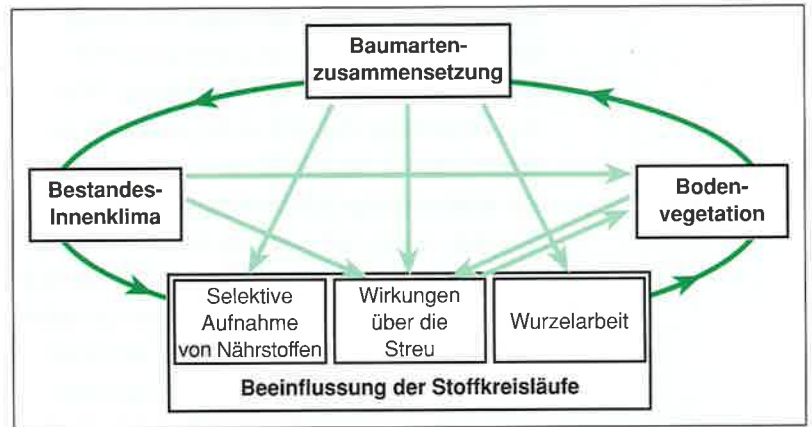
Prof. Dr. habil. H. Braun
Präsident

1 Einleitung

Über die Mineralstoffaufnahme, den Aufbau von Phytomasse, deren Mineralisierung und Humifizierung beeinflussen Pflanzen die chemischen und physikalischen Eigenschaften sowie den biologischen Zustand des Bodens (vgl. Abb. 1). Je nach Arten-Zusammensetzung kann die Vegetation fördernd oder hemmend auf die Umsätze der Mineralstoffe und damit auf die Bodenfruchtbarkeit einwirken. Dieser Aspekt wurde nach Meliorations-Kalkungen extrem versauerter, immissionsbelasteter Standorte des Erzgebirges näher untersucht. Das Kalken der freigelegten Mineralböden hatte ein verstärktes Ankommen von Weichlaub-Baumarten zur Folge. Die gewachsenen oberirdischen Phytomassen und die darin enthaltenen Nährelement-Mengen von Salweide, Aspe und Birke sowie den Ziel-Baumarten Rotbuche, Europäische Lärche, Fichte bilden den Schwerpunkt dieser Untersuchungen.

Die Wirkungen der Baumarten auf ihren Standort wurden seit jeher unter verschiedenen Gesichtspunkten beschrieben. BURKHARDT (1850) erkannte die „... degradierenden Wirkungen bei Begünstigung einer Holzart ...“ auf Standort und Bestand und unterscheidet erstmals in Bodenschutz-Holz und Bestandesschutz-Holz. Damit wertet er das „Unterholz“ vom „Forstunkraut“ zum dienenden „Schutzholz“ auf. Unter dem Gesichtspunkt einer nachhaltigen Nutzung der Waldstreu untersuchte EBERMAYER (1876) erstmals die anfallenden Streumengen unterschiedlicher Baumarten und die Dauer ihrer Zersetzung auf verschiedenen Standorten und äußerte sich besorgt über die Nährstoff-Entzüge durch die praktizierte Streunutzung seiner Zeit. Nach dem Plädoyer GAYERS (1886) für den „gemischten Wald“ kam die Diskussion um MÖLLERS (1923) Dauerwaldgedanken auf, vor dessen Hintergrund WITTICH die Wirkungen der Baumarten auf den Standort auf naturwissenschaftlicher Grundlage neu beschrieb. Dabei legte WITTICH (1948) den Schwerpunkt auf die Humus-Pfleglichkeit der Baumarten, wozu er die Kriterien Bestandes-Innenklima, Wurzelarbeit sowie chemische Zusammensetzung und Zersetzbarkeit der Streu heranzog. Praktische Anwendung fanden diese Gedanken in den Lebenswerken von HEUSON (1947a, b) und von

HEGER (1952) bei großflächigen Aufforstungen von Rohböden und Kahlfleichen.



Grundlage der vorliegenden Arbeit ist ein Modell zur Quantifizierung der in der Vegetation enthaltenen Nährelement-Massen. Gegenstand der Untersuchungen sind fünf ausgewählte Versuchsflächen (NEBE und LEUBE 1995), auf denen es gelang, durch meliorative Bodenbearbeitung Mischbestände auf Standorten zu begründen, die unter Immissions-Bedingungen extrem versauert waren. Es wird ein Vergleich der Nährelement-Mengen vorgenommen, die in der oberirdischen Biomasse der Weichlaub-Bäume (Salweide, Aspe, Ebersche und Birke) und der Ziel-Baumarten (Rotbuche, Traubeneiche, Lärche, Fichte) sowie in der Bodenvegetation enthalten sind. Die umgesetzten Elementmassen dienen als Grundlage, um die Wirkung der Baumarten auf den Standort zu diskutieren. Praktisches Ziel der Untersuchungen ist es, die Arten-Zusammensetzung der Vegetation als beeinflussbare Größe in das Konzept zur Restauration der extrem versauerten Standorte aufzunehmen. Die bisherigen Erfahrungen im meliorativen Waldumbau der immissionsgeschädigten Fichtenforste rücken die vom Humushaushalt abhängigen Austauscher-Eigenschaften des Bodens in den Mittelpunkt des Interesses, da die mögliche Zerstörung von Tonmineralen in extrem versauerten Oberböden einen irreversiblen Schaden am Boden bedeutet. Die zugeführten Erdalkalien sollen in die ökosystemaren Stoffkreisläufe einbezogen und auf diese Weise vor Verlust durch erneute Auswaschung bewahrt werden.

Abb. 1: Beziehungsgefüge zwischen Baumarten-Zusammensetzung und Standort nach WITTICH (1948)

2 Standörtliche Bedingungen

Das Wuchsgebiet Erzgebirge ist mit 42 Prozent Waldfläche die waldreichste standortsgeographische Einheit in Sachsen. Sie lässt sich in die Teile **Nordabdachung des Erzgebirges** und **Oberes Erzgebirge** gliedern (VATER und KRAUSS 1928; SCHWANECKE 1991; KOPP und SCHWANECKE 1996). Diese Einteilung lehnt sich an das geologisch bedingte Relief-Boden-Mosaik an.

Das Klima ist höhenstufenbedingt differenziert (vgl. Tab. 1) und wird zusätzlich von der West-Ost-Ausdehnung geprägt. Mit zunehmender Höhenstufe steigen die Jahres-Niederschlagsmengen und sinken die Jahres-Durchschnittstemperaturen. Der luvbeeinflusste, höhere westliche Teil des Erzgebirges weist durchschnittlich 100 mm mehr Jahres-Niederschlag auf als der östliche Teil. Die Kontinentalität nimmt von West nach Ost zu. Die mittleren Jahrestemperaturschwankungen betragen 17,5 bis 18 Grad.

Klimastufe	Makroklimaform	Höhe ü.NN [m]	Niederschlag [mm/a]	Temperatur [° C/a]
Feuchte Kammlagen	Kahleberg-	> 820	> 1 000	< 4,5
Feuchte Mittlere Berglagen	Bärenfelser-	500–700	860–980	5,5–6,7
Feuchte Untere Berglagen	Klingenberger-Glashütter-	350–500	780–900 720–840	6,7–7,5 7,0–8,2

Tab. 1: Jahres-Mittelwerte des Niederschlages und der Temperatur für die Höhenstufen des Osterzgebirges (KARST und KÖHLER 1987)

Das Wuchsgebiet Erzgebirge wird durch die großklimatisch bedingte Verbreitung von Haupt-Baumarten (Leit-Baumarten) gegliedert. Leitgesellschaften der potenziell natürlichen Waldgesellschaften (SCAMONI 1951; SCHRETZENMAYER 1975; SCHMIDT 1995; SCHMIDT et al. 1998) sind in den Unteren Berglagen der Traubeneichen-Buchenwald (*Melampyro-Fagetum*) und in den Mittleren und Höheren Berglagen der Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo Fagetum*). In den exponierten Hoch- und Kammlagen sind kleinflächig hochmontane Fichtenwälder (*Fago- und Verticil-Piceetum*) anzutreffen. Gegenwärtig dominieren Forst-Ersatzgesellschaften aus Fichte und Kiefer.

Die terrestrischen Bodenformen des Erzgebirges zeichnen sich in Abhängigkeit von Relief und Höhenstufe durch unterschiedlich ausgeprägte Schuttdecken aus.

Die Basisfolge lagert als untere Schuttdecke unmittelbar auf dem anstehenden Festgestein bzw. dessen Zersatz- und Auflockerungszone. Feinerde und Skelett stammen vorwiegend aus dem lokal Anstehenden und dessen Verwitterungsmaterial. In der Tonfraktion dominieren Kaolinite. Die präcenenomanen und tertiären Bodenbildungs-Prozesse (FIEDLER et al. 1994), die sich in den Basisfolgen erhalten haben, unterlagen einer intensiven tropischen Verwitterung. Sie sind deshalb sauer, arm und haben trotz der hohen Tongehalte eine geringe Kationen-Austauschkapazität.

Der Feinboden der Hauptfolge, die der Basisfolge aufliegt, setzt sich aus Verwitterungsprodukten des Grundgesteins und entkalktem Löss zusammen. Die bodenphysikalischen Eigenschaften der Hauptfolge werden von der äolischen Komponente geprägt. Der Tonmineralbestand der Hauptfolge besteht aus Kaolinit, Illit, einem Illit-Vermiculit-Wechsellagerungs-Mineral sowie Vermiculit (FIEDLER et al. 1994). Die Anteile des Illits und Vermiculits sind auf jüngere Tonbildungsprozesse in den oberen Bodenhorizonten zurückzuführen und resultieren aus der Glimmerverwitterung. Auf diese Tonminerale ist die mineralische Sorptionskraft der Hauptfolge zurückzuführen.

Die Deckfolge tritt in der Nähe von Grundgesteins-Durchragungen auf. Sie ist die oberste der periglazialen Schuttdecken über Basis- und Hauptfolge. Die Eigenschaften der Deckfolge ähneln der Basisfolge. Sie zeichnet sich außerdem durch eine große Lockerheit und einen geringen Feinerdeanteil aus und ist lösslehmfrei.

Zweischichtige Schuttdecken aus Basis- und Hauptfolge sind am weitesten verbreitet. Die Hauptfolge ist das flächenmäßig dominierende Bodensubstrat, das den Haupt-Wurzelraum der Baumarten bildet. Mit zunehmender Höhenstufe nimmt der Lössgehalt und damit die Mächtigkeit der Hauptfolge ab.

Die Forstökosysteme des Erzgebirges unterliegen seit mehreren Jahrzehnten hohen Immissions- und Depositionsbelastungen durch Schwefel- und Stickstoffverbindungen. Messungen des Landesamtes für Umwelt und Geologie (LUG 1997) belegen für drei ausgewählte Stationen eine SO₂-Immissionsbelas-

tung des Erzgebirges, die sich deutlich von Reinluft-Gebieten abhebt und in den Wintermonaten die Toxizitätsgrenze für die Vegetation erreichen kann (vgl. Tab. 2).¹ Trotz der teilweise geringeren SO₂-Immissionsbelastung im Westerzgebirge sind hier aufgrund der höheren Niederschlagswerte ähnlich hohe Schwefel-Depositionen festzustellen wie im Osterzgebirge (vgl. Tab. 3).

Unabhängig von der N-Mineralisierung im Boden werden die Fichtenforsten armer Standorte optimal mit atmosphärischem Stickstoff versorgt. Die Hauptquellen für die Stickoxide sind in Sachsen stationäre Verbrennungsanlagen sowie im steigenden Maße Emissionen durch die Kraftfahrzeuge. Die NO_x-Immissionen unterliegen damit einem ausgeprägten tages- und jahreszeitlichen Rhythmus. Vornehmlich durch die Landwirtschaft emittiertes, von den amtlichen Luftgüte-Messungen nicht erfasstes Ammoniak wird in der Atmosphäre rasch zu Ammonium umgewandelt und hat an dem Gesamt-Stickstoffeintrag (N) mit den Niederschlägen (vgl. Tab. 3) einen Anteil von etwa 65 Prozent.

Die mit dem Bestandesniederschlag (BNb) unter Fichtenforsten der **Dauerbeobachtungs-Flächen (Level II)** deponierten Stoff-Frachten liegen deutlich über den Freiland-Einträgen. Die Depositionswerte des LfUG sind also deswegen und wegen ihrer Erfassung mit Wet-only-Sammlern als Minimum anzusehen, während die mit Bulk-Sammlern ermittelten Stoff-Frachten unter dem Bestandes-schirm der Level-II-Bestände die Belastungen der Waldökosysteme realistischer widerspiegeln.

Den direkten Säureeinträgen in Tab. 3 gesellt sich noch eine zusätzliche ökosysteminterne Säureproduktion hinzu (SML 1997). Die für 1996 ermittelte hektarbezogene Gesamt-Säurebelastung von etwa 3,9 kmol in Klingenthal, 6,2 kmol in Olbernhau und 4,0 kmol in Cunnersdorf kann von den sauren, basenverarmten Böden nicht äquivalent abgepuffert werden, sodass deren Versauerung fortschreitet.

Die Einträge an Schwefel und Stickstoff, denen noch eine direkte Elementaufnahme aus der Gasphase über die Assimilationsorgane hinzuzurechnen ist, lagen bzw. liegen weit über dem Nährstoffbedarf der Bestände. Ein schädigend hohes Stickstoffernährungs-Niveau der Baumarten ist bisher allerdings nicht registriert worden (NEBE 1996), da die Forstökosysteme zurzeit noch nicht mit Stickstoff übersättigt sind.

Mess-Station	Wuchsbezirk	Max. 3-h-Mittel	Max. Monats-Mittel			Jahresmittel		
			SO ₂	NO ₂	NO	SO ₂	NO ₂	NO
Mittelndorf (ländlich)	Elbsandstein-gebirge	384	75	25	4	28	17	2
		Dez	Jan	Jan	J, F, D			
Zinnwald (waldnah)	Östliches Oberes Erzgebirge	613	100	30	9	37	14	3
		Jan	Jan	Feb	Jan			
Klingenthal (urban)	Westliches Oberes Erzgebirge	572	104	40	16	30	27	11
		Dez	Jan	Feb	Dez			

Mögliche Symptome, die an der Vegetation infolge der hohen Stoffeinträge auftreten, sind Wachshemmungen, verminderte Frostresistenz und erhöhter Trockenstress. Sie können mit einem belasteten Magnesium-, Kalium- und Phosphorhaushalt in Zusammenhang stehen (REEMSTMA 1964; ROST-SIEBERT 1985; HOCK und ELSTNER 1988; GOBOLD 1991; SLOVIK et al. 1992; OPFERMANN mündliche Mitteilung). Der Verlust basischer Kationen durch Auswaschung und eine mögliche Tonmineral-Zerstörung unterhalb von pH 4,2 sind Schäden am Boden, in deren Folge die Bodenfruchtbarkeit erheblich

Tab. 2:
Ausgewählte Kennwerte der Immissionsbelastung 1996 (µg/m³) im Untersuchungsgebiet (LfUG 1997)

Mess-Station	Wuchsbezirk	Betreiber	NS	H ⁺	S _i	N _i
Mittelndorf Cunnersdorf	Elbsandstein-gebirge	LfUG	FNw	0,25	7,9	12,3
		LAF	FNb *	0,64	14,3	19,8
		LAF	BNb *	1,70	44,2	33,7
Zinnwald Oberbärenburg	Östliches Oberes Erzgebirge	LfUG	FNw	0,33	10,2	15,7
		TUD	FNw	0,43	9,1	13,6
		TUD	BNb	1,46	47,0	25,0
Carlsfeld Klingenthal	Westliches Oberes Erzgebirge	LfUG	FNw	0,33	9,0	16,2
		LAF	FNb *	1,04	9,4	20,0
		LAF	BNb *	2,54	38,2	23,2

NS = Niederschlag

* = Messzeitraum Hydrologisches Jahr (11/95–10/96)

FNw = Freilandniederschlag mit Wet-Only-Sammler LfUG (1997)

FNb = Freilandniederschlag mit Bulk-Sammler SML (1997)

BNb = Bestandesniederschlag mit Bulk-Sammler unter Fichte

SML bzw. TU Dresden

Tab. 3:
Ausgewählte Kennwerte zu Stoff-Einträgen (kg/ha*a) mit dem Niederschlag 1996 im Untersuchungsgebiet

¹ Für Reinluft-Gebiete gelten Jahresmittelwerte von 4–8 µg SO₂/m³ (KINDERMANN et al. 1993). Der kritische Konzentrationswert zum Schutz empfindlicher Ökosysteme beträgt 20 µg SO₂/m³ im Jahresmittel (UN/ECE 1993). Der maximale Immissions-Konzentrationswert, der die Toxizitätsgrenze der Vegetation darstellt, wird mit 500 µg SO₂/m³ angegeben (UN/ECE 1993). Die kritische Stickoxid-Belastungsgrenze für die Vegetation wird mit einem Jahresmittel von 30 µg NO_x/ha angegeben (UN/ECE 1993) und im Untersuchungsgebiet nicht überschritten.

abnimmt. Die Toleranzmechanismen der Gehölze gegenüber ungebundenen Aluminium-Ionen und Protonen sind überfordert, sodass Witterungssingularitäten in den Hoch- und Kammlagen des Erzgebirges noch immer zum flächigen Absterben der Fichte führen.

Der Verlust der Erdalkalien ist durch Kalkungsmaßnahmen ausgleichbar, während die Tonmineral-Zerstörung einen weitgehend irreversiblen Schaden darstellt. Sanierungen der extrem versauerten Waldböden durch Kalkungen tragen einen ausgesprochen

meliorativen Charakter und sind finanziell aufwendig. In den Hoch- und Kammlagen werden bei flächenhafter Bearbeitung Aufwandsmengen von mindestens 10 t/ha, in den Unteren Berglagen zwischen 4 und 7 t/ha kohlensuren Kalkes empfohlen (NEBE und LEUBE 1995). Diese relativ hohen Aufwandsmengen an dolomitischen Kalken sind notwendig, damit der Boden genügend stark mit Ca- und Mg-Ionen überflutet wird, um die Erdalkalien in die Zwischenschichten aufweitbarer Tonminerale einzubauen (SCHÜLER und BUTZ-BRAUN 1997).

3 Versuchsflächen und Untersuchungsmethoden

3.1 Versuchsflächen

Im Zeitraum 1984/85 wurden von NEBE und LEUBE (1995) in den Rauchschadgebieten des Elbsandsteingebirges und in den Hoch- und Kammlagen des Erzgebirges mehrere Meliorationsversuche angelegt. Sie befinden sich auf repräsentativen Standortformen des jeweiligen Immissions-Schadgebietes:

- die Versuche „**Taubenbach**“ und „**Schaftwald**“ in den Mittleren Berglagen des Elbsandsteingebirges,
- der Versuch „**Kahleberg**“ in den Kammlagen des Osterzgebirges,
- der Versuch „**Schwarzer Teich**“ in den Hochlagen des Osterzgebirges,
- der Versuch „**Kaltenbrunner Flügel**“ in den Hochlagen des Westerzgebirges.

Die Versuchsflächen trugen ehemals Fichtenreinbestände. Sie starben infolge der Immissionseinwirkungen und der extremen Witterungsverhältnisse des Winters 1978 sowie der nachfolgenden Trockenjahre 1982 und 1983 ab. Die so entstandenen Blößen bedeckten mächtige Rohhumus-Decken und ein dichter Filz von Bergreitgras (*Calamagrostis villosa* [CHAIX.] J. F. GMEL.), vgl. Abb. 2.

Die Wiederaufforstungen erfolgten in den Schadgebieten bis 1990 vorwiegend mit ausländischen, standörtlich nicht angepassten Baumarten (vgl. Tab. 5), u. a. der rauchharten Stehfichte (*Picea pungens*) und Murraykiefer (*Pinus contorta*). Sie erwiesen sich als sehr aufwendig, und die Ergebnisse waren in der Regel unbefriedigend (HELBIG 1994).

Tab. 4:
Gesamtübersicht über
die Standorte der
Versuchsflächen

Versuch	Taubenbach	Schaftwald	Kahleberg	Schwarzer Teich	Kaltenbrunner Flügel
Höhe [m ü.NN]	475	500	860	790	880
Wuchsgebiet	Oberes Elbsandsteingebirge		Mittleres Oberes Erzgebirge		Westliches Oberes Erzgebirge
Grundgestein	Glaukonitischer Sandstein	Quader-Sandstein	Teplitzer Quarzporphyr		Grobkörniger Turmalin-Granit
Bodentyp	Podsol- Braunerde		Podsol		Podsol
Trophie	M(ittel)	M(ittel)	Z(iemlich arm)		Z(iemlich arm)
Standortgruppe	Mf-M2	Mf-M2	Kf-ZI	Hf-Z2	Hf-Z2
Klimaform	Lauensteiner		Schellerhauer		Steinbacher
Jahres-Temperatur	5,5–7,0 °C		4,5 °C	4,5–5,5 °C	4,5 °C
Jahres-Niederschlag	820–900 mm		> 1 000 mm	1 000 mm	1 100 mm

Das in den 5 Versuchen angewandte Meliorationsverfahren umfasste als Grundbehandlung eine flächige **Bodenbearbeitung** mit Abschieben der Stöcke, Rohhumus- und Grasdecken, um einen sicheren Wurzelkontakt der Pflanzen mit dem Mineralboden zu gewährleisten. Sie wurde mit einer starken **Kalkung** kombiniert (= meliorative Grundbehandlung) und teilweise durch **PK-Düngungen** ergänzt. Die Versuchsanlagen wurden als Blockanlage mit vier Prüfgliedern in jeweils zwei- oder dreifacher Wiederholung ausgestaltet:

PGI. 1: Bodenbearbeitung, ohne Kalkung und Düngung

PGI. 2: Bodenbearbeitung, mit Kalkung, ohne Düngung

PGI. 3: Bodenbearbeitung, mit Kalkung, mit einer PK-Düngung als anionenarmes Kalium-Sinterphosphat (KSP)

PGI. 4: Bodenbearbeitung, mit Kalkung, mit einer PK-Düngung in herkömmlicher Form als Superphosphat und Kaliumchlorid (SP+KCl).

Eine „doppelte“ Kontrollfläche ohne Bodenbearbeitung und Kalkung war im Rahmen der Versuchsplanung von der Praxis als unrealistische Scheinvariante abgelehnt worden. Ersatzweise können dafür die Kontrollparzellen des Versuches Kaltenbrunner Flügel genutzt werden, die nicht abgescho-ben wurden (s. u.).

Es wurden unterschiedliche Mengen von **Kamsdorfer Mergel** ausgebracht (vgl. Tab. 6 und 7). Im Versuch Taubenbach ist zusätzlich **Wünschendorfer Dolomitsplitt** verabreicht worden. Die Verwendung von Splitt hat den Vorteil, dass sich höhere Kalkmengen ausbringen lassen, ohne dass sich die Bodenreaktion abrupt ändert.

Die Kalke wurden manuell auf die Bodenoberfläche gestreut, in Taubenbach durch Vollumbruch bis in 40 cm Tiefe, im Schaftwald, am Kahleberg und Schwarzen Teich mit einer Pflanzmaschine nur oberflächlich eingearbeitet. Im Versuch Kaltenbrunner Flügel scheiterte eine flächige Bodenbearbeitung an fehlender Technik. Lediglich auf den Kalkungspartellen sind alte Erzschrüfungsgänge mit einer Planierdrape zugeschoben worden, sodass „geschobene“ und unbearbeitete Teilareale nebeneinander vorkommen.

Alternativ zu den nicht standortsangepassten, fremdländischen Baumarten in älteren Aufforstungen wurden die Rotbuche (RBU), Europäische und Ja-



panische Lärche (ELA, JLA), Traubeneiche (TEI), Bergahorn (BAH), Fichte (GFI), Eberesche (GEB) und Hainbuche (HBU) gepflanzt (vgl. Tab. 7). Von selbst samten sich prüfgliedspezifisch differenziert Salweide (SWE), Aspe (ASP), Birke (BI) und Eberesche an.

Die Anlage der Versuchsflächen wurde 1984/85 im Rahmen von Ingenieurpraktika durch HANISCH (1985), SCHMIEDEL (1986) und HERMANN (1985) betreut. Sie waren vor Beginn der ertragskundlichen Aufnahmen 1996 im Zusammenhang mit dieser Arbeit zehn Jahre alt und wiesen gesicherte, viel versprechende Kulturen auf.

Abb. 2: Abgestorbener Fichtenforst auf dem Kahleberg (1997)

Tab. 5: Anteil heimischer und ausländischer Baumarten an der Verjüngung in den Immissions-schadzonen Ie und I des Erz- und Elbsandstein-gebirges zwischen 1960 und 1990 (SML 1994)

	Gemeine Fichte	Eberesche/Birke	Lärchenarten	Stech-Fichte	Omorika-Fichte	Murray-Kiefer	Sonstige BA'n
Hektar	2 717	731	1 700	1 383	561	550	1 136
Prozent	30,9	8,3	19,4	15,8	6,4	6,3	13,0
insgesamt = 8 772 ha							

Merkmal	Kamsdorfer Mergel		Wünschendorfer Dolomitsplitt	
	Korngröße (mm)	Masse-%	Korngröße (mm)	Masse-%
Körnung	< 0,315	48,8		
	0,315–0,80	16,8		
	0,80–1,00	3,2	< 1,0	30,0
	1,00–2,00	17,4	1,0–2,0	15,0
	2,00–3,15	11,1	2,0–6,3	15,0
	> 3,15	2,7	6,3–10,0	30,0
			10,0–20,0	10,0
Nährstoffgehalt	50 % CaCO ₃ bzw. 20 % Ca		ca. 55 % CaCO ₃ bzw. 22 % Ca	
	30 % MgCO ₃ bzw. 8,6 % Mg		ca. 40 % MgCO ₃ bzw. 11,5 % Mg	

Tab. 6: Körnung, Ca- und Mg-Gehalte der Kalksorten (Werksangaben)

Tab. 7:
Bodenarbeiten, Kalkungen, Düngungen und Pflanzungen auf den Versuchsflächen

Merkmale	Taubenbach	Schaftwald	Kahleberg	Schwarzer Teich	Kaltenbrunner Flügel
Bodenarbeiten	Abschieben u. Vollumbruch	Abschieben u. Vollumbruch	Abschieben	Abschieben	teilweises Abschieben der gekalkten Flächen
Kalkung	14,6 t/ha KM 15,5 t/ha WD	4,4 t/ha KM	7,0 t/ha KM	7,0 t/ha KM	12,1 t/ha KM
Düngungen	0,3 t/ha KCl 1,6 t/ha SP	0,25 t/ha KCl 1,67 t/ha SP 1,2 t/ha KSP	0,3 t/ha KCl 1,2 t/ha SP 1,2 t/ha KSP	0,3 t/ha KCl 0,5 t/ha SP 1,2 t/ha KSP	0,3 t/ha KCl 1,9 t/ha SP 1,2 t/ha KSP
Gepflanzte Baumarten	RBU, TEI, HBU „HLA“	RBU ELA, JLA	RBU, BAH ELA, JLA	ELA	EBS GFI
Mischung	reihenweise	reihenweise	teilparzellenweise	ungemischt	reihenweise
Naturverjüngung	SWE, ASP, BI	SWE, ASP; BI	SWE, ASP; BI	SWE, ASP; BI	SWE, EBS, BI

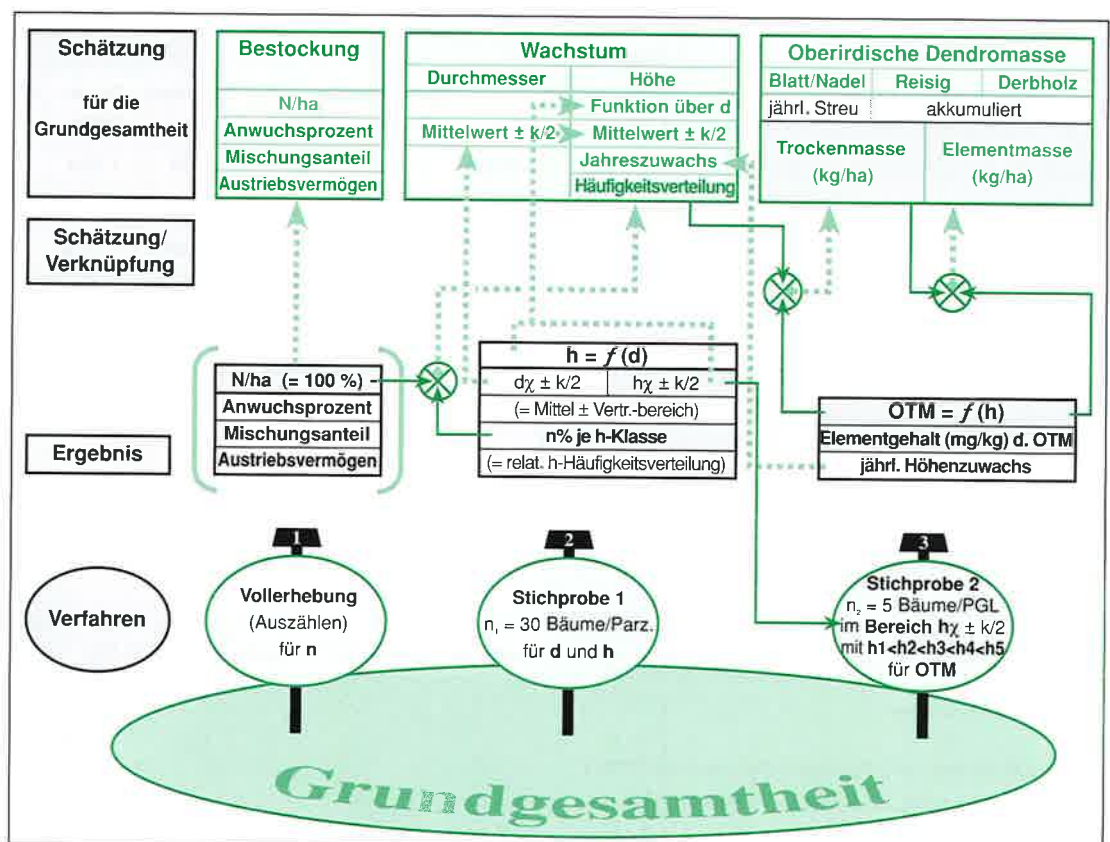
KM - Kamsdorfer Mergel KCl - Kaliumchlorid KSP - Kaliumsinterphosphat WD - Wünschendorfer Dolomitsplitt SP - Superphosphat

3.2 Untersuchungsmethoden

Die Abschätzung der Bio- und Närelement-Massen über Regressionen ist aufgrund des hohen Arbeits-, Material- und Energieaufwands und der Nachteile destruktiver Verfahren eine allgemein anerkannte Methode (ELLENBERG et al. 1986; WHITTAKER und LIETH 1975; GEMBALLA und SCHRADER 1995; BARTELT 1998). Einen Überblick über die hier durchgeführten Erhebungen und Untersuchungen vermittelt Abb. 3.

Ertragskundliche Aufnahmen im Frühjahr 1996 zu Artenanzahlen (vgl. Abb. 3, Vollerhebung), zu Höhen- und Durchmesserverteilungen und Wachstumsverhalten der Baumarten (vgl. Abb. 3, Stichprobe 1) auf gekalkten und ungekalkten Flächen bilden die Grundlage für die rechnerische Schätzung der Dendromassen. Bei den **Probenahmen im Juli/August 1996** (vgl. Abb. 3, Stichprobe 2) wurden die Probebäume **in festgelegten Höhenstufen** innerhalb des Konfidenzintervalls des jeweiligen Mittelwertes entnommen, um deren **Trockenmasse und die**

Abb. 3:
Schema über ertragskundliche Erhebungen sowie Probenahmen und Ernährungsuntersuchungen 1996 zur Abschätzung der oberirdischen Trocken- und Elementmassen von 10-jährigen Mischbestockungen auf meliorierten Standorten des Erzgebirges



Nährelement-Gehalte zu bestimmen. Die Beprobung erfolgte für die **Kompartimente Laub** (Blätter/Nadeln), **Reisig und Derbholz**. Die genauesten Schätzungen der Trockenmasse über die Höhenstufen ließen sich über die **exponentielle Regression** der benutzerdefinierten Formel ableiten:

$$TS = f(h) = e^{(b_0 + b_1 \cdot h)} \quad h \geq 0$$

Zur Anpassung der Funktionen wurden für die Baumarten auf den jeweiligen Prüfgliedern die Konstanten b_0 und b_1 jeweils über die Methode der kleinsten Quadrate bestimmt.

Der Anteil der Bodenvegetation an der jährlichen Trockenmasse-Produktion und der darin enthaltenen Nährstoffe stützt sich im Wesentlichen auf die

Regeln zur Vegetationsaufnahme nach BRAUN-BLANQUET (1951). Dabei ist der artspezifische Beitrag nicht von primärem Interesse (HÖHNE 1958). Aus dem pflanzensoziologischen Teil der Aufnahmen lassen sich ferner über die Zeigerwertanalysen nach ELLENBERG et al. (1991) kalkungsbedingte Veränderungen des Standortes ableiten.

Die C, N und S-Konzentrationen der Pflanzenproben wurden am Elementanalysator vario EL der Firma HERAEUS gemessen. Zur Bestimmung der Elemente K, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu, Zn, und Al in den Blattproben diente das Atom-Absorbitionsspektrometer (AAS), in den verholzten Pflanzenteilen das ICP (PERKIN ELMER Plasma 2). Die Bestimmung des Phosphors erfolgte kolorimetrisch am ADM-Messgerät 300 des Prüfgerätewerkes Medingen.

4 Oberirdische Trocken- und Mineralstoffmassen

In den Mittleren Berglagen ist die Brutto-Primärproduktion an oberirdischer Trockenmasse (OTM) auf den Kontrollflächen (29,5 t/ha) höher als in den Hoch- und Kammlagen (20,7 t/ha). Aufgrund der angekommenen Weichlaub-Bäume und des allgemein besseren Wachstums der Baumarten wird auf den gekalkten Flächen (31,3 t/ha) durchschnittlich 29 Prozent mehr Gesamt-Trockenmasse gebildet als auf den Kontrollflächen (24,3 t/ha).

Dabei ist die Trockenmasse-Bildung der Bodenvegetation auf den gekalkten Flächen geringer als auf den Kontrollflächen (vgl. Tab. 8).

Die Abb. 4 zeigt die Mittelwerte der für die Baumarten berechneten Trockenmasse über alle Versuchstandorte und Prüfglieder. Die Streuungen um den jeweiligen Mittelwert sind zwar groß, doch werden in etwa die Dimensionen verdeutlicht, in denen die ein-

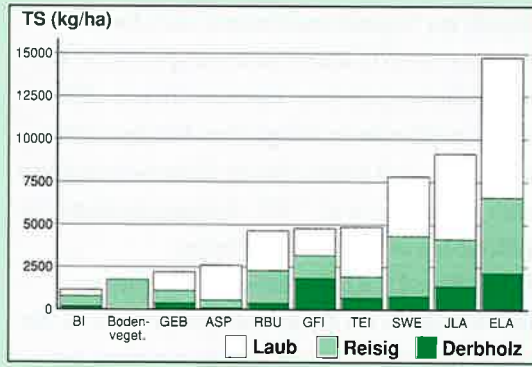
zelnen Baumarten an der Bildung der Trockenmasse auf den 10-jährigen Versuchsflächen beteiligt sind.

Neben den gepflanzten Lärchenarten ist die angeflogene Salweide zu einer hohen Trockensubstanz-Produktion fähig, gefolgt von den Hartlaub-Baumarten und der Fichte, weiteren Weichlaub-Baumarten sowie der Bodenvegetation. Der relative Anteil der Assimilationsorgane an der OTM liegt bei durchschnittlich 15 %. Er ist mit 5 % bei der Aspe am geringsten, mit 38 % bei der Fichte am höchsten. Damit ist die absolute Nadel-Trockenmasse der Fichte ähnlich hoch wie bei der Europäischen Lärche. Fichten verlieren bei der physiologischen Laubschütte jedoch nur einen Nadeljahrgang. Ihr stoffkreislaufwirksamer Anteil der Nadelmasse ist also wesentlich geringer als bei der Lärche (REEMSTMA 1964).

Angaben [t TS/ha]	Reisig und Derbholz		Laub		Bodenvegetation	
	Kontrolle	Kalk	Kontrolle	Kalk	Kontrolle	Kalk
Kahleberg	24,0	31,3	3,4	4,8	3,1	1,8
Schwarzer Teich	15,1	36,5	2,2	5,3	1,6	1,5
Kaltenbrunner Flügel (ungeschoben)	8,8	7,8	2,2	2,0	1,8	1,4
Kamm- u. Hochlagen	15,9	25,2	2,6	4,0	2,2	1,6
Schaftwald	32,0	29,6	4,2	4,4	1,6	1,4
Taubenbach	18,0	24,6	2,6	3,2	0,6	0,4
Mittlere Berglagen	25,0	27,1	3,4	3,8	1,1	0,9
Mittelwert	19,6	26,1	3,0	3,9	1,7	1,3

Tab. 8:
Oberirdische Trockenmasse auf den 10-jährigen Versuchsflächen 1996

Abb. 4:
Gemittelte Trocken-
masse der Baumarten
und der Bodenvegetation über alle
Behandlungseinheiten
der 10-jährigen
Versuchsflächen



Stickstoff, Schwefel, Phosphor und Kalium werden annähernd proportional zu der gebildeten Trockenmasse aufgenommen (vgl. Abb. 5). Das bedeutet einerseits, dass beide Lärchenarten und die Salweide große Elementmassen einbinden, andererseits, dass in den Unteren Berglagen größere Massen dieser Elemente als in den Hoch- und Kammlagen durch die Vegetation umgesetzt werden.

Kalzium und Magnesium werden durch die Salweide und Aspe, aber auch durch die Traubeneiche un-

verhältnismäßig stark akkumuliert. Insbesondere die Salweide erweist sich als äußerst effektiver Erdalkali-Sammler.

Aluminium wird vorrangig in den verholzten Bestandteilen der Lärchen festgelegt sowie über die Bodenvegetation und die Lärchen-Nadeln in den Stoffkreislauf eingebracht.

4.1 Meliorationsversuch Kahleberg

Auf den gekalkten Teilflächen mit Buche bildeten sich im Verlauf von 10 Jahren dreischichtige Strukturen aus (vgl. Abb. 6). Die Salweiden überschirmen die Rotbuchen, während Aspe und Birke über die Salweiden hinausragen. Die Birke erwies sich nach Schneebrüchen als sehr regenerationsfähig. An der Aspe hingegen waren keine Schneebrüche zu beobachten. Aufgrund ihres weichen Holzes ist sie geschmeidig und richtet sich nach Entlastung wieder auf.

Abb. 5:
Durchschnittliche
Trockenmassen (unterstrichene Ziffern)
und Elementvorräte von Europäischer Lärche,
Salweide, Rotbuche und der Bodenvegetation
in 10-jährigen meliorierten Mischbeständen
des Erzgebirges (Angaben in kg/ha, für Al in dag
[Dekagramm])

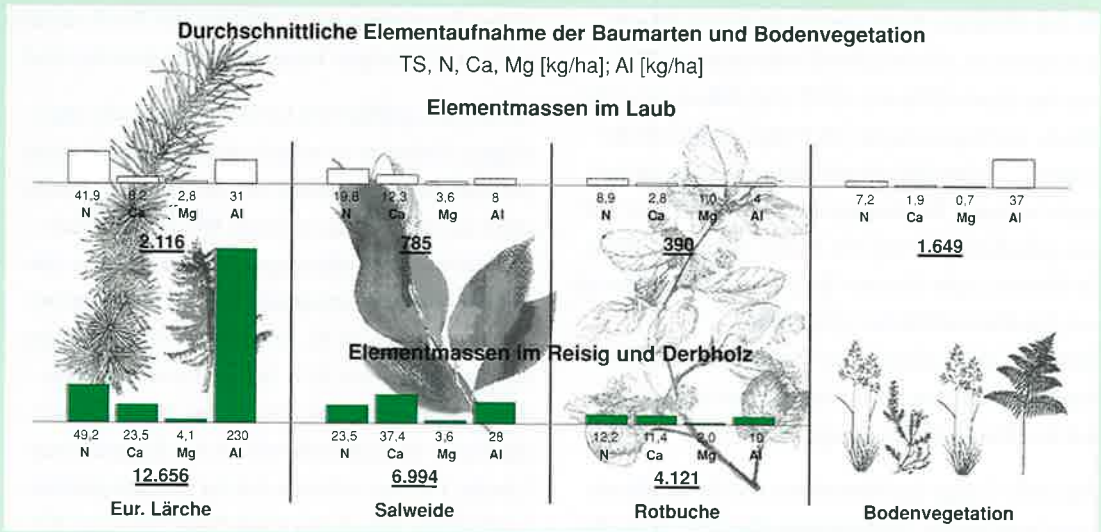
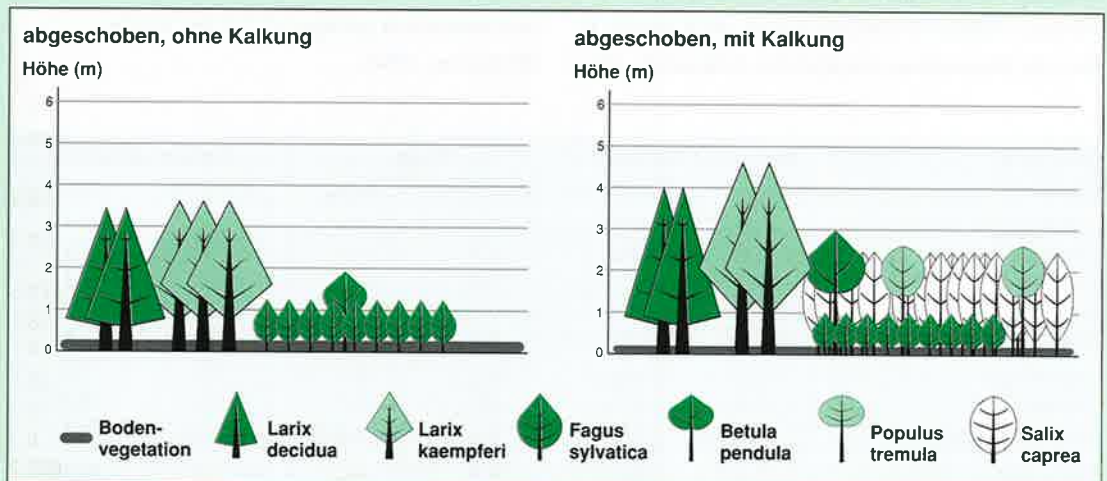


Abb. 6:
Schematische Darstellung des 10-jährigen
Mischbestandes im Versuch Kahleberg
1996 (1 Baum entspricht 1 000 St./ha,
Flächen entsprechen Trockenmasse-Anteilen)



Die Europäische und Japanische Lärche reagierten mit einem signifikant höheren Zuwachs auf die Kalkung. Demgegenüber blieb die Rotbuche auf den gekalkten Flächen geringwüchsiger als auf den Kontrollflächen. Dies kann an den überaus zahlreich angekommenen Salweiden liegen, die die Rotbuche überwachsen haben. Dass die Salweide andererseits nicht verdrängend wirkt, zeigen die höheren Pflanzenzahlen der Rotbuche auf den gekalkten (n/ha=10260) gegenüber ungekalkten Parzellen (n/ha=9360).

Im Versuch Kahleberg ist auf den gekalkten Flächen mit 31,4 t/ha mehr oberirdische Trockenmasse gebildet worden als auf den Kontrollflächen mit 24,0 t/ha (vgl. Tab. 9). Mit ca. 18 t/ha nehmen die Lärchen mehr als die Hälfte der gesamten oberirdischen Trockenmasse des Bestandes ein, die Unterschiede zwischen gekalkten und ungekalkten Flächen sind aber relativ gering. Die erhebliche Trockenmasse-Zunahme auf dem Kalk-Prüfgebiet ist vorwiegend auf Weich-Laubbäume, insbesondere die Salweide zurückzuführen. Sie wird in einer Verdopplung der Reisigmasse auf knapp 15 t/ha und einem Anstieg der Blattmasse um 45 Prozent sichtbar.

Merklich reagiert die Bodenvegetation (vgl. Tab. 10) auf den meliorativen Eingriff. Auf der gekalkten Fläche nimmt die Trockenmasse-Produktion ab. Damit ist ein Wechsel in der Dominanz der drei wichtigsten Bodenpflanzen verbunden; der Kräuteranteil steigt an, der von Gräsern und Heide nimmt stark ab. Obwohl die Lärchen-Nadeln nährstoffärmer als das Laub der Pionierbaumarten sind, bewirkt ihre große Masse einen hohen Elementumsatz, vor allem an N, P und Schwefel (vgl. Tab. 11). Für die Erdalkalien ist er auf den gekalkten Flächen allerdings geringer als

PGL.	Arten	Trockensubstanzen [kg/ha]			
		Blatt	Reisholz	Derbholz	gesamt
Kontrolle	BI	47	120	30	197
	RBU	322	1 511		1 834
	ELA	851	1 567	3 262	5 680
	JLA	2 094	3 871	7 199	13 163
	Bodenvegetat.				3 146
	Summe	3 314	7 069	10 490	24 020
Kalk	SWE	1 507	7 598		9 105
	ASP	93	554		647
	BI	66	160	57	283
	RBU	299	1 428		1 727
	ELA	1 002	1 841	3 469	6 311
	JLA	1 832	3 385	6 255	11 472
	Bodenvegetat.				1 837
	Summe	4 799	14 966	9 781	31 383

auf den Kontrollflächen. Die Lärchen zeigen damit keine meliorationsunterstützende Wirkung. Auch die Rotbuche bringt aufgrund ihrer geringen Laubmassen keinen erwähnenswerten Meliorationseffekt. Insgesamt werden über das Laub und die Bodenvegetation

Art TS [kg/ha]	Kahleberg		Differenz [%]
	Kontrolle	Kalk	
<i>Calam. purpurea</i>	645	918	+ 42 %
<i>Desch. flex.</i>	1 052	728	- 31 %
<i>Cal. vulg.</i>	1 449	191	- 87 %
Summe	3 146	1 837	- 42 %

10 Jahre nach der Kalk-Melioration 39 % mehr Kalzium, 65 % mehr Magnesium, 26 % mehr Stickstoff, aber 33 % weniger Aluminium umgesetzt (vgl. Tab. 11) als auf der Kontrollfläche. Trotz der wesentlich geringeren Stoffkonzentrationen in Reisig und Derbholz als im Laub der Baumarten sind wegen der hö-

Tab. 9:
Oberirdische Trockenmasse der Baumarten und der Bodenvegetation 1996 im Versuch Kahleberg

Tab. 10:
Oberirdische Trockenmasse der dominierenden Bodenpflanzen im Versuch Kahleberg 1996

PGL.	Art	C [kg/ha]	N [kg/ha]	S [kg/ha]	P [kg/ha]	K [kg/ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	Mn [kg/ha]	Al [kg/ha]	Fe [kg/ha]	Cu [g/ha]	Zn [g/ha]
Kontrolle	Bodenvegetat.	1 535	31,37	4,75	3,65	30,58	10,25	4,11	1,49	1,89	1,30	22,6	230,0
	BI	25	1,29	0,09	0,15	0,31	0,22	0,13	0,04	0,00	0,00	0,3	10,8
	RBU	161	6,62	0,63	0,46	1,94	1,91	0,44	0,17	0,01	0,04	1,8	9,7
	JLA	1 072	41,03	4,53	5,44	13,82	7,75	2,79	0,19	0,34	0,16	6,7	48,2
	ELA	425	14,21	2,01	1,45	5,36	4,00	1,30	0,29	0,17	0,08	3,2	24,7
	Summe	3 217	94,5	12,0	11,1	52,0	24,1	8,8	2,2	2,4	1,6	34,6	323,3
Kalk	Bodenvegetat.	850	23,34	2,55	2,04	16,25	5,93	2,05	1,03	0,91	0,66	13,5	10,9
	SWE	766	32,00	4,60	3,14	14,32	16,63	5,55	0,20	0,16	0,27	10,7	479,5
	ASP	47	2,23	0,25	0,18	0,98	0,82	0,40	0,03	0,01	0,01	0,8	38,7
	BI	34	1,89	0,15	0,20	0,52	0,42	0,20	0,04	0,00	0,01	0,5	18,7
	JLA	943	37,54	3,85	13,01	7,88	4,76	4,20	0,68	0,28	0,17	7,5	38,5
	ELA	506	17,54	2,14	1,70	5,11	3,10	1,64	0,28	0,20	0,12	3,9	28,0
	RBU	148	5,20	0,54	0,34	1,45	1,81	0,52	0,21	0,01	0,03	1,3	8,3
	Summe	3 294	119,7	14,1	20,6	46,5	33,5	14,6	2,5	1,6	1,3	38,3	622,7

Tab. 11:
Elementmassen in der Bodenvegetation und im Laub der Baumarten 1996 auf dem Versuch Kahleberg (10-jähriger Mischbestand)

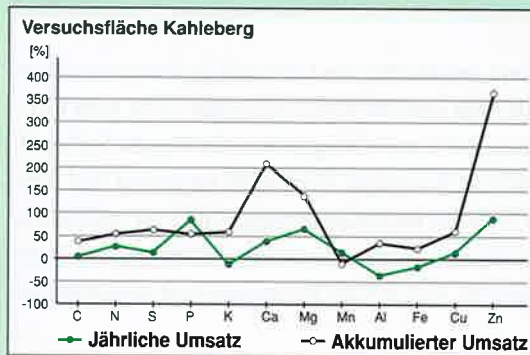
Tab. 12:
Elementmassen im
Reisig und Derbholz
der Baumarten 1996
auf dem Versuch
Kahleberg (10-jähri-
ger Mischbestand)

PGI.	Art	C [kg/ha]	N [kg/ha]	S [kg/ha]	P [kg/ha]	K [kg/ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	Mn [kg/ha]	Al [kg/ha]	Fe [kg/ha]	Cu [g/ha]	Zn [g/ha]
Kontrolle	BI	77	0,97	0,08	0,10	0,38	0,39	0,09	0,04	0,01	0,02	0,80	0,03
	RBU	752	8,69	0,99	1,10	4,25	9,09	0,78	0,56	0,07	0,17	7,27	0,07
	ELA	2 438	17,71	2,24	2,28	12,93	7,44	1,38	4,71	0,66	0,88	21,57	0,10
	JLA	5 562	34,53	4,03	5,52	23,36	18,72	3,06	3,35	2,21	3,49	48,88	0,19
	Summe	8 829	61,9	7,3	9,0	40,9	35,6	5,3	8,7	2,9	4,6	78,5	0,39
Kalk	SWE	3 737	34,52	4,65	5,37	25,80	71,19	6,42	0,89	0,64	0,99	44,26	1,27
	ASP	276	2,73	0,31	0,35	2,67	2,80	0,54	0,05	0,03	0,09	3,30	0,10
	BI	110	1,44	0,13	0,15	0,55	0,76	0,13	0,04	0,01	0,02	1,24	0,04
	RBU	706	6,75	0,68	0,87	3,72	8,71	0,75	0,42	0,05	0,19	5,99	0,08
	ELA	2 674	19,41	2,37	2,51	10,99	9,34	1,79	2,38	1,18	1,28	24,35	0,11
	JLA	4 892	31,21	3,82	4,62	20,69	17,62	3,21	4,38	2,11	3,19	45,31	0,21
	Summe	12 395	96,1	12,0	13,9	64,4	110,4	12,8	8,2	4,0	5,8	124,5	1,80

heren Trockenmasse ähnlich hohe Elementmengen gespeichert wie im Laub (vgl. Tab. 12). Auf den gekalkten Flächen sind im verholzten Material mehr als das Dreifache an Kalzium, das Doppelte an Magnesium und 50–60 % mehr Stickstoff, Schwefel und Phosphor enthalten als auf der Kontrollfläche. Diese enormen Anreicherungen der Stoffkreisläufe gehen vor allem auf die Salweide und die Aspe zurück, die anderen Baumarten sind daran wenig beteiligt. Auffällig sind ferner die hohen Mengen an Spurenelementen im Reisig und Derbholz. Während die Lärchen vor allem Mn, Al, Fe und

Cu im Reisig speichern, enthält das Reisig von Salweide und Aspe nur Cu und Zn in höheren Mengen.

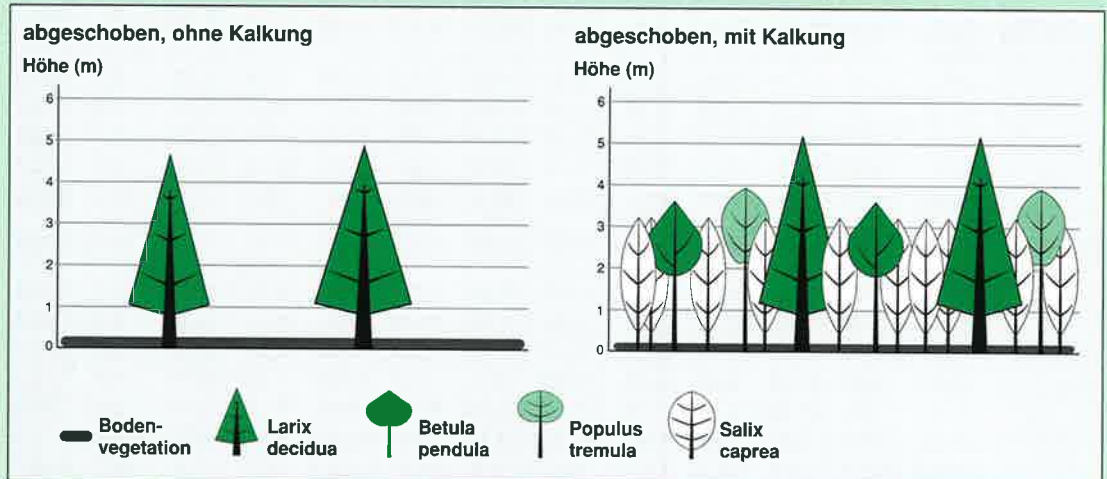
Abb. 7:
Relative Abweichung
der jährlichen
Elementumsätze
(Blätter/Nadeln und
Bodenvegetation) und
der akkumulierten
Elementvorräte
(Reisig und Derbholz)
in dem 10-jährigen
Mischbestand Kahle-
berg 1996 nach
Bodenbearbeitung
und Kalkung im
Vergleich zu alleini-
ger Bodenbearbeitung
(= 0%-Linie)



Beim Vergleich der Mineralstoffmassen (vgl. Abb. 7), die jährlich durch die Bodenvegetation und das Laub der Gehölze umgesetzt werden (jährlicher Mindestumsatz), gelangen auf den gekalkten Flächen mehr Ca- und Mg-Ionen, aber weniger Al-Ionen in die Stoffkreisläufe. Der Vergleich der Mineralstoffmassen, die sich in den verholzten Kompartimenten Reisig und Derbholz befinden (akkumulierte Umsätze), bestätigt im Wesentlichen die Aussagen für die Jahresumsätze.

Danach verwertet der 10-jährige Mischbestand das höhere Angebot austauschbarer Erdalkalien in starkem Maße. Indem er dem Boden über die jährlich anfallende Laubstreu höhere Mengen an Kalzium jedoch geringere Aluminiummengen zuführt, beeinflusst er die Entwicklung der chemischen Bodeneigenschaften in Richtung Austauscher-Puffersystem.

Abb. 8:
Schematische
Darstellung des
10-jährigen Misch-
bestandes im Versuch
Schwarzer Teich 1996
(1 Baum entspricht
1 000 St./ha, Flächen
entsprechen den
Trockenmasse-
Anteilen)



4.2 Meliorationsversuch Schwarzer Teich

Auf der Versuchsfläche Schwarzer Teich wurde nur die Europäische Lärche ohne Beteiligung anderer Baumarten gepflanzt. Der Standort liegt mit 780 m ü. NN etwas niedriger als der Versuch Kahleberg und in geschützter Lage. Erwartungsgemäß ist das Höhenwachstum der Lärchen deutlich besser als auf dem Kahleberg. Die hier von Kulturpflege-Arbeiten unbeeinträchtigte Entwicklung der Weich-Laubbäume führte auf der gekalkten Fläche zu einem Waldbild, bei dem das volle Leistungspotenzial der Aspe, Salweide und Birke erkennbar wird (vgl. Abb. 8).

Die Kalkung bewirkte am Schwarzen Teich keinen signifikanten Unterschied im Höhenwachstum der Europäischen Lärche. Das h/d-Verhältnis der Lärchen liegt jedoch auf der gekalkten Fläche etwas höher und deutet eine geringere mechanische Stabilität an. Ursache dafür ist wahrscheinlich die durch eine höhere Lärchen-Stammzahl und den angesamten Weich-Laubholzbesatz größere Bestandesdichte. Während die Lärchen auf der ungekalkten Vergleichsfläche häufiger einzelne Kronenbrüche aufweisen, sind auf den gekalkten Flächen kleine Löcher entstanden, in denen 2–4 Lärchen durch Schneedruck ausfielen und die nunmehr von den regenerationsfähigeren Weich-Laubbäumen ausgefüllt werden.

Wie die Höhenverteilungen der Baumarten zeigen, sind die Weich-Laubbäume zwar nicht gleichberechtigt zur Lärche, aber durchaus am Oberstand beteiligt. Einzelne Aspen und Birken haben die Lärchen sogar überwachsen und bilden vor allem dort recht stattliche Exemplare, wo die Lärche unter Schneedruck ausfiel. Der größte Anteil der Weich-Laubbäume ist jedoch zwischenständig.

Dass die Weich-Laubbäume nicht verdämmend auf die Europäische Lärche wirken, zeigen deren höhere Anwuchsprozente und die größere Trockenmasse-Leistung (vgl. Tab. 13) auf den gekalkten Flächen. Die zwischenständigen Salweiden und Birken beschatten den Boden, sodass sich eine relativ dünne Decke aus Wolligem Reitgras und einer krautigen Flora entwickeln konnte. Auf den Kontrollflächen hingegen bildete sich ein Teppich von Drahtschmiele und Blaubeere aus.

Auf dem Kalkprüfglied wurde – verglichen mit der ungekalkten Kontrolle – mehr als doppelt so viel

PGI.	Arten	Trockensubstanzen [kg/ha]			
		Laub	Reisholz	Derbholz	gesamt
Kontrolle	ELA	2 139	3 954	7 420	13 513
	Bodenvegetat.				1 611
	Summe	2 139	3 954	7 420	15 124
Kalk	SWE	2 157	4 950	5 672	12 779
	BI	289	700	1 019	2 008
	ASP	298	653	2 016	2 967
	ELA	2 543	4 742	9 966	17 251
	Bodenvegetat.				1 530
	Summe	5 286	11 045	18 673	36 535

Trockenmasse gebildet (vgl. Tab. 13). Die Weich-Laubbäume produzierten dabei mit ca. 17,7 t/ha einen höheren Anteil als die Europäischen Lärchen. Beteiligt daran waren in erster Linie die Salweide mit hohen Stückzahlen ($n/ha = ca. 10\ 000$) und einer relativ hohen Trockenmasse von 12,7 t/ha.

Art [kg/ha]	Schwarzer Teich	
	Kontrolle	Kalk
<i>Calamagrostis villosa</i>		1 093
<i>Deschampsia flexuosa</i>	1 539	
<i>Senecio fuchsii</i>		437
<i>Vaccinium myrtillus</i>	72	
Summe	1 611	1 530

In der Bodenvegetation ist bei annähernd gleicher Biomasseproduktion ein vollständiger Wechsel der dominierenden Arten eingetreten. Er wird auf der gekalkten Fläche neben *Calamagrostis villosa* vor allem durch das Fuchssche Kreuzkraut bestimmt (vgl. Tab. 14), welches eine verstärkte Nitrifizierung anzeigt (OBERDORFER 1994).

Durch die Veränderungen im Artenspektrum und die Wachstumsförderung auf den Kalkflächen nehmen – verglichen mit der Kontrollvariante – die durch Laub/Nadeln und die Bodenvegetation gebildete Trockenmasse nahezu um das Doppelte, die darin gebundenen Stickstoff-, Schwefel- und Kaliummengen um etwa das Dreifache, die Kalzium- und Magnesiumvorräte sogar um das Vierfache zu (vgl. Tab. 15). Wie auf dem Versuch Kahleberg werden diese Steigerungen im Wesentlichen durch die Salweide bestimmt. Sie allein setzt jährlich in ihrem Laub 33 kg/ha Kalzium, 24 kg/ha Kalium und 9 kg/ha Magnesium um. Die dem System zugeführten Kationen werden so durch die Weich-Laubbäume biologisch fixiert und über ihre leicht zersetzliche Streu effektiv in den Nährstoffhaushalt des Standortes eingebracht.

Tab. 13:
Oberirdische Trockenmasse der Baumarten und der Bodenvegetation 1996 im Versuch Schwarzer Teich

Tab. 14:
Oberirdische Trockenmasse der dominierenden Bodenpflanzen im Versuch Schwarzer Teich 1996

Tab. 15:
Elementmassen in der Bodenvegetation und im Laub der Baumarten 1996 auf dem Versuch Schwarzer Teich (10-jähriger Lärchen- bzw. Mischbestand)

PGI.	Art	C	N	S	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	Cu	Zn
		[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[g/ha]	[g/ha]
Kontrolle	Bodenvegetat.	753	18,42	1,90	4,67	1,85	11,19	1,29	0,91	2,81	1,29	9	9
	ELA	1 064	33,28	4,58	2,99	12,19	7,06	2,52	0,47	0,25	0,19	8	51
	Summe	1 817	51,7	6,5	7,7	14,0	18,2	3,8	1,4	3,1	1,5	18	61
Kalk	Bodenvegetat.	657	26,64	2,99	6,57	2,13	28,28	2,87	0,98	4,04	1,77	16	143
	SWE	1 060	61,32	7,52	4,49	24,63	33,86	9,42	0,16	0,25	0,22	22	774
	ASP	144	8,72	0,85	0,63	2,78	4,94	1,47	0,10	0,04	0,03	3	165
	BI	146	10,05	0,79	0,68	2,44	2,43	1,01	0,56	0,03	0,03	2	143
	ELA	1 286	57,89	5,75	3,05	15,01	7,63	3,36	2,62	0,23	0,22	12	79
	Summe	3 294	164,6	17,9	15,4	47,0	77,1	18,1	4,4	4,6	2,3	55	1 304

Tab. 16:
Elementmassen im Reisig und Derbholz der Baumarten 1996 auf dem Versuch Schwarzer Teich (10-jähriger Lärchen- bzw. Mischbestand)

PGI.	Art	C	N	S	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	Cu	Zn
		[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[g/ha]	[g/ha]
Kontrolle	ELA	5 773	44,0	5,11	5,29	25,19	18,22	3,31	5,16	2,48	2,81	51,96	0,28
	Summe	5 773	44,0	5,1	5,3	25,2	18,2	3,3	5,2	2,5	2,8	52,0	0,28
Kalk	SWE	5 314	57,41	6,94	6,14	35,67	77,03	7,13	0,81	0,56	1,57	60,42	1,57
	ASP	1 294	8,88	0,94	1,12	7,82	8,08	1,51	0,18	0,06	0,29	11,21	0,23
	BI	860	8,78	0,88	0,88	3,82	4,59	0,85	0,32	0,05	0,20	7,79	0,26
	ELA	7 405	63,07	7,47	6,85	34,18	25,84	4,73	11,01	1,82	2,78	77,31	0,46
	Summe	14 874	138,1	16,2	15,0	81,5	115,5	14,2	12,3	2,5	4,8	156,7	2,52

In die Bodenvegetation werden ebenfalls beträchtliche Mengen an Makroelementen, vor allem Kalzium und Phosphor inkorporiert.

Bei den Spurenelementen hat sich auf der gekalkten Fläche die Aufnahme von Mangan durch die Lärche, die von Kupfer und Zink vorrangig durch die Weichlaubhölzer und die von Aluminium und Eisen durch die Bodenvegetation erhöht. Im Reisig und Derbholz (vgl. Tab. 16) werden auf den Kalkparzellen das 3- bis 4-fache an N, S, P, K und Mg akkumuliert als auf den Kontrollflächen. Während die Lärche größtenteils am Umsatz von Mn, Al, Fe und Cu beteiligt ist, ist es die Salweide vorrangig bei den Erdalkalien Ca, Mg sowie des K, Cu und Zn.

Die Stoff-Flüsse spiegeln Veränderungen wider, die auf einen Wechsel der aktuellen Pufferbereiche im Boden hinweisen. Das wird an der hohen Manganaufnahme der Lärche auf der gekalkten Fläche be-

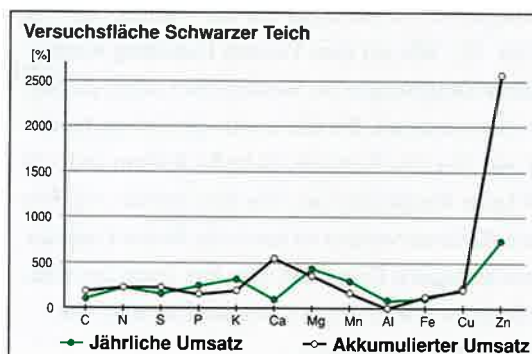
sonders deutlich, die auf die kalkungsbedingte Entstehung des Mangan-Puffersystems zurückzuführen ist. Er kennzeichnet spezifisch eng begrenzte Pufferbedingungen, die als Indikator für Versauerungsfortschritte gelten, hier jedoch eine kalkungsinduzierte Restauration anzeigen.

Die Kurvenverläufe in Abb. 9 untersetzen, dass die neu begründete Waldgeneration das nach der Kalkung höhere Nährstoffangebot verwertet und gleichzeitig die Aufnahme von Aluminium und Eisen beschränkt. Durch ihre leicht zersetzliche, kalziumreiche, an Kationen aber vergleichsweise arme Streu beeinflusst sie die Entwicklung der chemischen Bodeneigenschaften in Richtung Austausch-Puffersystem und stabilisierte so biologisch die technologisch eingeleitete Bodenmelioration.

4.3 Meliorationsversuch Kaltenbrunner Flügel

Auf der Versuchsfläche Kaltenbrunner Flügel wurden Gemeine Fichte und Eberesche reihenweise gemischt gepflanzt. Teilweise hat sich die Eberesche zusätzlich natürlich angesamt, zum Teil wurden später Heister regellos nachgepflanzt. Aus diesem Grund lassen sich die Ebereschen nach ihrer Herkunft nicht mehr einordnen und können nicht differenziert betrachtet werden. Da der Bestandsschluss noch nicht erreicht ist, sind derzeit keine Aussagen

Abb. 9:
Relative Abweichung der jährlichen Elementumsätze (Blätter/Nadeln und Bodenvegetation) und der akkumulierten Elementvorräte (Reisig und Derbholz) in dem 10-jährigen Mischbestand Schwarzer Teich 1996 nach Bodenbearbeitung und Kalkung im Vergleich zu alleiniger Bodenbearbeitung (= 0%-Linie)



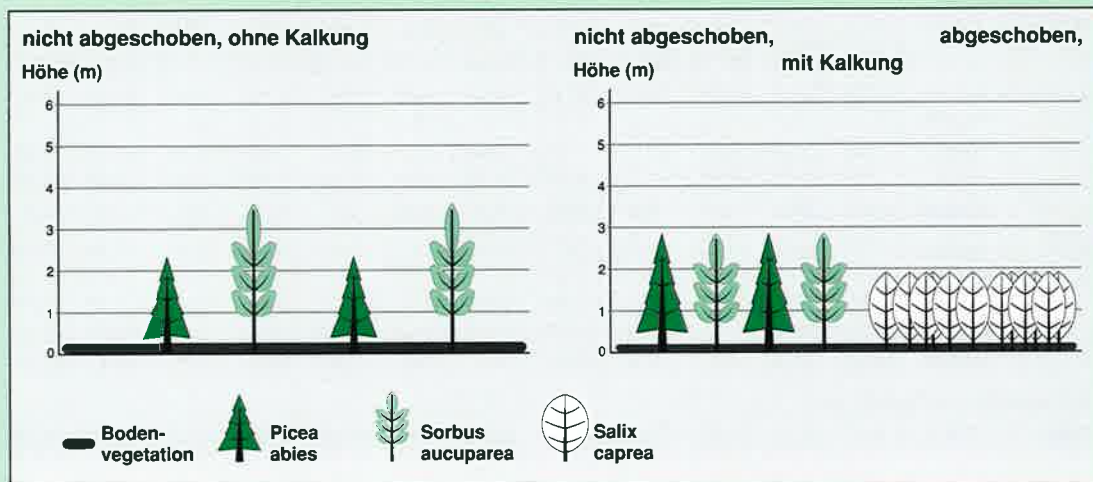


Abb. 10:
Schematische Darstellung des 10-jährigen Mischbestandes im Versuch Kaltenbrunner Flügel 1996 (1 Baum entspr. 1 000 St./ha, Flächen entsprechen den Trockenmasse-Anteilen)

zu Wechselwirkungen im Wachstum der Baumarten möglich. Die Salweide samte sich auf den geschobenen Teilarealen der gekalkten Parzellen in hohen Stückzahlen dort an, wo der Mineralboden freigelegt worden war. Auf dem überwiegenden Teil der Kalkflächen unterblieb das Abschieben, hier ist sie nur selten in einzelnen Exemplaren zu finden.

Das Höhenwachstum der Fichte wird durch die Kalkung signifikant gefördert, das der Eberesche dagegen verringert. Auf den Kontrollparzellen überträgt sie folglich die Fichte, auf dem Kalkprüfgebiet sind beide Baumarten etwa gleich groß.

Das Höhenwachstum der Salweide wurde hier nicht durch Pflegeeingriffe beeinträchtigt und hat sich in intraspezifischer Konkurrenz stark differenziert. Im Mittel liegt es unter dem von Eberesche und Fichte. Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Baumarten können nicht betrachtet werden, da sie von der Salweide räumlich getrennt wachsen (vgl. Tab. 10).

Auf den ungeschobenen, gekalkten Flächen des Versuches wurde weniger oberirdische Phytomasse gebildet als auf der Kontrollfläche (vgl. Tab. 17). Dies ist einerseits auf die unterschiedlichen Höhenverteilungen der Fichte und der Eberesche zurückzuführen und andererseits auf die geringere Trockenmasse der Bodenvegetation.

Die auf den geschobenen Teilflächen der gekalkten Variante angeflügten Salweiden produzieren in beträchtlichem Umfang Trockenmasse, die fast die Größenordnungen der Gesamt-Trockenmasse der ungeschobenen Flächen erreicht.

Die oberirdische Trockenmasse der Bodenvegetation ist auf den Kontrollflächen wegen der stärkeren Verbreitung der Blaubeere und des Reitgrases ca. 30 % größer als auf den gekalkten Flächen (vgl. Tab. 18).

PGL.	Arten	Trockensubstanzen [kg/ha]			
		Blatt	Reisholz	Derbholz	gesamt
Kontrolle	Eberesche	391	676	1 057	2 123
	Gem. Fichte	1 825	1 347	1 775	4 947
	Bodenvegetat.				1 781
	Summe	2 215	2 023	2 832	8 852
Kalk	Eberesche	312	752	1 050	2 114
	Gem. Fichte	1 677	1 241	1 417	4 336
	Bodenvegetat.				1 436
	Summe	1 989	1 993	2 467	7 886
Auf geschobenen Teilflächen					
Kalk	Salweide	951	5 017	1 445	7 413

Analog zur Trockenmasse unterscheiden sich die umgesetzten Elementmassen zwischen den Prüfgliedern nur unwesentlich. Auf den ungeschobenen Teilflächen der gekalkten Parzellen werden über das Laub sogar weniger N, Ca, K und P eingebunden als auf den Kontrollflächen. Auf den abgeschobenen Kalkflächen erhöht dagegen das Laub des Salweidenanfluges den jährlichen Nährelement-Umsatz um 50–100 % (vgl. Tab. 19).

Auf den ungeschobenen, gekalkten Flächen sind trotz der geringeren Trockenmasse die im Reisig und Derbholz enthaltenen Elementmengen, insbesondere bei Mn, K, Mg sowie N, S und P höher als auf den Kontrollflächen. Rechnet man ihnen die Nährelement-Vorräte der Salweiden hinzu, so erhöht sich für die parziell abgeschobenen Teilflächen

Art [kg/ha]	Kaltenbrunner Flügel		Differenz [%]
	Kontrolle	Kalk	
<i>Calam. villosa</i>	392	313	- 20 %
<i>Desch. flex.</i>	607	655	8 %
<i>Vacc. myrt.</i>	782	468	- 40 %
Summe	1 781	1 436	- 19 %

Tab. 17:
Oberirdische Trockenmasse der Baumarten und der Bodenvegetation 1996 im Versuch Kaltenbrunner Flügel

Tab. 18:
Oberirdische Trockenmasse der dominierenden Bodenpflanzen im Versuch Kaltenbrunner Flügel 1996

Tab. 19:
Elementmassen in der Bodenvegetation und im Laub der Baumarten 1996 auf dem Versuch Kaltenbrunner Flügel (10-jähriger Mischbestand)

PGI.	Art	C	N	S	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	Cu	Zn
		[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[g/ha]	[g/ha]
Kontrolle	Bodenvegetat.	852	20,97	2,13	2,47	15,16	9,20	1,62	0,66	0,29	0,24	12,00	9,40
	GEB	199	5,25	0,37	0,77	4,79	3,48	1,17	0,11	0,02	0,03	1,18	6,09
	GFI	907	22,77	2,18	2,74	8,76	14,23	1,42	1,64	0,16	0,14	4,20	78,47
	Summe	1 957	49,0	4,7	6,0	28,7	26,9	4,2	2,4	0,5	0,4	17,4	94,0
Kalk	Bodenvegetat.	677	18,83	1,89	1,51	13,77	5,46	1,21	2,06	0,61	0,43	8,00	6,80
	GEB	161	5,28	0,37	0,54	3,81	3,05	0,91	1,18	0,02	0,03	1,39	5,81
	GFI	851	18,51	2,11	1,68	5,70	11,07	1,49	0,67	0,15	0,11	4,03	115,72
	Summe	1 689	42,6	4,4	3,7	23,3	19,6	3,6	3,9	0,8	0,6	13,4	128,3
Auf geschobenen Teilflächen													
Kalk	SWE	467	22,16	2,85	2,21	10,46	19,76	5,05	0,22	0,08	0,08	6,77	189,08

Tab. 20:
Elementmassen im Reisig und Derbholz der Baumarten 1996 auf dem Versuch Kaltenbrunner Flügel

PGI.	Art	C	N	S	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	Cu	Zn
		[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[g/ha]	[g/ha]
Kontrolle	GEB	846	5,67	0,45	0,71	3,88	8,08	1,03	0,14	0,03	0,19	6,49	0,09
	GFI	1 568	10,75	1,31	1,79	8,96	5,98	1,19	0,77	0,20	0,78	15,01	0,13
	Summe	2 414	16,4	1,8	2,5	12,8	14,1	2,2	0,9	0,2	1,0	21,5	0,2
Kalk	GEB	884	7,15	1,65	1,77	5,61	7,12	2,17	1,98	0,04	0,19	8,20	0,10
	GFI	1 349	12,20	2,77	2,81	8,99	7,32	2,50	1,95	0,29	0,63	14,73	0,16
	Summe	2 233	19,3	4,4	4,6	14,6	14,4	4,7	3,9	0,3	0,8	22,9	0,3
Auf geschobenen Teilflächen													
Kalk	SWE	3 201	33,30	4,30	4,82	24,82	64,42	5,73	0,70	0,25	0,57	36,42	0,68

– ähnlich wie am Kahleberg und Schwarzen Teich – der Stoffumsatz im Vergleich zu den Kontrollflächen um das Drei- bis Fünffache (vgl. Tab. 20).

Aus Tab. 19, 20 und Abb. 11 wird deutlich, dass der Meliorationseffekt auf den gekalkten Flächen ohne gleichzeitige Bodenverwundung ausbleibt:

Weder die Fichte noch die Eberesche produzieren mehr Biomasse und verwerten das erhöhte Angebot an Erdalkalien nicht bzw. nur eingeschränkt. Der jährliche Umsatz an Hauptnährstoffen liegt 10 Jahre nach der Kalkung unter dem der Kontrollvariante. Aufgrund der leicht erhöhten Umsätze an den Kationensäuren Aluminium und Eisen durch die Bodenvegetation wird die langfristige Meliorationswirkung sogar infrage gestellt.

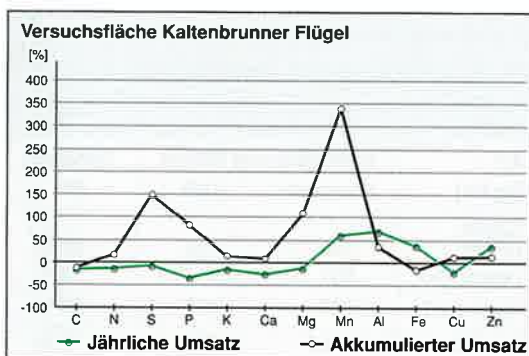
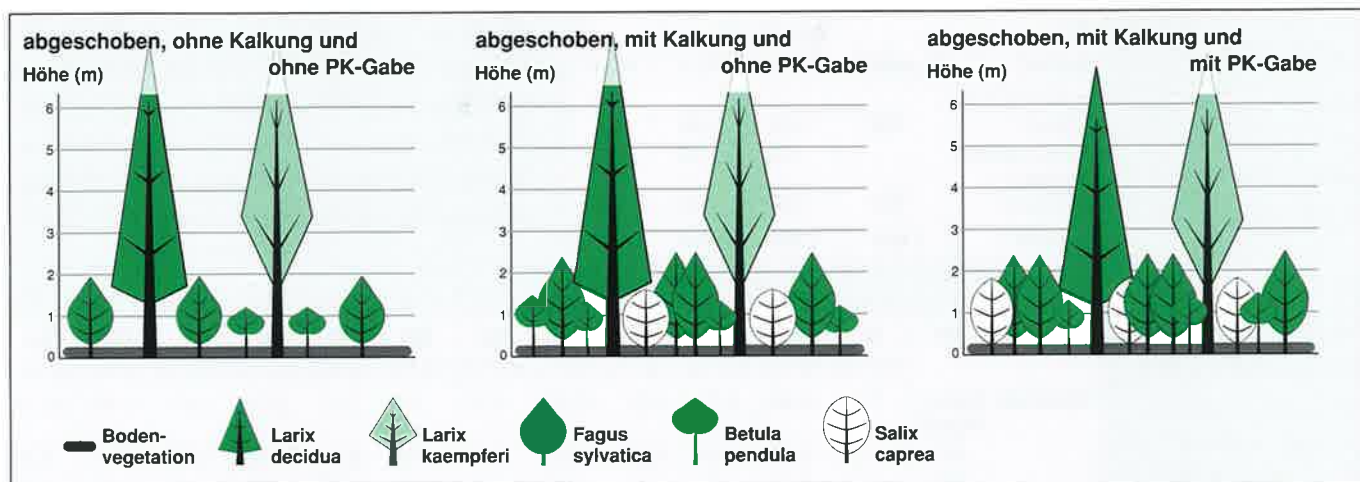


Abb. 11:
Relative Abweichung der jährlichen Elementumsätze (Blätter/Nadeln und Bodenvegetation) und der akkumulierten Elementvorräte (Reisig und Derbholz) in dem 10-jährigen Mischbestand Kaltenbrunner Flügel 1996 nach Kalkung im Vergleich zur ungekalkten Kontrolle (= 0%-Linie)

Allein die Kombination aus Bodenverwundung und Kalkung garantierte die Ansammlung von Weich-Laubbäumen als grundlegende Voraussetzung für den Erfolg der Meliorationsmaßnahmen.

4.4 Meliorationsversuch Schaftwald

Auf der Versuchsfläche am Schaftwald wurden Europäische Lärche und Buche in reihenweiser Mischung gepflanzt. Die Pflanzausfälle der Europäischen Lärche waren auf den Kontrollflächen geringer als auf der Kalkvariante. Sie wurden mit Japanischer Lärche ausgebessert; deren Anteil ist demzufolge auf den Kontrollparzellen am niedrigsten. Die angesamten Weichlaub-Bäume sind bei anfänglichen Kulturpflege-Arbeiten stark zurückgeschnitten worden, entsprechend gering ist heute ihr Anteil an der Bestandesstruktur. Auf den gekalkten Flächen sind Birke und Salweide, auch einige Aspenen und vereinzelte Ebereschen zu finden, denen allerdings aufgrund der geringen Stückzahlen keine größere Bedeutung für den Stoffumsatz zukommt. Vermutlich wird die Rolle der Ebereschen im Laufe der weiteren Bestandesentwicklung aber zunehmen.



Die Birke samte sich in geringen Stückzahlen auch auf den Kontrollflächen an, während Salweide und Aspe dort vollkommen fehlen.

Die Lärchenarten haben einen wesentlichen Höhenvorsprung gegenüber den anderen Baumarten erreicht und übernehmen die Vorwaldaufgaben. In ihrem Schutz entwickeln sich die Buchen. Im Gegensatz zur Europäischen Lärche zeigen sich bei der Japanischen Lärche durch abfallendes Höhenwachstum und einen bevorzugten Befall mit Rindenbrütern Anzeichen einer geschwächten Vitalität. Bei Durchforstungen ist sie deshalb zugunsten der Europäischen Lärche bevorzugt zu entnehmen. Die Kalkung beeinflusste das Wachstum beider Lärchenarten nicht.

Die Rotbuche reagierte auf den gekalkten Flächen mit einem deutlich höheren Anwuchs und Wachstum. Sie besitzt gegenüber den Weich-Laubbäumen einen Höhenvorsprung, den sie in der Tendenz halten wird. Die anfänglichen Kulturpflege-Arbeiten mit relativ starken Eingriffen begünstigten diese Entwicklung.

Die auf den Stock gesetzten Weich-Laubbäume schieben im Durchschnitt mehr als zwei Triebe. Damit wirken sie als Treib- und Füllholz unterstützend auf das Höhenwachstum der Rotbuchen, übernehmen jedoch keine Vorwaldfunktion (vgl. Abb. 12).

Als günstig hat sich die zusätzliche PK-Düngung in Form von Kalisinterphosphat erwiesen. Sie führte zu höheren Anwuchsprozenten und besserem Wachstum der Rotbuchen sowie zu einem vermehrten Anflug von Weich-Laubbäumen und unterstützte so die positiven Wirkungen der Kalkung. Nach der zusätzlichen PK-Gabe in anionischer Bindungsform als Superphosphat und Kaliumchlorid blieb ein solcher positiver Effekt dagegen aus.

Im Versuchsbestand sind während der ersten zehn Jahre nur die Lärchen massebildend und dominieren das Bild. Auf den gekalkten Flächen gewinnt die Rotbuche an Bedeutung. Die Trockenmasse der Weich-Laubbäume fällt aufgrund der geringen Pflanzenzahlen und des geringen Wuchses nicht ins Gewicht (vgl. Tab. 21).

Abb. 12: Schematische Darstellung des 10-jährigen Mischbestandes im Versuch Schaftwald 1996 (1 Baum entspricht 1 000 St./ha, Flächen entsprechen den Trockenmasse-Anteilen)

PGI.	Arten	Trockensubstanzen [kgTS/ha]				PGI.	Arten	Trockensubstanzen [kgTS/ha]			
		Blatt	Reisig	Derbholz	gesamt			Blatt	Reisig	Derbholz	gesamt
Kontrolle	BI	26	68		94	Kalk	BI	89	262		352
	SWE						SWE	68	221		290
	RBU	138	788		926		RBU	390	2 402		2 793
	ELA	3 294	7 838	13 189	24 320		ELA	2 663	6 338	10 664	19 665
	JLA	707	1 590	2 778	5 075		JLA	1 172	2 697	4 640	8 509
	Bodenvegetat.				1 587		Bodenvegetat.				1 441
	Summe	4 165	10 284	15 967	32 003		Summe	4 383	11 921	15 304	33 049
Kalk+KSP	BI	77	226		303	Kalk+SP + KCI	BI	177	532		709
	SWE	61	240		301		SWE	78	241		319
	RBU	661	3 877		4 538		RBU	344	2 055		2 399
	ELA	2 321	5 227	9 114	16 662		ELA	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	JLA	958	2 022	3 679	6 659		JLA	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
	Bodenvegetat.				1 134		Bodenvegetat.				1 188
	Summe	4 077	11 591	12 793	29 596		Summe	599	2 828		

Tab. 21: Oberirdische Trockenmasse der Baumarten und der Bodenvegetation 1996 im Versuch Schaftwald

Tab. 22:
Oberirdische
Trockenmasse der do-
minierenden Boden-
pflanzen im Versuch
Schaftwald 1996

Art [kg/ha]	Schaftwald			
	Kontrolle	Kalk	PK 3	PK 4
<i>Calamagrostis villosa</i>	892	1 209	888	697
<i>Rubus idaeus</i>		66	26	457
<i>Pteridium aquilinum</i>	695	166	220	34
Summe	1 587	1 441	1 134	1 188

Die oberirdische Trockenmasse von dominierenden Arten der Bodenvegetation differiert zwischen den Prüfgliedern erheblich (vgl. Tab. 22). Während der Adlerfarn auf den gekalkten Flächen spärlicher vorkommt als auf der Kontrollfläche, tritt die Himbeere nur auf den gekalkten Flächen auf. Das Reitgras

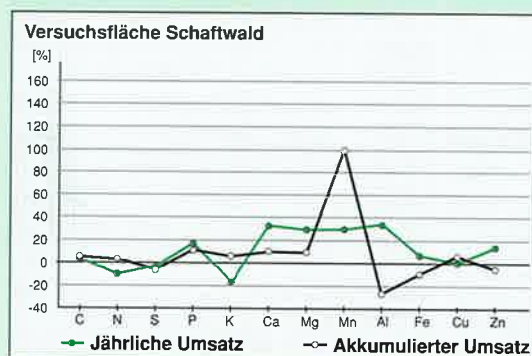
Tab. 23:
Elementmassen in der
Bodenvegetation und
im Laub der Baum-
arten 1996 auf dem
Versuch Schaftwald
(10-jähriger Misch-
bestand)

PGI.	Art	C	N	S	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	Cu	Zn
		[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[g/ha]	[g/ha]
Kontrolle	Boden-vegetat.	716	26,66	3,07	2,02	23,65	4,29	1,89	2,21	0,50	0,43	11,60	80,10
	BI	13	0,67	0,05	0,05	0,20	0,18	0,06	0,14	0,00	0,00	0,15	4,26
	RBU	69	3,11	0,32	0,17	0,97	0,74	0,19	0,60	0,02	0,02	0,87	3,93
	ELA	1 635	76,32	8,96	4,94	29,64	12,85	3,36	11,89	0,36	0,29	14,49	98,81
	JLA	365	13,92	1,36	1,49	4,39	2,40	0,70	0,86	0,11	0,06	2,55	17,33
	Summe	2 798	120,7	13,8	8,7	58,8	20,5	6,2	15,7	1,0	0,8	29,7	204,4
Kalk	Boden-vegetat.	637	21,04	2,78	2,18	23,80	5,86	3,30	2,72	0,45	0,40	13,00	79,80
	SWE	33	1,51	0,19	0,11	0,69	1,30	0,39	0,02	0,01	0,01	0,48	19,92
	BI	45	2,23	0,18	0,21	0,61	0,64	0,28	0,38	0,01	0,01	0,55	17,99
	RBU	191	8,97	0,84	0,55	2,37	2,94	0,88	1,86	0,06	0,05	2,84	16,71
	ELA	1 341	51,27	6,48	5,06	15,18	12,52	2,18	11,53	0,60	0,28	8,26	77,23
	JLA	608	22,57	2,38	2,11	5,98	4,10	1,03	3,97	0,20	0,09	4,34	24,61
	Summe	2 856	107,6	12,8	10,2	48,6	27,4	8,1	20,5	1,3	0,8	29,5	236,3

Tab. 24:
Elementmassen im
Reisig und Derbholz
der Baumarten 1996
auf dem Versuch
Schaftwald (10-jähri-
ger Mischbestand)

PGI.	Art	C	N	S	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	Cu	Zn
		[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[g/ha]	[g/ha]
Kontrolle	BI	34	0,34	0,03	0,04	0,19	0,18	0,03	0,05	0,00	0,01	0,23	0,01
	RBU	391	3,62	0,50	0,44	1,96	2,45	0,32	1,12	0,03	0,06	2,98	0,03
	ELA	10 643	81,74	11,04	10,63	47,89	40,20	6,73	10,27	5,09	5,17	99,96	0,54
	JLA	2 188	14,64	1,88	2,16	10,94	6,17	1,16	3,66	0,99	1,41	21,86	0,08
	Summe	13 256	100,3	13,5	13,3	61,0	49,0	8,2	15,1	6,1	6,6	125,0	0,7
Kalk	SWE	108	1,02	0,14	0,12	0,84	1,93	0,17	0,03	0,01	0,02	1,20	0,02
	BI	129	1,31	0,13	0,15	0,65	0,59	0,11	0,18	0,01	0,02	1,29	0,03
	RBU	1 216	12,26	1,21	1,78	5,71	8,87	1,56	3,09	0,17	0,27	12,49	0,09
	ELA	8 573	66,43	8,12	9,21	41,29	32,40	5,38	19,24	2,93	3,54	81,47	0,38
	JLA	3 717	23,03	2,89	3,69	17,37	11,09	1,90	7,83	1,31	2,15	34,60	0,14
	Summe	13 614	102,7	12,4	14,8	65,2	54,3	9,0	30,2	4,4	6,0	129,8	0,6

Abb. 13:
Relative Abweichung
der jährlichen Ele-
mentumsätze (Blätter/
Nadeln und Boden-
vegetation) und der
akkumulierten Ele-
mentvorräte (Reisig
und Derbholz) in dem
10-jährigen Misch-
bestand Schaftwald
1996 nach Bodenbe-
arbeitung und Kal-
kung im Vergleich zu
alleiniger Bodenbe-
arbeitung (= 0%-Linie)



dominiert auf allen Behandlungsvarianten und lässt keine Aussagen zur Kalkwirkung zu.

Die jährlich durch die Bodenvegetation und die Assimilationsorgane der Gehölze umgesetzten Elementmassen unterscheiden sich auf den gekalkten und ungekalkten Flächen nur gering (vgl. Tab. 23). Die Abweichungen von der Kontrollfläche sind größtenteils auf die Bodenvegetation zurückzuführen. Sie inkorporiert auf der gekalkten Fläche höhere Erdalkali-Mengen als auf der Kontrollfläche. Der Einfluss der Weich-Laubbäume bleibt gering. Die in die Lärchen-Nadeln eingelagerten Mineralstoffmassen sind auf der gekalkten und ungekalkten Fläche nahezu gleich, auffällig die generell hohen

N-, S-, P- und Mn-Mengen. Auf der Kalkvariante ist der Kaliumumsatz etwas niedriger, der Umlauf an Phosphor, Mangan, Kalzium und Magnesium etwas höher als auf dem Kontrollprüfglied.

Im Reisig und Derbholz werden auf den gekalkten Flächen etwas höhere Erdalkali-Mengen gespeichert (vgl. Tab. 24). Dieser Effekt ist allein auf die Laubbäume zurückzuführen, die Lärchen können das erhöhte Angebot an Kalzium und Magnesium nicht verwerten und haben daran keinen Anteil. Sie lagern dagegen unabhängig von der Behandlung auffällig hohe Mengen an Aluminium, Eisen, Kupfer sowie Zink ein und tragen wesentlich dazu bei, dass sich als Folge der Kalkung der Mangenvorrat auf hohem Niveau von 15 auf 30 kg/ha verdoppelt.

Durch den von Lärchen dominierten Versuchsbestand, in dem nährstoffaktive Weich-Laubbäume weitgehend fehlen, werden die verabreichten Erdalkalien nicht bevorzugt gegenüber Aluminium oder Eisen aufgenommen, nur die Mangan einlagerung steigt an (vgl. Abb. 13). Ein die Kalkung stabilisierender biologischer Meliorationseffekt in Richtung Austauscher-Puffersystem bleibt damit weitgehend aus.

4.5 Meliorationsversuch Taubenbach

Im Versuch Taubenbach wurden zwei verschiedene Kalke verwendet, die sich in ihrer Körnung und Löslichkeit unterscheiden (vgl. S. 7 f). Traubeneiche, Rotbuche und sogenannte Hybrid-Lärchen sind reihenweise gemischt gepflanzt worden. Die Lärchen übernahmen die Aufgaben eines Vorwaldes, in dessen Schutz sich die Eichen und Buchen entwickeln.

Da sich Sorten und Herkünfte der Lärchen nicht mehr bestimmen lassen, wurden sie nicht in die Untersuchungen einbezogen. Vereinzelt sind einige Hainbuchen vorhanden, mit denen ausgefallene Traubeneichen nachgebessert wurden. Sie blieben aufgrund der geringen Stückzahlen bei den ertragskundlichen Erhebungen gleichfalls unberücksichtigt.

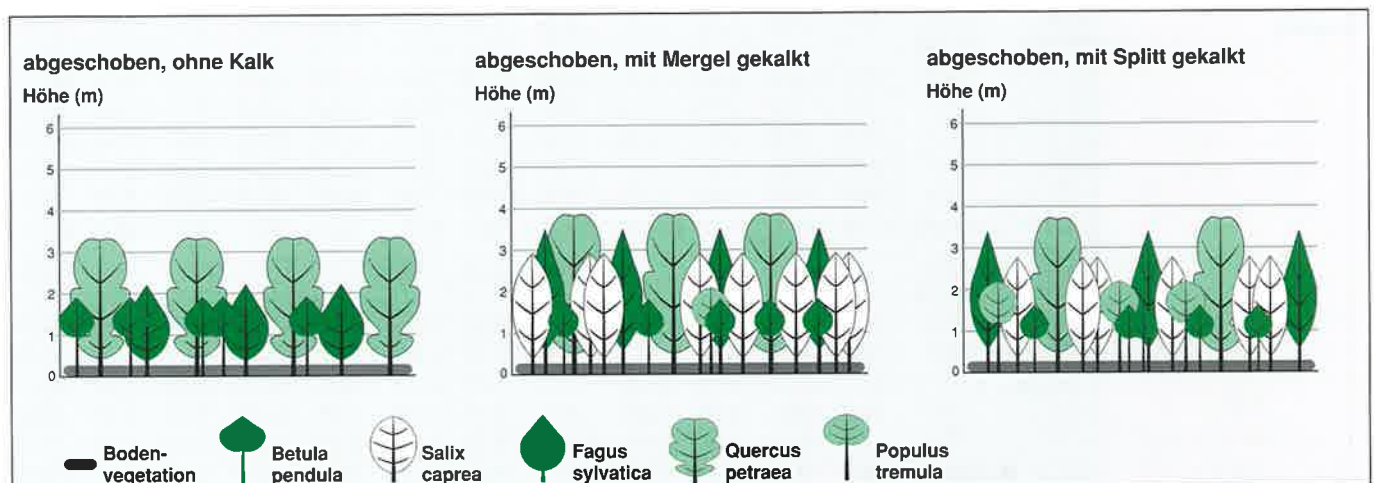
Von den Weich-Laubbäumen sind Birke, Aspe und Salweide zahlreich vertreten, wobei sich nur die Birke auch auf den Kontrollparzellen ansamte. Der Anteil der angekommenen Salweiden an der Baumartenzusammensetzung ist in beiden Kalkprüfgliedern am höchsten.

Auf der Variante mit langsam löslichem Kalksplitt verschob sich das Mischungsverhältnis zugunsten der Aspe.

Auf den gekalkten Flächen entwickelten sich in 10 Jahren dreischichtige Mischbestände mit überständigen „Hybridlärchen“ (nicht aufgenommen und dargestellt), mit Rotbuche und Traubeneiche im Oberstand sowie Weich-Laubbäumen im Zwischen- bzw. Unterstand. Auf den Kontrollflächen bildet die Traubeneiche den Oberstand, Salweiden und Aspen fehlen völlig (vgl. Abb. 14).

Die Höhenverteilungen zeigen, dass Traubeneiche und Rotbuche in den oberen Höhenstufen fast gleichberechtigt nebeneinander existieren. Ihnen ist die Mehrzahl der Weich-Laubbäume im Höhenwachstum unterlegen. Einzelne stattliche Aspen-Exemplare ragen jedoch mehrere Meter über die Rotbuchen und Traubeneichen hinaus. Sie beweisen, dass die Aspe durchaus in der Lage ist, in die Dimensionen eines Vorwaldes hineinzuwachsen. Da ihr jedoch hier mit der Kulturpflege der Höhenvorsprung genommen worden ist und sie diesen Verlust in Konkurrenz mit den anderen Baumarten nicht

Abb. 14: Schematische Darstellung des 10-jährigen Mischbestandes im Versuch Taubenbach 1996, ohne „Hybridlärche“ (1 Baum entspricht 1 000 St./ha, Flächen entsprechen den Trockenmassen-Anteilen)



mehr aufholen kann, wird sie nicht bestandesbildend wirksam. Andererseits starben in dichten Beständen unterständige Salweiden und Aspen bereits ab. Die Birke erreicht nur auf den Kontrollflächen ähnliche Höhen wie die Rotbuche. Hier ist im Rahmen der Kulturpflege verstärkt eingegriffen worden.

Tab. 25:
Oberirdische
Trockenmasse der
Baumarten und der
Bodenvegetation 1996
im Versuch Tauben-
bach (HLA über
Durchmesservertei-
lung und Regressionen
der ELA geschätzt)

PGI.	Arten	Trockensubstanzen [kgTS/ha]			
		Blatt	Reisig	Derbholz	gesamt
Kontrolle	BI	291	1 560		1 851
	RBU	244	811	948	2 003
	TEI	946	1 445	3 737	6 128
	HLA	1 119	2 226	4 084	7 429
	Boden- vegetat.				569
	Summe		2 601	6 042	8 769
Kalk- Mergel	SWE	850	5 429		6 279
	ASP	50	167		217
	BI	169	814		983
	RBU	684	2 499	3 953	7 136
	TEI	634	1 184	2 941	4 759
	HLA	747	1 477	2 651	4 875
Boden- vegetat.				426	
Summe		3 135	11 570	9 545	24 676
Kalk- Splitt	SWE	607	3 787		4 394
	ASP	88	346		434
	BI	219	1 344		1 563
	RBU	424	1 251	1 920	3 595
	TEI	491	919	2 238	3 648
	HLA	1 771	3 516	6 396	11 683
Boden- vegetat.				210	
Summe		3 599	11 163	10 554	25 526

Ähnlich wie am Schaftwald wirken die Weich-
Laubbäume als Treib- und Füllholz des Bestandes.

Die Kalkung bewirkte ein gestrecktes Höhenwachstum der Hauptbaumarten. Die Rotbuche ist auf den gekalkten Flächen mit der Traubeneiche gleichwüchsig und wird ihr somit zur Konkurrentin. Dies äußert sich im Vergleich der Triebblängenzuwächse von Traubeneiche und Buche sowie in den geringeren Pflanzanzahlen und im engen h/d-Verhältnis der Eiche.

Das allgemein bessere Wachstum der Gehölze auf den gekalkten Flächen des Versuches hat eine sehr hohe Akkumulation an oberirdischer Phytomasse zur Folge (vgl. Tab. 25). Insgesamt erreichen die Laubbäume jedoch nicht die Produktivität der Lärchen am Schaftwald.

Die Bodenvegetation ist vergleichsweise schwach entwickelt. Adlerfarn kommt auf der Kontrollfläche vor und fehlt auf den Kalkparzellen weitgehend. Weitere dominierende Bodenbedecker sind das Bergreitgras und die Drahtschmiele.

Obwohl die von Laub und Bodenvegetation gebildete Kohlenstoffmenge auf der Mergel-Fläche nur um 35 % größer als auf der Kontroll-Fläche, auf der Splitt-Fläche sogar gleich hoch wie dort (ca. 1,0 t C/ha) ist, werden auf beiden Kalkungs-Varianten jährlich wesentlich höhere Mengen an Erdalkalien und Stickstoff umgesetzt (vgl. Tab. 26). Wegen des starken

Tab. 26:
Elementmassen in der
Bodenvegetation und
im Laub der Baum-
arten 1996 auf dem
Versuch Taubenbach
(10-jähriger Misch-
bestand)

PGI.	Art	C	N	S	P	K	Ca	Mg	Mn	Al	Fe	Cu	Zn
		[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[g/ha]	[g/ha]
Kontrolle	Boden- vegetat.	260	8,78	0,89	0,70	10,54	1,15	0,44	0,88	0,20	0,16	3,20	24,70
	BI	151	7,19	0,58	0,50	2,33	1,24	0,53	1,17	0,02	0,03	1,78	51,52
	RBU	117	4,62	0,54	0,25	1,54	1,31	0,34	0,92	0,02	0,03	1,43	6,75
	TEI	459	18,27	1,94	1,14	7,08	5,39	1,30	4,78	0,07	0,09	5,32	15,33
	Summe	987	38,9	4,0	2,6	21,5	9,1	2,6	7,7	0,3	0,3	11,7	98,3
Kalk- Mergel	Boden- vegetat.	187	6,84	0,86	0,63	8,33	1,59	0,77	0,44	0,13	0,11	2,80	27,60
	SWE	417	21,50	2,63	1,60	8,96	13,84	4,49	0,33	0,08	0,09	6,71	261,74
	ASP	24	1,36	0,16	0,10	0,49	0,81	0,26	0,06	0,00	0,00	0,46	19,77
	BI	87	4,60	0,37	0,40	1,31	1,44	0,71	0,57	0,02	0,02	1,10	53,83
	RBU	333	17,93	1,65	1,01	4,65	4,87	2,51	1,52	0,04	0,08	5,95	32,40
	TEI	287	15,10	1,33	1,10	4,35	5,67	1,88	1,42	0,05	0,06	3,84	14,72
Summe	1 334	67,3	7,0	4,8	28,1	28,2	10,6	4,3	0,3	0,4	20,9	410,1	
Kalk- Splitt	Boden- vegetat.	93	3,52	0,39	0,35	4,66	0,60	0,33	0,23	0,04	0,04	1,20	12,90
	SWE	302	15,84	1,83	1,02	6,20	9,39	3,37	0,27	0,06	0,07	5,51	229,82
	ASP	43	2,47	0,30	0,17	1,10	1,35	0,57	0,07	0,01	0,01	1,03	37,06
	BI	113	6,31	0,53	0,45	1,91	1,51	0,79	0,58	0,02	0,03	1,55	48,42
	RBU	208	10,90	0,96	0,63	3,11	3,12	1,15	0,83	0,04	0,05	2,84	14,47
	TEI	239	12,24	1,07	0,78	3,50	3,78	1,47	1,45	0,03	0,05	3,03	10,17
Summe	997	51,3	5,1	3,4	20,5	19,8	7,7	3,4	0,2	0,2	15,2	352,8	

PGI.	Art	C [kg/ha]	N [kg/ha]	S [kg/ha]	P [kg/ha]	K [kg/ha]	Ca [kg/ha]	Mg [kg/ha]	Mn [kg/ha]	Al [kg/ha]	Fe [kg/ha]	Cu [g/ha]	Zn [g/ha]
Kontrolle	BI	792	9,99	0,70	0,90	4,22	4,01	0,72	1,70	0,07	0,11	7,85	0,27
	RBU	865	6,78	0,53	0,56	3,91	5,30	0,73	1,80	0,05	0,18	8,88	0,05
	TEI	2 502	16,70	2,13	1,84	13,86	26,86	2,85	5,72	0,23	0,52	31,62	0,12
	Summe	4 160	33,5	3,4	3,3	22,0	36,2	4,3	9,2	0,3	0,8	48,4	0,4
Kalk-Mergel	SWE	2 657	34,09	3,61	3,16	21,43	45,83	4,76	1,18	0,46	0,55	54,64	0,86
	ASP	82	0,85	0,09	0,12	0,90	0,91	0,16	0,04	0,01	0,01	1,43	0,02
	BI	405	3,51	0,33	0,32	1,51	1,68	0,27	0,40	0,03	0,04	5,70	0,10
	RBU	3 138	25,77	6,14	6,21	18,28	23,57	7,41	6,98	0,14	0,49	37,16	0,16
	TEI	1 992	13,98	1,66	1,49	11,49	23,66	2,62	1,95	0,14	0,37	24,43	0,10
Summe	8 274	78,2	11,8	11,3	53,6	95,7	15,2	10,5	0,8	1,5	123,4	1,2	
Kalk-Splitt	SWE	1 840	24,73	2,46	2,27	14,56	35,04	4,09	0,89	0,30	0,38	27,85	0,80
	ASP	169	1,58	0,17	0,17	1,75	1,60	0,31	0,05	0,01	0,03	1,60	0,04
	BI	688	7,34	0,46	0,77	3,44	3,54	0,78	0,62	0,05	0,18	8,92	0,19
	RBU	1 563	13,20	1,20	1,18	8,03	12,48	2,01	1,94	0,09	0,31	17,22	0,10
	TEI	1 530	11,54	1,31	1,20	8,87	19,67	2,05	2,21	0,14	0,31	20,31	0,08
Summe	5 790	58,4	5,6	5,6	36,7	72,3	9,2	5,7	0,6	1,2	75,9	1,2	

Tab. 27:
Elementmassen im
Reisig und Derbholz
der Baumarten 1996
auf dem Versuch
Taubenbach (10-jäh-
riger Mischbestand)

Aneignungsvermögens der Salweide und Aspe beträgt der Zugewinn bei Kalzium und Magnesium das 2- bis 3-fache der Kontrollflächen. Die Rotbuche ist am erhöhten Umsatz der Erdalkalien beteiligt, die Traubeneiche jedoch nicht.

Im Reis- und Derbholz sind auf den mit Mergel gekalkten Flächen in der insgesamt höheren Trockenmasse auch höhere Mineralstoffmengen gebunden. Dabei fallen vor allem die Mineralstoffgehalte der Salweiden ins Gewicht. Sie enthalten in ihrem Reisig etwa so viel an N, K und Ca wie die Buche und Eiche zusammen. Die durch die Salweide gebundenen Mg- und Zn-Mengen sind ebenfalls beträchtlich (vgl. Tab. 27).

Der Vergleich der jährlichen und akkumulierten Mindestumsätze an Mineralstoffen der oberirdischen Trockenmasse verdeutlicht, dass auf den meliorier-

ten Flächen die Entwicklung vom Al- zum Austauscher-Puffersystem durch die Vegetation effektiv unterstützt wird. Im Vergleich zu den Kontrollflächen werden 2- bis 3-fach mehr Erdalkalien und vergleichsweise weniger Aluminium und Eisen in die Stoffkreisläufe einbezogen (vgl. Abb. 15).

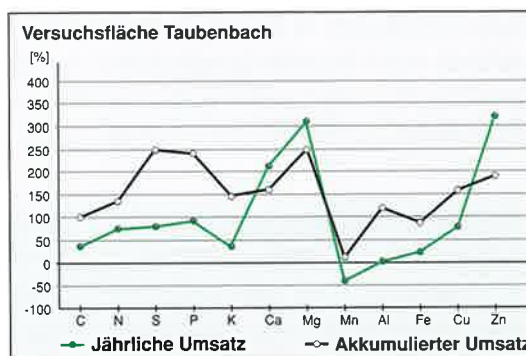


Abb. 15:
Jährliche Elementum-
sätze (Blätter und
Bodenvegetation) und
akkumulierte Ele-
mentvorräte (Reisig
und Derbholz) des
10-jährigen Misch-
bestandes Tauben-
bach (ohne Lärchen)
nach Bodenbearbei-
tung und Kalkung im
Vergleich zu alleini-
ger Bodenbearbei-
tung (= 0%-Linie)

5 Einflüsse von Weich-Laubbäumen auf den Standort

Für die meliorationsunterstützende Wirkung der Vegetation ist ihre Mineralstoffaufnahme aus der Bodenlösung einerseits sowie die Rückgabe von organischen Substanzen und Nährelementen über die Streu andererseits entscheidend (KUHNSCHROEDER 1993; FINK 1991; MENGEL 1991). Das Nährstoffangebot der Bodenlösung wird zunächst über das wirksame Bodenpuffersystem gesteuert. Darüber hinaus zeigen die Pflanzenarten unterschiedliche Fähigkeiten und Neigungen

- sich bestimmte Mineralstoffe bevorzugt anzueignen und zu erschließen (HÖHNE 1978; HEINZE 1982) oder
- bei einem Überangebot die Aufnahme einzuschränken (NEBE und OFFERMANN 1998; MENGEL 1991; ROST-SIEBERT 1985) und
- die Mineralstoffe in bestimmten Pflanzengeweben festzulegen (HAUG und CARDWELL 1984; ZÖTTL und HÜTTL 1985).

Bäume nehmen über die jährliche Streufallmenge und deren unterschiedliche Qualität Einfluss auf die chemischen Eigenschaften des Oberbodens (WITTICH 1933, 1948; NOACK 1994; WILPERT und BUBERL 1998).

Vor allem die Streu der Weich-Laubbäumen weist hohe Erdalkali- sowie Stickstoff- und Schwefelgehalte (eiweißreich) auf und wird deshalb rasch mineralisiert. Besonders wertvoll für die Bildung besserer Humusformen ist die Salweide, die auf den gekalkten Versuchsfeldern hohe Biomassen produziert (vgl. Tab. 28).

Die gepflanzten Hart-Laubbäumen Rotbuche und Traubeneiche bilden in der Kulturphase deutlich weniger und erdalkaliärmeres Laub als die Salweide. Für das Ankurbeln der Stoffkreisläufe sind sie in diesem Alter deshalb vergleichsweise ineffektiv. Die Lärchenarten produzieren zwar wie die Salweiden jährlich hohe Streumassen. Diese weisen jedoch nur geringe Erdalkali-gehalte auf und sind sehr schwer zersetzbar (WITTICH 1939, 1943a, 1943b), sodass daraus im Allgemeinen inaktive Rohhumus-Formen entstehen, in denen bedeutende Nährstoffmengen dauerhaft festgelegt werden. Von der gleichfalls hohen, aber erdalkaliarmen Nadelmasse der Fichte fallen über das Jahr verteilt nur die Anteile eines Nadeljahrgangs als Streu zu Boden (REEMSTMA 1964). Da sie ähnlich wie die Lärchenstreu schwer zersetzbar

Tab. 28: Menge und Kalziumgehalte der oberirdischen Trockenmasse sowie Zersetzbarkeit der Streu der Baumarten auf den 10-jährigen Versuchsfeldern (Werte aus Kontroll- und Kalk-Prüfparzellen)

	Oberirdische Biomasse-Produktion			Erdalkali-Anreicherung			Zersetzbarkeit der Streu	
	Laub	Reisig/Holz	Wertung	im Laub	im Reisig	Wertung	C/N	Wertung durch
	TS[kg/ha]	TS[t/ha]		Ca[mg/g]			(Laub, frisch)	WITTICH, 1943
SWE	60–2 100	0,2–10,6	sehr hoch	11–20,7	7–12	sehr hoch	17,3–19,7–23,9	sehr gut
BI	25– 300	-1,7	gering	4,2– 9,0	2,2– 5	hoch	14,6–18,8–20,2	gut
ASP	50– 300	0,2– 2,7	gering	8,8–16,6	4,6– 8,6	hoch	16,5–18,3–20,8	gut
GEB	300– 400	1,7– 1,8	gering	8,9– 9,7	5,9– 9,6	hoch	30,5–34,2–37,8	
RBU	140– 680	0,8– 6,4	mittel	5,4– 8,8	3,1– 7,4	mittel	18,6–22,2–28,5	mittel
TEI	500– 950	3,1– 5,1	mittel	5,7– 8,9	7,4–10,9	mittel	19,0–20,9–25,1	mittel
ELA	850–3 300	4,8–21,0	sehr hoch	3,0– 4,7	3,5– 4,9	gering	21,4–26,4–32,0	sehr schlecht
JLA	700–2 100	4,3–11,0	sehr hoch	3,4– 4,8	2,4– 4,1	gering	25,1–27,0–31,3	sehr schlecht
GFI	1 600–1 800	2,6– 3,1	hoch	6,6– 7,8	3,1– 3,6	mittel	39,8–42,8–45,9	schlecht

Tab. 29: Pools ausgewählter Elemente in der oberirdischen Trockenmasse der Baumarten und Bodenvegetation (10-jähriger Mischbestand 1996)

Mineralstoff-pools ¹⁾ [kg/ha]	Lärchenarten		Salweide		Bodenvegetation
	Laub	Reisig und Derbholz	Laub	Reisig und Derbholz	Oberirdische Phytomasse
Stickstoff	13,9–28,1–57,9	14,1–37,0–81,7	1,51–19,7–61,3	1,02–23,4–57,4	3,52–18,8–31,3
Schwefel	1,36–3,18–5,75	1,73–4,70–11,7	0,19–2,49–7,52	0,13–2,80–6,94	0,39–2,21–4,75
Aluminium	0,11–0,21–0,34	0,66–1,92–5,09	0,01–0,08–0,25	0,01–0,28–0,64	0,04–0,98–4,04
Kalzium	2,40–6,98–14,2	6,17–18,3–40,2	0,92–12,4–33,8	1,84–37,4–77,0	0,60–4,95–10,2
Kalium	4,39–9,20–15,0	9,07–23,6–47,9	0,69–8,36–24,6	0,84–15,7–35,6	4,66–16,7–30,6
Zink	0,02–0,05–0,11	0,08–0,23–0,54	0,02–0,25–0,77	0,02–0,66–1,57	0,01–0,09–0,23

¹⁾ Minima-/Mittelwert-/Maxima-Werte der Arten auf den Versuchsfeldern (Kontrolle u. Kalk)

ist, werden ebenfalls ungünstige Humusformen gebildet, die eine Kreislaufsperrung für die Nährstoffe darstellen.

Aus den mittleren oberirdischen Phytomassen und ihren Elementgehalten lassen sich **pools** für bestimmte Nährstoffe abschätzen (vgl. Tab. 29). In den Nadeln bzw. Blättern und den verholzten Teilen der Lärchen und Salweiden sind gleichermaßen hohe Mengen an Stickstoff, Schwefel und Kalium gebunden. Die Salweide baut darüber hinaus sehr hohe Erdalkali-Vorräte ein. Die Bodenvegetation enthält ebenfalls nicht zu vernachlässigende Mengen an Stickstoff und Kalium, die etwa denen im Laub der Baumarten entsprechen.

Aluminium sowie Eisen (nicht dargestellt) sind hauptsächlich im Reisig und Derbholz der Lärchen, aber auch in der Bodenvegetation enthalten. Zink und Kupfer (nicht dargestellt) werden bevorzugt in alle oberirdischen Pflanzenteile der Salweide, aber auch in das Reisig der Lärchen eingebaut.

Für die mit der Streu 1996 umgesetzten maximalen Erdalkali-Mengen ($\text{kg/ha} \cdot \text{a}$) lässt sich baumartenspezifisch deren potenzielle Säure-Neutralisations-Kapazität (pot. SNK [$\text{kmol/ha} \cdot \text{a}$]) errechnen (vgl. Tab. 30). Über das leicht zersetzbare Laub der Salweide wurden dem Boden bis zu 33,8 kg Ca und 9,4 kg Mg je Hektar wieder zugeführt. Das entspricht Aufwandmengen von 84,7 kg Kalzium- und 32,7 kg Magnesiumkarbonat bzw. einer potenziellen Säure-Neutralisations-Kapazität von 2,5 $\text{kmol/ha} \cdot \text{a}$. Dieser mit dem weiteren Wachstum der Bäume noch zunehmende Erdalkali-Umlauf trägt mittelfristig entscheidend zur Pufferung der Säureinträge bei, die während des hydrologischen Jahres 1996 im Erzgebirge zwischen 0,6–1,0 kmol IÄ/ha für den Freiland-Niederschlag bzw. 1,7–4,1 kmol IÄ/ha für den Niederschlag unter Fichtenbeständen lagen. Eine solche

Baumart	Umsatz [$\text{kg/ha} \cdot \text{a}$]		entspricht [$\text{kg/ha} \cdot \text{a}$]		pot. SNK [$\text{kmol/ha} \cdot \text{a}$]
	Ca	Mg	CaCO_3	MgCO_3	
SWE ¹⁾	33,8	9,4	84,7	32,7	2,47
RBV ²⁾	4,9	2,5	12,2	8,7	0,45
TEI ²⁾	5,7	1,9	14,2	6,5	0,44
ELA ³⁾	12,9	3,4	32,1	11,7	0,92
GFI ⁴⁾	11,1	1,5	27,7	5,2	0,68

¹⁾ Schwarzer Teich; ²⁾ Taubenbach (KM); ³⁾ Schaftwald;

⁴⁾ Kaltenbrunner Flügel

bodenpflegliche und meliorationsstützende Wirkung wird von keiner der anderen Baumarten erreicht!

Auf den gekalkten Flächen einiger Versuche erhöhen sich die jährlichen Mindestumsätze an Stickstoff, Phosphor, Kalzium und Magnesium, ohne dass sich

Tab. 30: Maximale potenzielle Säure-Neutralisations-Kapazität des Erdalkali-Umsatzes über die Streumassen der Baumarten 1996 auf den kalkmeliorierten Parzellen

Versuch	Prüfglieder	C	N	S	P	Ca	Mg	Zn
		[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[g/ha]
Kahleberg	Kontrolle	3 217	95	12	11	24	9	323
	Kalk	3 294	120	14	21	33	15	623
	Differenz [%]	2%	27%	17%	85%	39%	66%	93%
Taubenbach	Kontrolle	987	39	4	3	9	3	98
	Kalk	997	51	5	3	20	8	353
	Differenz [%]	1%	32%	28%	31%	117%	194%	259%
Schaftwald	Kontrolle	2 798	121	14	9	20	6	204
	Kalk	2 856	108	13	10	27	8	236
	Differenz [%]	2%	- 11%	- 7%	18%	34%	30%	16%

die Trockenmasse aus Laub und Bodenvegetation wesentlich von der Kontrollfläche unterscheidet (vgl. C-Umsatz in Tab. 31). Diese Steigerung ist auf die Einmischung der Weich-Laubbäume, insbesondere der Salweide zurückzuführen. Deutlich ist dieser Effekt auf dem Versuch Kahleberg und der Kalksplit-Variante des Versuchs Taubenbach, schwächer auf der gekalkten Fläche im Versuch Schaftwald ausgeprägt.

Tab. 31: Jährliche Mindest-Element-Umsätze (Laub/Nadel und Bodenvegetation) auf Versuchsflächen mit annähernd gleicher jährlicher Produktion an oberirdischer Trockenmasse

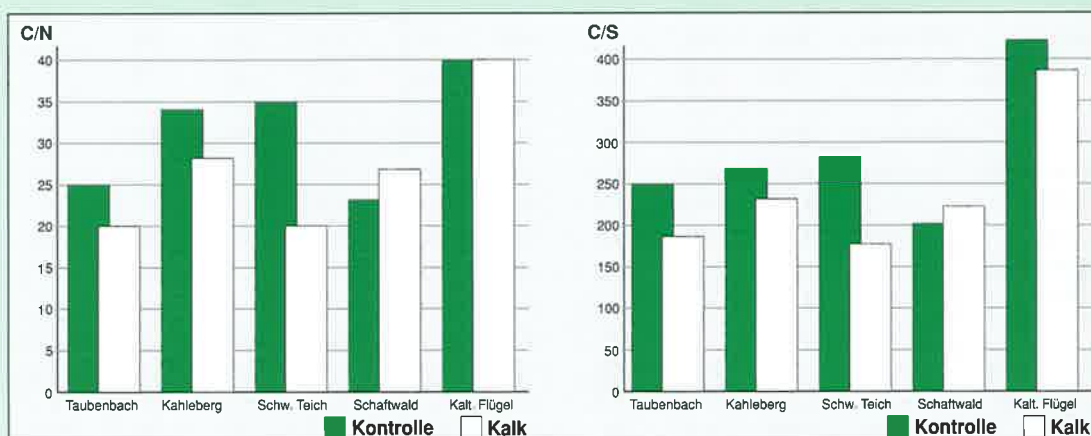


Abb. 16: C/N- und C/S-Verhältnisse der Streu (Blätter/Nadeln und Bodenvegetation) 1996 auf gekalkten und ungekalkten Flächen in den 10-jährigen Versuchsanlagen

Tab. 32:

Elementmengen und -verhältnisse der Streu (Blatt/Nadel und Bodenvegetation) in den 10-jährigen Mischbeständen der Versuche Taubenbach, Kahleberg und Schwarzer Teich 1996

Versuch	Prüfglieder	C	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Ca/Fe	Ca/Al	Ca/Mn
Kalkdosis		[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]			
Taubenbach 14,6 t/ha	Kontrolle	987	9	2,6	0,3	0,3	7,7	30	29,1	1,2
	Kalkmergel	1 334	28	10,6	0,4	0,3	4,3	78	88,8	6,5
	Differenz	347	19	8,0	0,1	0,0	-3,4	48	59,7	5,3
Kahleberg 7,0 t/ha	Kontrolle	3 217	24	8,8	1,6	2,4	2,2	15	10,0	11,1
	Kalk	3 294	33	14,6	1,3	1,6	2,5	26	21,3	13,6
	Differenz	77	9	5,8	-0,3	-0,9	0,3	11	11,4	2,5
Schw. Teich 7,0 t/ha	Kontrolle	1 817	18	3,8	1,5	3,1	1,4	12	6,0	5,5
	Kalk	3 294	77	18,1	2,3	4,6	4,4	34	16,8	3,5
	Differenz	1 477	59	14,3	0,8	1,5	3,0	22	10,9	-2,0

Tab. 33:

Elementmengen und -verhältnisse der Streu (Blatt/Nadel und Bodenvegetation) in dem 10-jährigen Mischbestand des Versuches Schaftwald

Versuch	Prüfglieder	C	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Ca/Fe	Ca/Al	Ca/Mn
Kalkdosis		[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]			
Schaftwald 4,4 t/ha	Kontrolle	2 798	20	6,2	0,8	1,0	15,7	26	20,5	1,3
	Kalk	2 856	27	8,1	0,8	1,3	20,5	32	20,6	1,3
	Differenz	58	7	1,9	0,0	0,3	4,8	7	0,1	0,0

Auf den Kalkprüfgliedern der Versuchsanlagen Taubenbach, Kahleberg und Schwarzer Teich verengen sich die C/N- und C/S-Verhältnisse der Streu (vgl. Abb. 16) infolge einer insgesamt höheren Stickstoff- und Schwefelaufnahme der Bäume sowie der Bodenvegetation – die Streu wird eiweißreicher und qualitativ besser (WITTICH 1943a).

Mit zunehmender Alterung der Blattorgane bis zum physiologischen Laubabwurf ist zwar mit einem Entzug von Stickstoff und einer Anreicherung von Kalzium zu rechnen (REEMTSMA 1964). Ungeachtet dessen beeinflussen die Weich-Laubbäume die Stoffflüsse im Sinne der beabsichtigten langfristigen Bodenmelioration zweifellos günstig (WITTICH 1933).

Tab. 34:

Elementmengen und -verhältnisse der Streu (Blatt/Nadel und Bodenvegetation) in dem 10-jährigen Mischbestand des Versuches Kaltenbrunner Flügel

Versuch	Prüfglieder	C	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Ca/Fe	Ca/Al	Ca/Mn
Kalkdosis		[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]			
Kalt. Flügel 12,1 t/ha	Kontrolle	1 957	27	4,2	0,4	0,5	2,4	66	56,3	11,1
	Kalk, ungeschoben	1 689	20	3,6	0,6	0,8	3,9	34	24,9	5,0
	Differenz	-268	-7	-0,6	0,2	0,3	1,5	-32	-31,4	-6,1
12,1 t/ha	Kalk, geschoben	467	20	5,1	0,1	0,1	0,2	247	247,0	89,8
	Differenz	-1 490	-7	0,8	-0,3	-0,4	-2,2	181	190,7	78,7

Tab. 35:

Elementmengen und -verhältnisse in den verholzten Kompartimenten der 10-jährigen Mischbestände auf den Versuchen Taubenbach, Kahleberg und Schwarzer Teich 1996

Versuch	Prüfglieder	C	Ca	Mg	Fe	Al	Mn	Ca/Fe	Ca/Al	Ca/Mn
		[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]	[kg/ha]			
Taubenbach	Kontrolle	4 160	36,2	4,3	0,8	0,3	9,2	45	104	4
	Kalkmergel	8 274	95,7	15,2	1,5	0,8	10,5	66	124	9
	Differenz	99%	59	11	0,6	0,4	1,3	21	20	5
Kahleberg	Kontrolle	8 829	35,6	5,3	4,6	2,9	8,7	8	12	4
	Kalk	12 395	110,4	12,8	5,8	4,0	8,2	19	27	14
	Differenz	40 %	75	8	1,2	1,1	-0,5	11	15	9
Schwarzer Teich	Kontrolle	5 773	18,2	3,3	2,8	2,5	5,2	6	7	4
	Kalk	14 874	115,5	14,2	4,8	2,5	12,3	24	46	9
	Differenz	158 %	97	11	2,0	0,0	7,2	17	39	6
Schaftwald	Kontrolle	13 256	49,0	8,2	6,6	6,1	15,1	7	8	3
	Kalk	13 614	54,3	9,0	6,0	4,4	30,2	9	12	2
	Differenz	3 %	5	1	-0,7	-1,7	15,1	2	4	-1
Kaltenbrunner Flügel	Kontrolle	2 414	14,1	2,2	1,0	0,2	0,9	14	60	15
	Kalk	2 233	14,4	4,7	0,8	0,3	3,9	17	45	4
	Differenz	-8 %	3 %	2	-0,1	0,1	3,0	3	-15	-12

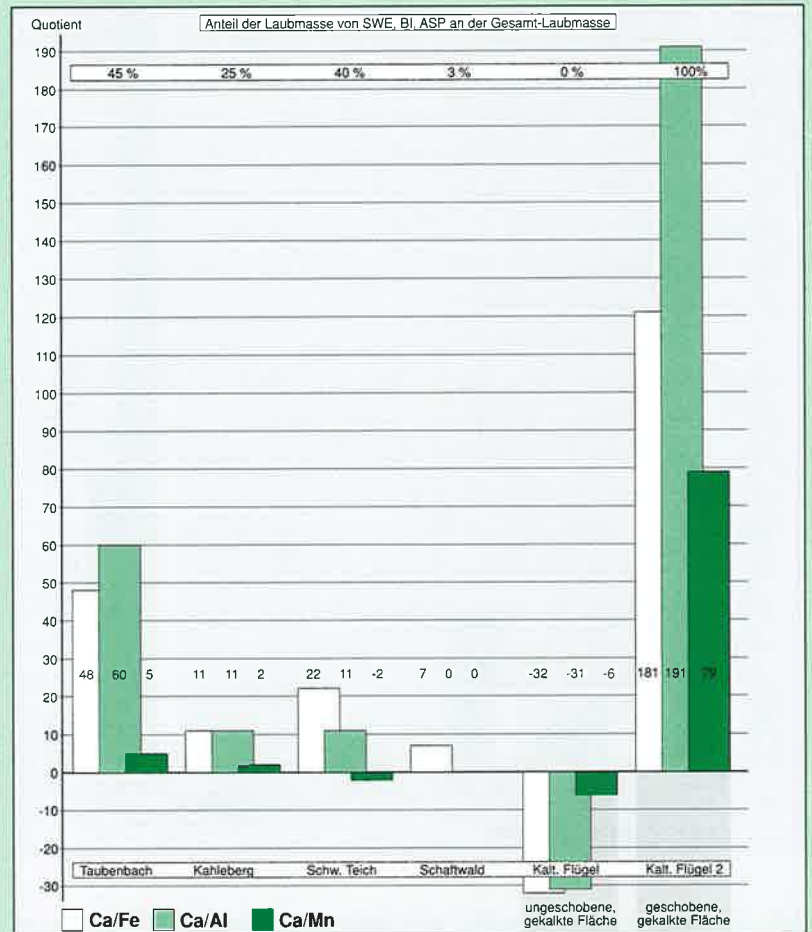
Ein Vergleich der jährlichen Mindestumsätze an Mineralstoffen durch das Laub und die Bodenvegetation verdeutlicht für die gekalkten Flächen in der Regel höhere Mengen an den basischen Kationen Kalzium, Kalium, Magnesium, an den für die Eiweißbildung wesentlichen Hauptnährstoffen Stickstoff, Schwefel und Phosphor sowie an den enzymrelevanten Spurenelementen Kupfer und Zink als auf den Kontrollflächen. Im Gegenzug dazu verringerten sich meist die jährlich umgesetzten Mengen an Aluminium, Eisen und teilweise auch an Mangan (vgl. Abb. 7, 9, 11, 13, 15).

Als Indikator für die Effektivität, mit der die Meliorationsziele durch die Vegetation unterstützt wurden, kann die Differenz zwischen Kalk- und Kontrollvariante für die Ca/Fe-, Ca/Al- und Ca/Mn-Quotienten in der jährlich produzierten Streu herangezogen werden. Je höher die Differenz ausfällt, desto Erfolg versprechender ist der Effekt der Kalkung für einen Wechsel vom Aluminium- zum Austauscher-Puffersystem des Oberbodens (vgl. Abb. 17).

Für den Versuch Taubenbach (14,6 t Kalk/ha) lässt sich folgende Veränderung nachvollziehen (vgl. Tab. 32). Bei einem 3- bis 4-fach höheren Erdalkaliumsatz auf der Kalkvariante blieb die Aufnahme von Eisen und Aluminium unverändert niedrig, während sich die von Mangan erheblich verringerte. Aus dieser differenzierten Elementaufnahme kann geschlossen werden, dass ein Wechsel aus dem oberen Bereich des Aluminium-Pufferbereichs in den Austauscher-Pufferbereich stattgefunden hat und Mangan festgelegt worden ist.

In den Versuchen Kahleberg und Schwarzer Teich (vgl. Tab. 32) hat die meliorative Kalkung mit 7 t/ha offenbar einen Wechsel vom Aluminium- in den Mangan-, nicht jedoch in den Austauscher-Pufferbereich bewirkt. Auf den gekalkten Flächen verringerten sich die jährlichen Umsätze an Eisen und Aluminium, die Manganaufnahme blieb dagegen gleich oder stieg an. Gleichzeitig nahm die Vegetation vergleichsweise mehr Kalzium und Magnesium auf. Am Schwarzen Teich sind über die Bodenvegetation enorme Mengen an Aluminium aufgenommen worden, sodass sich das in dieser Bilanz stärker auswirkt.

Die Versuchsfläche Schaftwald ist ein Beispiel dafür, dass die Kalkung (4,4 t/ha) zwar das Angebot an Kalzium und Magnesium erhöht und eine verstärkte Festlegung von Eisen, nicht jedoch von Aluminium



und Mangan bewirkt hat. Beide Elemente blieben in der Bodenlösung aktiv und wurden von der Vegetation in etwa gleichem Maße wie auf der Kontrolle aufgenommen (vgl. Tab. 33).

Auf den ungeschobenen Teilarealen der Kalkvariante (12,1 t/ha) im Versuch Kaltenbrunner Flügel bleibt ein unterstützender Effekt der Vegetation für die Bodenmelioration sogar völlig aus (vgl. Tab. 34). Von den dort wachsenden Fichten, Ebereschen und der Bodenvegetation (vgl. Tab. 19 und 20) wird jährlich weniger Kalzium und Magnesium umgesetzt als auf der Kontrollfläche (vgl. Tab. 34). Nur auf den geschobenen Kalk-Teilflächen flog Salweide an. Sie nimmt Erdalkalien bevorzugt gegenüber Eisen, Aluminium und Mangan auf und unterstützt damit die Anreicherung austauschbarer Erdalkalien im Oberboden.

Die in Abb. 17 zusammengefassten Differenzbeiträge der kalziumbezogenen Fe-, Al- und Mn-Quotienten in der jährlichen Streu zwischen dem Kontroll- und dem Kalkprüfgebiet geben einen Überblick darüber, inwieweit es durch Kalkung gelungen ist, den Oberboden aus dem Aluminium- in den Austauscher-Pufferbereich zu überführen.

Abb. 17: Veränderung kalziumbezogener Fe-, Al- und Mn-Quotienten in der Streu (Laub/Nadel und Bodenvegetation) der 10-jährigen Mischbestände 1996 nach Bodenbearbeitung und Kalkung im Vergleich zu alleiniger Bodenbearbeitung (= 0-Linie)

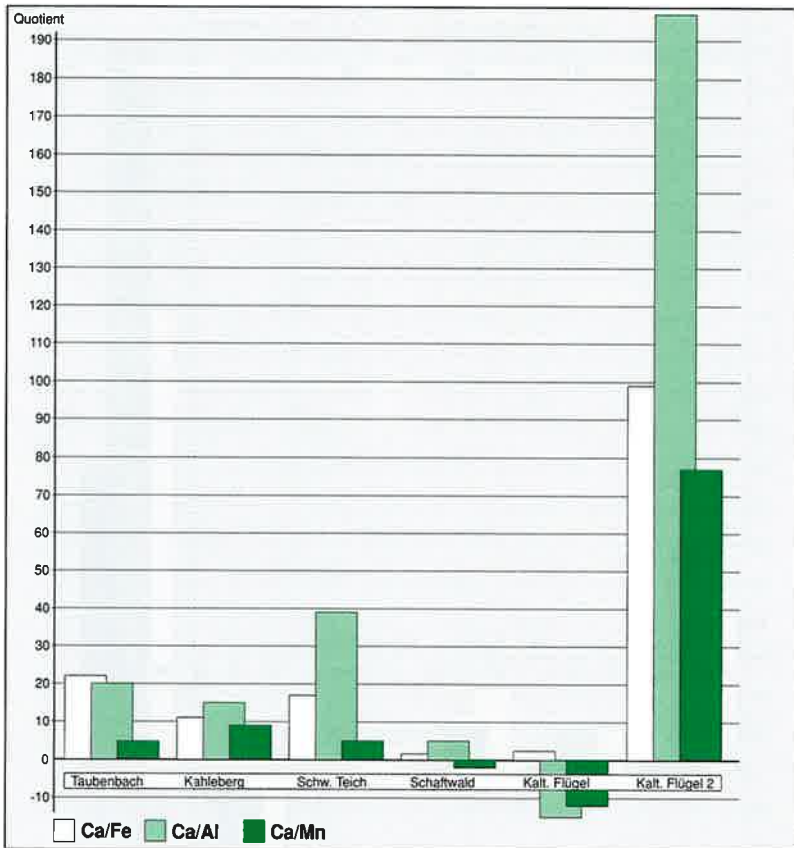


Abb. 18: Veränderungen kalziumbezogener Fe-, Al- und Mn-Quotienten in den akkumulierten Elementvorräten (Reisig und Derbholz) der 10-jährigen Mischbestände 1996 nach Bodenbearbeitung und Kalkung im Vergleich zu alleiniger Bodenbearbeitung (= 0-Linie)

Die über zehn Jahre akkumulierten Stoffumsätze im Derbholz und im Reisig der Gehölze integrieren die bisherige Entwicklung der neu etablierten Ökosysteme (vgl. Abb. 18, Tab. 35) und stützen die Aussagen für die jährlichen Streuumsätze.

Sowohl die Verhältniszahlen als auch die absoluten Werte belegen, dass auf der Kalkvariante der Versuche Schwarzer Teich, Taubenbach und Kahleberg von der Vegetation vergleichsweise mehr Erdalkalien als Aluminium, Eisen und Mangan aufgenommen wurden. Für sie und die geschobene Kalk-Teilfläche im Versuch Kaltenbrunner Flügel gilt gemeinsam, dass sich dort ein hoher Salweidenbesatz angesiedelt hat.

Für eine waldbaulich-ökologische Bewertung der untersuchten Baumarten auf den Erzgebirgsstandorten gelten zwei Kriterien:

- Beim Kriterium der **Stabilität** sind neben den allgemein anerkannten Grundsätzen der standörtlichen Angepasstheit autochthoner Herkünfte die Überlebensfähigkeit unter SO₂-Belastungen, die Säuretoleranz sowie der Nährstoff- und Kalkungsbedarf zu betrachten.
- Beim Kriterium der **Bodenpfleglichkeit** sind die Qualität und Quantität der anfallenden Streu, die Beeinflussung der Bodenvegetation, die Wahrung des Bestandesinnenklimas und die Wurzelarbeit bedeutsam.

Die Stabilität der Baumarten lässt sich aus den ertragskundlichen Ergebnissen interpretieren. Baumarten, die mit höheren Pflanzenzahlen und besserem Wachstum positiv auf die Kalkungen reagieren, haben hohe Ansprüche an die Basenausstattung der Böden. Dies ist zum Beispiel bei der Rotbuche der Fall. Die Traubeneiche und die Lärchen, die auf den gekalkten Flächen ein mehr oder weniger unverändertes Wachstum zeigen, scheinen mit den derzeitigen Ausgangsbedingungen dagegen relativ gut auszukommen.

Die anspruchslose Eberesche vermehrt sich auch ohne vorhergehende Kalkung. Demgegenüber ist die natürliche Ansamung von Salweide und Aspe **zwingend** an eine Kalkung des freigelegten Mineralbodens gebunden. Diese beiden edaphisch anspruchsvollen Baumarten sind auf den gekalkten Flächen sehr wüchsig, die Salweide beweist ihre Vitalität darüber hinaus durch ein hohes Stockausschlagvermögen.

Aus den in Tab. 36 dargelegten Kriterien lässt sich folgern, dass mit der Europäischen Lärche in den extrem SO₂-belasteten Rauchschatzgebieten des Erzgebirges auch ohne Kalkung relativ stabile Forst-

Tab. 36: Reaktionen der Baumarten auf die meliorativen Kalkungen im Untersuchungsgebiet

++ deutlich positiv
+ positiv
o unverändert
- negativ
+/- differenziert

	Natürliche Ansamung	Pflanzenzahlen [n/ha]	Höhenwachstum	Bildung von Trockenmasse	Bemerkungen zur Stabilität
Salweide	++	++	+	++	
Birke	+	+	+	+	bruchgefährdet,
Aspe	++	+	+	+	jedoch gute
Eberesche	(?)	+	-	-	Regeneration
Rotbuche	o	++	++/-	+	spätfrostgefährdet
Traubeneiche	o	-	+	-	spätfrostgefährdet
Europ. Lärche	o	-/+	-/+	-/+	bruchgefährdet, jedoch gute
Jap. Lärche	o	+	+	+/-	Regeneration
Gem. Fichte	o	-	+	-	SO ₂ -gefährdet

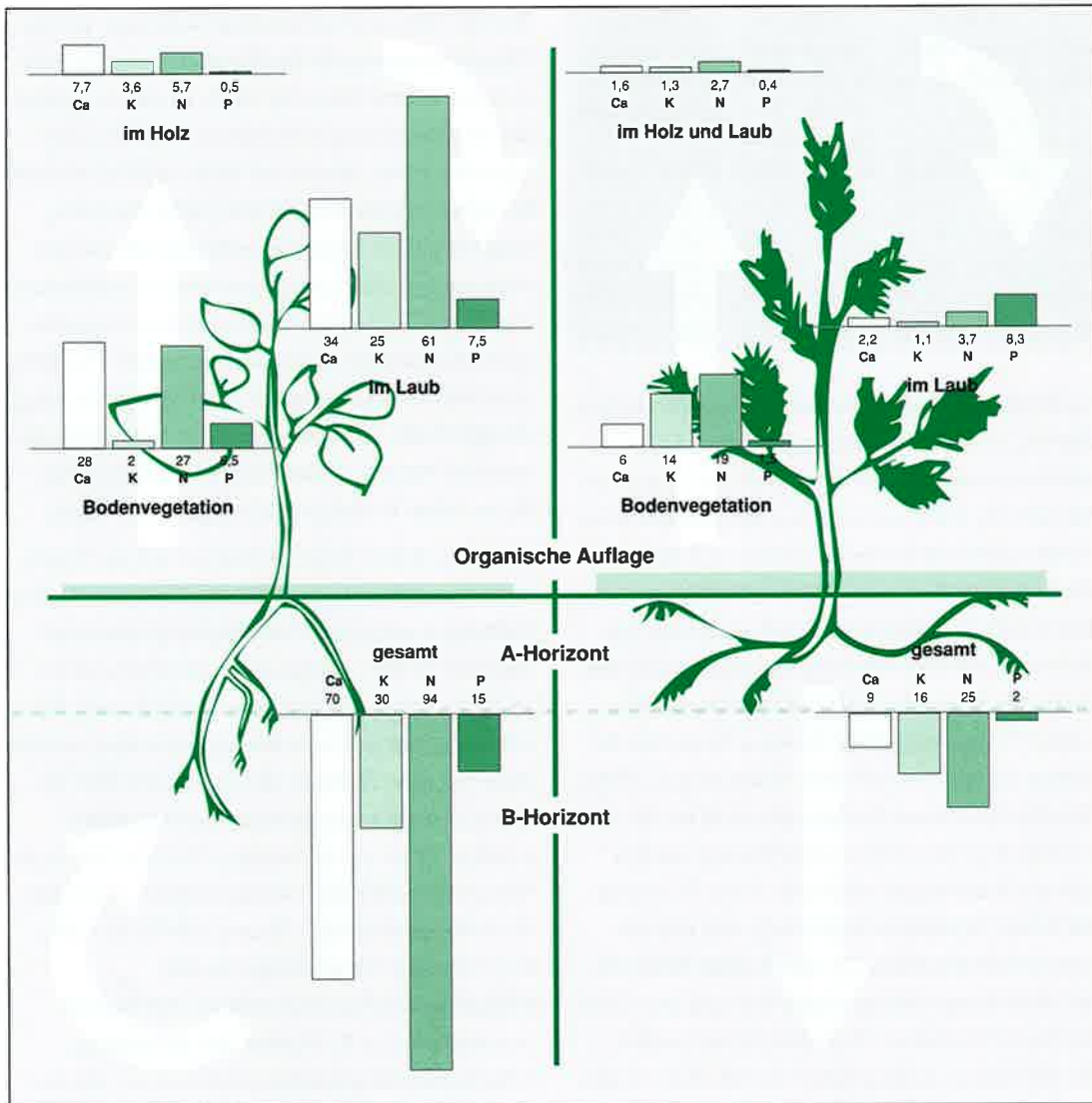


Abb. 19: Schematischer Vergleich der Stoffkreisläufe unter Salweide (links) und Fichte (rechts) anhand von Untersuchungen in 10-jährigen Mischbeständen auf meliorierten Standorten des Erz- und Elbsandsteingebirges (Massen in kg/ha*a)

Ökosysteme aufgebaut werden können. In den Unteren Berglagen kann der Anbau von Traubeneiche uneingeschränkt empfohlen werden, während bei der Rotbuche auf tiefgründig versauerten Standorten Einschränkungen akzeptiert werden müssen (ROST-SIEBERT 1985). Von den Weich-Laubbäumen sind die Eberesche und die Birke als relativ stabil anzusehen. Auch über die Aufforstung mit Aspen (ALFERI und POSPISIL 1990) und Weiden (STĚPÁNEK und ÚRADNICEK 1990) liegen bereits positive Erfahrungen vor. Der Anbau von Fichte dagegen birgt derzeit noch immer Risiken (NEBE 1994).

Eine durchgreifende und langfristig wirksame Verbesserung des Austauscherpotenzials im Boden ist eher über humuspflegerische Maßnahmen als über Veränderungen im Tonmineralbestand zu erwarten (DORAN 1992). Dies wird auch beim Vergleich der Austauschkapazitäten mineralischer und organischer Austauscher deutlich (vgl. Tab. 37). Der biologischen

Waldbodenrestauration unter Ausnutzung ökosystem-eigener Prozesse kommt damit eine maßgebliche Bedeutung zu.

Die Abb. 19 stellt die ökologischen Wirkungen der Weich-Laubbäume während der untersuchten Aufwuchsphase vereinfacht dar. Grundlage ist der Vergleich zwischen der Fichte auf nichtmelioriertem Standort und der Salweide auf melioriertem Standort. Die Salweide samte sich auf ungekalkten Flächen nicht an, auf gekalkten Flächen entwickelte sie dagegen einen flächendeckenden Aufwuchs mit intensivem, stark verzweigtem Wurzelsystem. Die Salweide reagierte somit auf die Melioration am effektivsten.

Mineralische und organische Austauscher			
Tonminerale	[mval/100g]	Humusstoffe	[mval/100g]
Kaolinite	5– 15	Huminstoffe	200–500
Illite	20– 50		
Vermiculite	100–150		

Tab. 37: Vergleich der Austauschkapazität mineralischer und organischer Austauscher (BLUM und SCHRÖDER 1992)

Parzellen	stark geschädigt (50–100 % braun)		mäßig geschädigt (25–49 % braun)		schwach geschädigt (0 bis 24 % braun und Leittrieb ungeschädigt)		Spätreiber (noch nicht ausgetrieben und ungeschädigt)	
	absolut	Prozent	absolut	Prozent	absolut	Prozent	absolut	Prozent
Kontrolle	69	53 %	36	28 %	6	4 %	19	14 %
Mergel	127	73 %	19	11 %	3	2 %	26	15 %
Mergel+KSP	128	72 %	31	17 %	1	1 %	18	10 %
Mergel+KCl+SP	109	66 %	32	20 %	2	1 %	20	12 %
Summe	433	66,1 %	119	19,0 %	12	2,0 %	83	12,9 %

Tab. 38:
Schäden an der Rotbuche im Versuch Kahleberg durch Spätfrost am 24./25. Mai 1997

Sie bezieht erhebliche Mengen der zugeführten Erdalkalien, aber auch von mineralisierten und deponierten Elementen in die Stoffkreisläufe ein. Diese werden über die leicht zersetzbare, kalziumreiche Streu relativ schnell wieder bodenwirksam und puffern die immissionsbedingten Protoneneinträge zumindest teilweise ab. Die dichte Durchwurzelung des Bodens ist mit einer Anreicherung organischen Materials aus abgestorbenen Feinwurzeln verbunden, welche die humusbedingte Austauschkapazität des Bodens erhöht (WITTICH 1948; KÖSTLER et al. 1968). Daneben beeinflusst die Salweide nicht nur die chemischen Eigenschaften des Oberbodens sondern auch die Bodenvegetation positiv. Unter Beständen mit hohen Salweide-Anteilen stellt sich eine anspruchsvolle Krautflora ein, die ebenfalls beträchtliche Nährelement-Mengen aufnimmt und diese über eine leicht zersetzbare Streu dem Boden zuführt. Die Verluste an austauschbaren Erdalkalien werden so durch die verstärkte Pufferung eingetragener Protonen und durch die erhöhte Austauschkapazität der humosen Oberböden minimiert.

Tab. 39:
Ergebnisse der Zeigerwertanalysen zur Bodenvegetation (ELLENBERG et al. 1991) auf den Kontroll- und Kalkflächen in den 10-jährigen Mischbeständen

Demgegenüber bildet die Fichte auf den extrem versauerten Standorten ein flaches Wurzelsystem aus (KRAUSS et al. 1934; ROST-SIEBERT 1985; EBBEN 1990;

WIEDEY 1991) und bezieht vergleichsweise geringe Elementmassen in die Stoffkreisläufe ein. Die relativ kalziumarme Streu der Fichte ist schwer zersetzbar, woraus auf sauren Standorten Rohhumusauf-lagen entstehen, die von der Fichte mit Feinwurzeln bevorzugt erschlossen werden. Darin sind hohe, langfristig nicht bodenwirksame Kalziummengen eingebunden. Unter den gegenwärtigen Immissions- und Depositions-Bedingungen hat dieser unterbrochene Kalziumkreislauf unter Fichte eine beschleunigte Bodenversauerung zur Folge. Die Absenkung des pH-Wertes im Oberboden führt zu Verlusten an austauschbaren Kalzium- und Magnesium-Ionen, die in tiefere Bodenhorizonte abgeführt werden.

Salweide, andere Weichlaubebäume und die Bodenvegetation untersetzen damit die Ziele meliorativer Kalkungen auf versauerten Erzgebirgsstandorten maßgeblich. Die verschiedenen Ansprüche an die forstliche Kultur, wie eine hohe Stabilität, hohe Wertschöpfung und eine hohe Bodenpfleglichkeit werden nicht von einer Baumart allein optimal erfüllt. Es lässt sich jedoch eine optimale Artendiversität schaffen, wenn in Anlehnung an HEUSON (1947a, b) baumartenspezifische Nutzungsansprüche miteinander kombiniert werden. HEUSON (1947a, b) stellte dazu folgende 3 Artenkategorien auf:

- **Pflegebaumarten** (Bodenschutz und Humusanreicherung, z. B. Weiden- und Erlenarten),
- **Vornutzungsbaumarten** (Bodenschutz, Humusanreicherung, Vorwaldfunktionen und Nutzholzgewinnung, z. B. Aspe und Lärchenarten),
- **Endbestandsbaumarten** (Wertschöpfung der Bestände, z. B. Buche, Eiche).

Versuch	Kahleberg		Schwarzer Teich		Kaltenbrunner Flügel		Schaftwald				Taubenbach		
	Kontrolle	Kalk	Kontrolle	Kalk	Kontrolle	Kalk	Kontrolle	Kalk +KSP	Kalk+ SP+KCl	Kalk	Kontrolle	Mergel	Splitt
Artenanzahl	7	7	5	8	4	6	3	4	3	4	3	10	8
Flächendeckungsprozente der Artengruppen													
Zwergsträucher	47 %	5 %	3 %		19 %	12 %						2 %	2 %
Gräser	52 %	88 %	79 %	62 %	74 %	56 %	77 %	91 %	84 %	68 %	98 %	84 %	95 %
Kräuter				38 %		13 %		2 %	2 %	30 %		12 %	1 %
Farne							23 %	7 %	14 %	2 %	2 %		2 %
Moose	1 %	7 %	18 %		7 %	20 %						2 %	
Summe	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
Ökologische Wertzahlen													
(ungewichtet) F	7,25	7,25	5,00	5,83	6,50	5,50	6,00	6,00	6,00	5,67	6,00	5,57	5,60
R	1,88	2,00	1,88	4,80	2,00	3,17	2,33	2,33	2,50	3,33	2,33	3,60	3,38
N	2,20	2,50	2,50	6,25	2,67	2,60	2,67	3,50	3,67	4,75	2,67	3,63	3,71

Auf den meliorierten Flächen entwickelten sich durch die zusätzlich angesamten Weich-Laubbäume stabilere Waldökosysteme als auf den Kontrollvarianten. Der Zugewinn an **Stabilität** erklärt sich **durch** eine höhere **Elastizität** des Ökosystems (OTTO 1994).

Nach Störungen infolge von Schneebrüchen oder ähnlichen Ereignissen trat eine schnelle Regeneration ein. In den Kammlagen übernahmen die Weich-Laubbäume Funktionen eines Vorwaldes, in dessen Schutz sich die Rotbuchen entwickeln können (SCHINDLER 1992). Bei dem extremen Spätfrostereignis des 24./25. Mai 1997 reichte der Strahlungsschutz des Weich-Laubholz-Schirmes im Versuch Kahleberg (860 m ü. NN) jedoch nicht aus, um temporäre Frostschäden an der zu diesem Zeitpunkt austreibenden Rotbuche zu verhindern (vgl. Tab. 38).

Insgesamt wurden etwa 85 % der Buchen deutlich (= stark und mäßig) geschädigt. Der Anteil starker Schäden war auf den gekalkten Flächen in absoluten und prozentualen Zahlen deutlich höher als auf den Kontrollparzellen. Die Zahl der spätreibenden und deshalb schwach geschädigten Buchen unterscheidet sich jedoch auf den gekalkten und nicht gekalkten Flächen nur unwesentlich. Trotz starker akuter Frostschäden fiel die Buche auf dem Kammlagen-Standort nicht aus und regenerierte sich wieder. In den Unteren Berglagen (Versuch Schaftwald, 500 m ü. NN) wurden Rotbuchen auch durch eine reihenweise Mischung mit Lärche wirkungsvoll gegenüber Spätfrost geschützt.

Die pflanzensoziologische Auswertung der Bodenvegetation zeigt insgesamt positive Standortveränderungen an (vgl. Tab. 39). Die **Reaktionszahlen (R)** sind auf den gekalkten Flächen höher als auf den Kontrollflächen. Der Effekt ist im Versuch Schaftwald gering, in den Versuchen Schwarzer Teich und Taubenbach relativ deutlich. Ebenso sind die **Stickstoffzahlen (N)** auf den gekalkten Flächen in der Regel höher als auf den Kontrollflächen. Dies gilt vor allem für die Versuche Schwarzer Teich, Taubenbach und Schaftwald.

Die **Feuchtezahlen (F)** der Kontroll- und Kalkflächen unterscheiden sich nur marginal. Der Standort Kahleberg in den Kammlagen ist mit $F = 7,25$ erwartungsgemäß am feuchtesten. Die Feuchtezahlen für die Kontrollflächen der Versuche Kaltenbrunner Flügel, Schaftwald und Taubenbach sind annähernd gleich und kennzeichnen mit 6,0–6,5 mäßig frische Standorte.

In den Versuchen Schwarzer Teich und Taubenbach sind die kalkungsbedingten Unterschiede bei den **ökologischen Wertzahlen** besonders hoch. Sie zeigen deutliche Verbesserungen der Basensättigung und der Stickstoffausstattung auf den gekalkten Flächen an und bestätigen die oben dargelegten quantitativen und qualitativen Veränderungen der Stoff-Flüsse.

Durch die stärkere Beschattung des Bodens beeinflussen die Weich-Laubbäume das Bestandesinnenklima, sodass die Vergrasung weitgehend gebremst verläuft und andererseits eine rasche Humifizierung der Bestandesstreu gefördert wird. Der Rückgang der Reitgräser auf den gekalkten Flächen ist eine Folge ihrer stärkeren Beschattung durch die Weich-Laubbäume (KOPPISCH 1994), während das stärkere Auftreten von Kräutern auf die Kalkung zurückzuführen ist. Mit dem Rückgang der Gräser und des Adlerfarns kann ferner eine geringere Verfilzung (LUX 1956; HÖHNE 1958) der organischen Auflage erwartet werden.

Im Versuch Schwarzer Teich ist nach dem meliorativen Eingriff ein vollkommener Wechsel der dominierenden Bodenpflanzen-Arten zugunsten der Kräuter eingetreten. Auf den gekalkten Flächen der Versuche Taubenbach und Schaftwald haben die Anteile von Himbeere zulasten von Adlerfarn zugenommen.

Die nach meliorativer Kalkung entstandenen Mischbestände aus Zielbaumarten und Weich-Laubbäumen der natürlichen Sukzession erfüllen die Forderung nach einer hohen ökologischen Nachhaltigkeit für die neue Waldgeneration. In ihnen bildet sich rasch ein ausgeglichenes Bestandesinnenklima aus, sie durchwurzeln den Boden vielschichtig und intensiv. Ihre Streu ist nährstoffreicher und leichter mineralisierbar als die einer einzelnen Zielbaumart. Damit werden die Stoff-Flüsse zumindest mittelfristig angeregt, das Angebot an pflanzenverfügbaren Nährstoffen erhöht und durch den Einbau in Biomasse vor Auswaschungsverlusten bewahrt. Das Ökosystem wird so insgesamt gegen Immissions- und Witterungsbelastungen stabilisiert.

6 Vorschläge für den meliorativen Waldumbau von Freiflächen

Forschungsansätze zur Klärung der Ursachen komplexer Waldschäden rückten verstärkt den Boden in den Mittelpunkt (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG 1996). Allgemein anerkannt sind im Untersuchungsgebiet der Eintrag von Protonen und Säure-Anionen, die Verdrängung basischer Kationen vom Austauschkomplex bis hin zu einer Basensättigung im Oberboden unter 5 %, eine zunehmende Gefährdung des Quell- und Grundwassers, eine Stickstoffanreicherung sowie Ernährungsdisharmonien.

Wesentliche Unterschiede bestehen in den Auffassungen zum Zeitaspekt und zur standörtlichen Differenzierung sowie zum räumlichen Fortschritt der Versauerung, wobei insbesondere der Anteil anthropogener Säurequellen und der natürlichen Versauerung in bodengeologischen Zeiträumen kontrovers diskutiert werden.

Die Notwendigkeit zur Aufforstung der immissionsbedingt entstandenen Freiflächen ergibt sich aus dem Sächsischen Waldgesetz (SML 1992). Sie erfolgt mit Zielsetzungen, die einer **Rekultivierung** (WOLF et al. 1992) vergleichbar sind:

- Standortsstabilisierung durch Laubmischwald,
- Wirtschaftlichkeit durch Stabilität der Bestände und Produktion hochwertiger Holzsortimente,
- Gestaltung einer Erholungslandschaft,
- Schutz extremer Landschaften und Ökosysteme

Angesichts der Ausgangssituation des Wald- und Bodenzustandes im Untersuchungsgebiet Mitte der 80er-Jahre sowie einer unter den damaligen politischen Verhältnissen zumindest mittelfristig nicht erkennbaren Immissionsminderung bot sich bei Anlage der Versuche eine flächige meliorative Kalkung der extrem versauerten Standorte als Voraussetzung für den Aufbau standortgerechter Mischbestockungen aus heimischen Baumarten an. Mit einer flächigen Bodenbearbeitung und Kalkung lassen sich die chemischen Bedingungen der Oberböden auf der gesamten Fläche verbessern (GLATZEL 1987). Allerdings bergen solche Eingriffe grundsätzlich auch die Gefahr eines verstärkten Humusabbaus mit Verlusten an Nährstoffen und Speicherkapazität für Nährstoffe und Wasser in sich. Sie sind jedoch unverzichtbar, wenn das forstliche Nachhaltigkeitsprinzip

durchgesetzt werden soll, das dem Grundsatz der Systemerhaltung folgt (KURTH 1993). In der Praxis müssen deshalb bestimmte Rahmenbedingungen (BLOCK et al. 1997) beachtet werden. Ort, Zeitpunkt und Ausmaß der Meliorationsmaßnahmen sind anhand der Gesichtspunkte zur „**Ökologischen Nachhaltigkeit**“ nach THOMAS (1991) als übergreifende Kategorie der Systemstabilität und elementare Voraussetzung der Nachhaltigkeit abzuwägen. Das schließt eine Standortsbezogenheit der chemisch-technischen Restaurationsmaßnahmen ein, die Risiken in Form von Bodenverdichtung, Verlusten an Humus und kleinräumiger Standortdiversität minimiert. Dies beinhaltet auch, die Leistungskraft der Standorte mit den Meliorationsmaßnahmen nicht über die natürliche Ausstattung hinaus aufzuwerten (NEBE und LEUBE 1995).

Nach SCHÜLER und BUTZ-BRAUN (1997) bringen geringere Mengen als 3 t/ha dolomitischer Kalke nur vorübergehende Effekte. Um die Al- und Fe-Ionen Kationen in den Zwischenschichten der Tonminerale gegen Erdalkali-Ionen auszutauschen, müssen bei Bodenschutzkalkungen nach SCHÜLER und BUTZ-BRAUN (1997) bis zu 15 t/ha Dolomit auf die Bodenoberfläche ausgebracht werden. Bei flächigen meliorativen Kalkungen sind in den Hoch- und Kamm-lagen nach MARX (1997) 7 bis 10 t/ha Kalkmergel einzusetzen, in den stärker löss-beeinflussten Berg-lagen 4 bis 7 t/ha. Höhere Mengen (12–16 t/ha) an größerem Kalksplitt, die mit einer Scheibenegge in den Oberboden eingearbeitet werden, lassen eine vergleichsweise langfristige Wirkung erwarten.

Die dolomitischen Kalke sollten auf den freigelegten Mineralboden ausgestreut und zumindest oberflächlich (z. B. mit einer Egge) eingearbeitet werden, vorteilhafter ist ihre 20–30 cm tiefe Vermischung mit dem Boden unmittelbar bei dessen Bearbeitung. Vordergründiges Ziel der meliorativen Kalkung ist es, den pH-Wert im Oberboden auf über 4,2 anzuheben, Aluminium-Ionen festzulegen und seine Erdalkalisättigung auf etwa 20 % zu erhöhen. Dadurch werden allerdings auch die mikrobielle Aktivität und Nitrifikation gefördert. Nach MAI (unveröffentlicht) entstehen trotzdem keine nennenswerten N-Auswa-

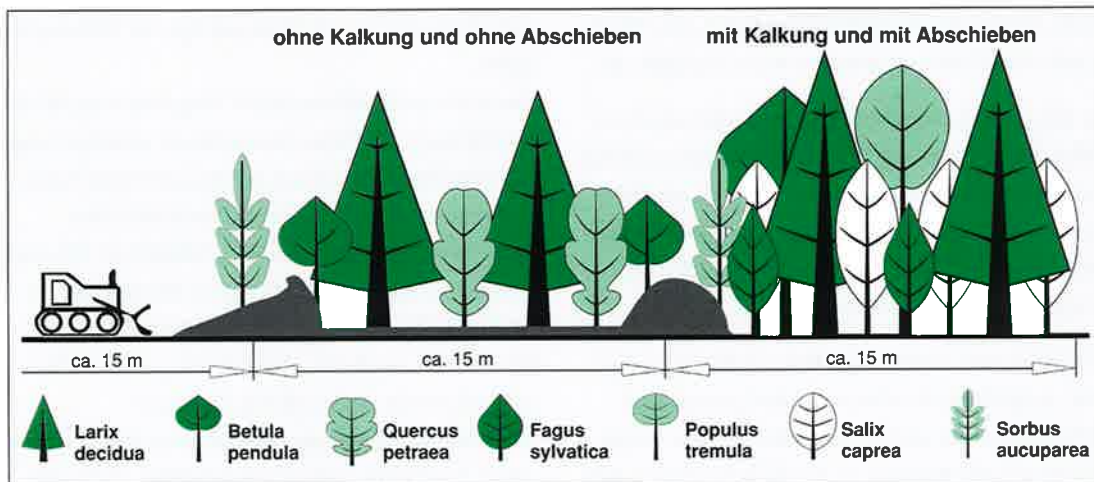


Abb. 20:
Schema des meliorativen Umbaus auf immissionsgeschädigten Freiflächen

schungsverluste, da nach dem Abschieben der organischen Auflage und des Grasfilzes kaum noch Substanz für die Nitrifikation zur Verfügung steht. Die Stickstoffernährung anspruchsvollerer Arten kann auf den geschobenen Flächen sogar angespannt sein, wie das Beispiel der Buche am Kahleberg zeigt (GEMBALLA und SCHRADER 1995).

Eine ergänzende PK-Düngung in anionarmer Bindungsform (Kalisinterphosphat) wirkt sich positiv auf die Ernährung der Laubbäume aus, ist jedoch nicht unbedingt erforderlich (NEBE et al. 1995).

Eine Möglichkeit, **weiträumige** Schadflächen ökologisch verträglich und kostengünstig umzuwandeln, ist ein streifenweises Abschieben der Humusaufgaben auf etwa 10–20 m Arbeitsbreite entlang der Höhenlinien (POLENO 1994) bzw. quer zur Hauptwindrichtung (vgl. Abb. 20) und eine nachfolgende Kalkung. Dies muss mit bodenschonender Technik so erfolgen, dass der A_n -Horizont erhalten bleibt.

In den Kammlagen – und nur dort – ist ein Abbrennen der Freiflächen als ökologisch verträglichere Alternative zum Abschieben der organischen Auflage anzusehen. Da die Wärme des Feuers nicht tief in den Mineralboden vordringt, kann so eine Verarmung der Bodenfauna (LA FRANCE und ROTH 1998) vermieden werden. Die anfallenden Aschen würden die Flächen gleichzeitig düngen (ASCHE und NOLTE 1997). Das Abbrennen setzt jedoch eine genügende Austrocknung der Humusaufgabe und entsprechende Erfahrungen voraus (VIRO 1969; GOLDAMMER 1983).

Die **Baumartenauswahl** ist im Erzgebirge klima- und immissionsbedingt stark eingeschränkt. Für die Aufforstung der immissionsgeschädigten Flächen haben sich Europäische Lärche, Rotbuche und Traubeneiche bewährt, nicht jedoch der Bergahorn.

Nach meliorativer Bodenbearbeitung ist mit einem massenhaften Ansamen von Salweide, aber auch Aspe und Birke zu rechnen. Auf den unbearbeiteten Flächen stellt sich nach längerer Zeit eine spärliche Bestockung von Birke und Eberesche ein.

Die o. g. Baumarten, zu denen in den Unteren Berglagen auch die Winterlinde zählt, lassen sich gut miteinander kombinieren. Die Weich-Laubbäume, vor allem die Salweiden, produzieren große Mengen gut zersetzbarer Streu, bilden gemeinsam mit der Lärche rasch ein eigenes Bestandesinnenklima aus und mindern als Vorwald das Frostrisiko für Rotbuche und Traubeneiche. Dies ist wichtig, da beide Hart-Laubbäume spätfrostgefährdet sind (SCHINDLER, 1993). Ihre reihenweise Mischung mit Lärche erwies sich dafür gleichfalls ökologisch als effektiv, bewirtschaftungsmäßig allerdings als problematisch.

Lärche und Rotbuche bilden in den Oberen Berglagen des Erzgebirges den Endbestand. Beide Hauptbaumarten beeinflussen sich aufgrund ihrer ökologischen Verhaltensweisen positiv und erreichen in Mischung eine höhere Volumen- und Wertleistung als im Reinbestand (DIPPEL 1989). Aspe und Birke sind sowohl ökologisch als auch ertragskundlich interessant.

Auf den meliorierten Arbeitsstreifen richtet sich die Baumartenauswahl nach den Höhenstufen. In den Hoch- und Kammlagen sollte Sudetenlärche und Rotbuche reihenweise gemischt werden. Ein natürliches Ansamen der Salweide, Aspe und Birke ist zu erwarten. Wenn nach örtlichen Erfahrungen ausreichender Weich-Laubbaum-Anflug entsteht, kann der Lärchenanbau auf die Südwestseite der Arbeitsstreifen beschränkt bleiben bzw. ganz ausfallen.

In den Unteren und Mittleren Berglagen sind nach Melioration Pflanzungen mit Rotbuche, Trauben-

eiche, Hainbuche und Winterlinde möglich. Die Weich-Laubbäume kommen normalerweise reichlich an.

In den nicht meliorierten Arbeitsstreifen samen in allen Höhenstufen auf Wällen Eberesche und Birke ausreichend an. Außerhalb der Wälle ist mit Hilfe von Pflanzlochtechnologien ggf. auch ohne zusätzliche Kalkung der Anbau der Hybridlärche, Sude-tenlärche und Eberesche möglich.

Die Pflanzung standortsgemäßer Fichtenprovenienzen an Stelle der Lärche ist in den Unteren und Mittleren Lagen uneingeschränkt möglich. In den Hoch- und Kammlagen ist der Fichtenanbau in Verbindung mit dem meliorativen Waldumbau auf Freiflächen aus Sicht der Verfasser noch immer riskant, weil die Fichte sicher Schutzfunktionen für die Ziel-Laubbäume übernehmen muss. Das flächige Absterben der Fichte im Winter 1995/96 wurde primär durch überhöhte Schwefel-Nadelspiegelwerte ausgelöst. Sie lagen in den Forstämtern Altenberg und Bärenfels mit Werten um 2 mg S/kg TM in den 1-jährigen Nadeln etwa doppelt so hoch wie in Reinluftgebieten, und vor allem die älteren Nadeln hatten im Vergleich zu den 1-jährigen Nadeln mit Werten um 2,5 mg S/kg TM überhöhte Schwefelgehalte (NEBE 1997). Seit 1996 sind in den genannten Forstämtern die Nadelspiegelwerte weiter abgesunken auf 1,7 (1997) und 1,6 mg S/kg TM (1998) in den 1-jährigen bzw. 2,3 und 2,2 mg S/kg TM in den 3-jährigen Nadeln. Damit wird auch nach STEFAN (1987) in beiden Nadeljahrgängen der Schwellenwert für das gefährdungsfreie Fichtenwachstum noch überschritten. In nächster Zeit wird die S-Belastung zweifellos weiter absinken. Der Zeitpunkt für einen risikofreien Anbau der Fichte sollte mit Hilfe des nadelanalytischen Monitorings auf den Dauerbeobachtungsflächen der LAF Graupa nach regionalen Gesichtspunkten festgelegt werden. Er ist im Westerzgebir-

ge bereits erreicht, im Osterzgebirge bis 1998 noch nicht.

Durch ein solch differenziertes Vorgehen beim Waldumbau lassen sich Sukzessionsabläufe ausnützen und schadbedingte Freiflächen in Immissionsbelastungs-Gebieten durch Mischkulturen aus heimischen standortsgerechten Baumarten strukturieren. Sie sind boden- und humuspflöglich, lassen Holzerträge erwarten und verringern durch ihre Artenvielfalt die Risiken, die aus Immissionsbelastungen und Witterungsextremen drohen (Risikostreuung).

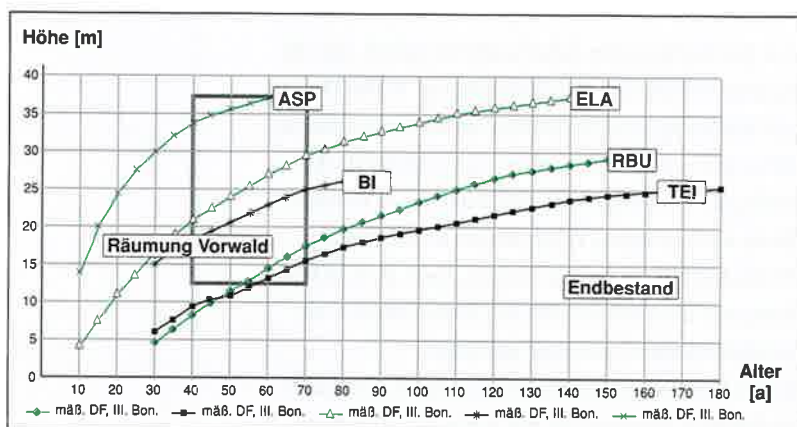
Um Naturschutzbelange gebührend zu berücksichtigen (LÖBF 1993), sollten örtlich Blößen als Sonderbiotope für existenzbedrohte Populationen an Pflanzen- und Tierarten, wie z. B. das Birkhuhn (KRÜGER mdl. Mitteilung), von Meliorationen und Aufforstungen unberührt bleiben.

Aus den ertragskundlichen Ergebnissen folgt, dass die Weich-Laubbäume trotz ihrer hohen Pflanzenzahlen keine verdrängende Wirkung auf die Hauptbaumarten Europäische Lärche, Rotbuche und Traubeneiche ausüben.

Die Salweide bleibt im angehenden Stangenholz konkurrenzschwach und wird von den sie überwachsenden Baumarten rasch ausgedunkelt. Aspe und Birke übernehmen schon einige Jahre nach Begründung der Kultur Vorwaldfunktionen und lassen mit ihren lichtdurchlässigen Kronen genügend Raum für die Rotbuche und Traubeneiche.

Die Weich-Laubbäume müssen erst geräumt werden, wenn die Hauptbaumarten in den Kronenraum einzuwachsen beginnen. Dies ist im Alter von 40 bis 70 Jahren zu erwarten (vgl. Abb. 21). Im Zuge dieser Vorwald-Räumung sind die Traubeneichen-Buchen-Mischbestände zu durchforsten, bevor sie in die Phase der Vorratsanreicherung hineinwachsen (EISENHAEUER 1992; BURSCHEL und HUSS 1997).

Abb. 21:
Entwicklung der
Mittelhöhen von
Baumarten der melio-
rativ begründeten
Mischbestände nach
SCHÖBER (1975)



Die in dieser Arbeit mitgeteilten Ergebnisse stammen aus Mischbeständen, die sich auf meliorierten Freiflächen im Erz- und Elbsandsteingebirge entwickelten. Folgerichtig zielen die waldbaulichen Folgerungen und Vorschläge zunächst unmittelbar auf Freiflächen ab. Sie können auch zukünftig als Folge unterschiedlichster Schadereignisse entstehen. Die sächsischen Waldbaurichtlinien verfolgen grundsätzlich auf eine weitgehend kahlschlaglose Bewirtschaftung und einen Waldumbau unter Schirm über Voranbaumaßnahmen (SMUL 1999). Auch für diese – gegenüber dem Zeitpunkt der Versuchsflächenan-

lage veränderten forstlichen Zielstellung – besitzen die Untersuchungsergebnisse praxisrelevanten Erkenntniswert. Die Weich-Laubhölzer vermögen in einem von den anderen Baumarten nicht erreichten Maße, die durch Bodenbearbeitung und Kalkung eingeleitete Melioration extrem saurer und basenarmer Standorte biologisch langfristig zu stabilisieren und die Stoffkreisläufe zu aktivieren. Damit kommt ihnen ganz allgemein beim Waldumbau eine ökologische Schlüsselfunktion zu, die der ehemali-

gen Bewertung als „Forstunkraut“ diametral entgegengesetzt ist. Folgerichtig ist ihr Ankommen, ihre Entwicklung und ihre Einbeziehung in neue Bestandesstrukturen tunlichst zu fördern, was ein Umdenken und neue Erfahrungen in der Bestandesbehandlung erfordert sowie eine Beschränkung der Wilddichte zwingend einschließt (SMUL 1998). Die Weich-Laubbäume sind zwar hinsichtlich des später realisierbaren Holzertrages „Neben- bzw. Begleitbaumarten“, ökologisch aber „Hauptbaumarten“.

7 Zusammenfassung

Für fünf Mischbestände auf Meliorationsversuchen, die 1984/85 in Immissionssschadgebieten des Erzgebirges angelegt worden sind, wurden die oberirdischen Phytomassen und die darin enthaltenen Mineralstoffmengen erhoben. Anhand der Untersuchungsergebnisse werden die ökologischen Wirkungen der Vegetation auf den Standort diskutiert, die sich aus dem unterschiedlichen Baumartenspektrum und der daraus resultierenden selektiven Aufnahme von Mineralstoffen ergeben.

Aufgrund der standörtlichen und immissionsbedingten Extreme ist das **Artenspektrum** der Vegetation stark eingeschränkt. Die Leitgesellschaften der potenziell natürlichen Waldgesellschaften sind in den Unteren Berglagen der Traubeneichen-Buchenwald (*Melampyro-Fagetum*), in den Höheren Berglagen der Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo-Fagetum*) und in den exponierten Hoch- und Kammlagen kleinflächig hochmontane Fichtenwälder (*Fago- und Verticic-Piceeten*).

Von den gepflanzten Zielbaumarten haben sich die Europäische Lärche (*Larix decidua*), die Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und die Traubeneiche (*Quercus petraea*) bewährt. Der Anbau der Fichte (*Picea abies*) ist unter gegenwärtigen SO₂-Immissionsbedingungen in den Hoch- und Kammlagen noch immer riskant (NEBE 1997).

Die Kalkung der freigelegten Mineralböden hatte eine starke Ansammlung der Weich-Laubbaumarten Salweide (*Salix caprea*), Aspe (*Populus tremula*)

und Birke (*Betula pendula*) zur Folge, die das Artenspektrum erweiterten.

Die **oberirdische Brutto-Primärproduktion** liegt auf den 10-jährigen Versuchsflächen zwischen 7,8 und 36,5 t Trockenmasse/ha (OTM/ha). In der Regel ist sie nach Kalkung höher als auf den Kontrollflächen. Neben den Lärchenarten bildet die Salweide aufgrund ihrer hohen Pflanzenzahlen große Mengen an Phytomasse, gefolgt von den Hart-Laubbaumarten, der Fichte und den übrigen Weich-Laubbaumarten.

Die **jährlichen Mindestumsätze** über das Laub und die Bodenvegetation erreichen in den 10-jährigen Mischbeständen 3,2 bis 6,8 t TM/ha*a und sind im Mittel auf den gekalkten Flächen etwas höher als auf den Kontrollflächen. Die Bodenvegetation hat mit durchschnittlich einem Drittel der jährlichen Mindestumsätze daran einen beträchtlichen Anteil.

Die in der oberirdischen Phytomasse enthaltenen **Nährelement-Mengen** weisen unterschiedliche Verteilungsmuster auf. Stickstoff, Phosphor, Schwefel und Kalium sind nahezu proportional zur gebildeten Trockenmasse enthalten. Die Erdalkalien Kalzium und Magnesium werden bevorzugt von den Weich-Laubbäumen aufgenommen. Etwa die Hälfte der Erdalkalien sind jeweils im Laub der Gehölze enthalten.

Die Spurennährelemente sind im Laub und Reisig in ähnlichen Größenordnungen konzentriert. Aufgrund der höheren Trockenmasse an verholzten Komparti-

menten bilden diese größere Speicher für die Spurenelemente als für die Hauptnährelemente. Beträchtliche Aluminium-Mengen sind in der Bodenvegetation sowie im Reisig und Derbholz der Nadelbaumarten enthalten, nicht jedoch in den Laubbäumen.

Die Unterschiede in den Elementgehalten der Vegetation auf ungekalkten und gekalkten Flächen lassen erkennen, dass nach der meliorativen Kalkung im Boden zumindest teilweise ein **Wechsel vom Aluminium- zum Austauscher-Puffersystem** eingetreten ist. Die Nährelement-Massen trophisch anspruchsvollerer Baumarten spiegeln den Wechsel deutlicher wider als die Bodenvegetation.

Die **Salweide** ist aufgrund ihrer hohen Trockensubstanzbildung und der bevorzugten Erdalkaliaufnahme ein äußerst effektiver Kalzium- und Magnesium-Sammler. Über ihr leicht zersetzbares Laub werden jährlich bis zu 33,8 kg Ca/ha und 9,4 kg Mg/ha umgesetzt. Dies entspricht einer potenziellen Säure-

Neutralisations-Kapazität von 2,5 kmol/Ä/ha*a bzw. einer jährlichen Düngung mit ca. 85 kg CaCO₃ plus 32 kg MgCO₃ je Hektar bzw. einer Gabe von etwa 140 kg/ha kohlensaurem Magnesium-Kalk (85 % CaCO₃*MgCO₃). Dieser Effekt trägt entscheidend zur Pufferung der eingetragenen Säuren bei, er wird von keiner anderen untersuchten Baumart erreicht. Das hohe Nährstoffaneignungsvermögen und ihre hohe Wurzelenergie kennzeichnen die Salweide als eine ausgeprägt bodenpflegliche Pionierbaumart.

Aus den Untersuchungsergebnissen ergibt sich die dringende Notwendigkeit, die Weich-Laubbäume in ein Konzept zur **Restauration** der immissionsgeschädigten Erzgebirgsstandorte einzubeziehen. Nur sie vermögen während der Kultur- und Jungwuchsphase der Bestände, die durch kombinierte Bodenbearbeitung und Kalkung eingeleitete technische Melioration der sauren basenarmen Standorte biologisch langfristig zu stabilisieren.

Summary

Aboveground forest biomass and nutrient quantities on ameliorated by airpollution damaged soils in the mountains of Erzgebirge

At five locations in the mountains of Erzgebirge were laid out experimental plots with ameliorations by liming and soilpreparation in 1984/85. At these plot trials has been ascertained the aboveground biomass and their included nutrient quantities. Based on these results it's possible to discuss ecological effects of different tree species compositions on their sites.

The **spectrum of treespecies** is hardly restricted because of extrem conditions of site, climate and air pollution in the mountains of Erzgebirge. The potencial natural woods in the lower regions of the mountains are forest societies from oak and beech (*Melampyro-Fagetum*), in the higher altitudes regions spruce-forests.

From all tilled treespecies are be proved the Euroean larch (*Larix decidua*), beech (*Fagus sylvatica*) and the oak (*Quercus petraea*). At present conditions of air pollution is an cultivation of spruce (*Picea abies*) attend by risks.

After liming of uncovered mineral soil have been grown countless soft-foilage-trees like sallow (*Salix caprea*), birch (*Betula sp.*) and poplar (*Populus tremula*) which widened the spectrum of treespecies.

The gross production of **forest drymatters** at the ten years old plots amount between 7,8 t/ha and 36,5 t/ha. At the limed plots are in usual higher drymatter productions than without liming. Additional to the larchspecies are the sallows capable of a high drymatter production based on a great number of plants. The least **yearly turnover** of drymatters by minor vegetation and leafs amount between 3,2 and 6,8 t/ha. In normally they are at the limed plots higher than at the control plots. The drymatterproduction of the minor vegetation has with average a third of the least yearly turnover a considerable share on it.

In the aboveground forest biomass have the included **nutrient quantities** different distribution patterns. Nitrogen, sulphur and potassium are contained nearly proportionally to the produced drymatter.

Calcium and magnesium are espacially enriched in the soft-foilage-trees, aluminium in the larchspecies and the minor vegetation. Nearly the half of all nutrient quantities are accumulated in the leafs of the treespecies.

Trace elements are enriched in leafs and brushwood in nearly the same concentrations. Because of higher drymatters they are espacially in the brushwood accumulated. Relatively high masses of aluminium are stored in the minor vegetation and in the woody parts of coniferous trees.

Different nutrient contents in all parts of the aboveground biomass show **changed availabilities of nutrients** after liming. The changed availabilities are characterized by higher cation exchange capacities and fixation of exchangeable aluminium. Facidious treespecies used that changed nutrient availability more than conifers and the minor vegetation.

The **sallow** (*Salix caprea*) is an extremely effectiv accumulator of calcium and magnesium based on high drymatterproduction and high contents. The sallow has a yearly turnover of 33,8 kg Ca/ha and 9,4 kg Mg/ha over her leafs which fasten humifies. This corresponds to a yearly fertilization with 170 kg/ha dolomite respectively a potencial acid-neutralization-capacity of 1,62 kmol IÄ/ha. This important effect contributes to neutralize the acid deposition which amounts for 1996 nearly 0,6-1,9 kmol IÄ/ha/a in the open country (SML 1997). This potencial of the sallow offers no other treespecies in the age of ten years.

Because of the positive effects of soft-foilage-trees on the acidified forest soils follows the necessity to include the sallow (*Salix caprea*), birch (*Betula pendula*) and poplar (*Populus tremula*) into a concept to **restore the forest ecosystems** in the district Erzgebirge, which are pollute by sulphur dioxide. The long-term success of ameliorations by liming will depend on the consideration of the different effects from tree-species on their habitat as a component of the amelioration. This is valid as well as for the forest-establishment by amelioration in cutted areas as for changing the spruce stands by underplanting.

8 Literaturverzeichnis

1. ALFERI, L.; POSPIŠIL, J. (1990): Verwendung der Aspe zur Aufforstung in Immissionsgebieten. In: TU Dresden (Hrsg.) (1990): Ökologie von Schlagflächen und ihre Wiederaufforstung im Immissionsschadgebiet des Erzgebirges. Wissenschaft in Theorie und Praxis 8. gemeinsames Kolloquium Technische Universität Dresden, Sektion Forstwirtschaft, Hochschule für Landwirtschaft Brno, Forstliche Fakultät, 1988
2. ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (1996): Forstliche Standortaufnahme. IHW- Verlag. Eching bei München
3. ASCHE, N.; NOLTE, N. (1997): Waldkalkung mit Asche. AFZ/Der Wald 52, 16–18
4. BARTELT, D. (1998): Oberirdische Phyto- und Nährelement-Massen auf meliorierten, immissionsbelasteten Standorten des Erzgebirges. Diss. TU Dresden
5. BLOCK, J.; ROEDER, A.; SCHÜLER, G. (1997): Waldbodenrestauration durch Aktivierung ökosystemarer Stoffkreisläufe. AFZ/Der Wald 52. 29–33
6. BLUM, E. H.; SCHROEDER, D. (1992): Bodenkunde in Stichworten. Verlag Ferdinand Hirt. Berlin, Stuttgart. 5. rev. und erw. Auflage
7. BRAUN-BLANQUET, J. (1951): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. Springer-Verlag, Wien, 2. Aufl.
8. BURKHARDT (1850): Das Schutzholz. In: Königlich Sächsische Akademie für Forst- und Landwirthe (Hrsg.): Forstwirtschaftliches Jahrbuch. Arnoldische Buchhandlung, Leipzig, Bd. 6
9. BURSCHEL, P.; HUSS, J. (1997): Grundriss des Waldbaus, Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Parey Buchverlag Berlin, 2. Auflage
10. DIERSCHKE, H. (1994): Pflanzensoziologie – Grundlagen und Methoden. UTB Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
11. DIPPEL (1989): Wuchsleistung und Konkurrenz von Buchen/Lärchen-Mischbeständen im südniedersächsischen Bergland. Diss. Forstl. Fakultät Universität Göttingen
12. DORAN, J. W. (1992): Einfluss verschiedener Bewirtschaftungs- und Bearbeitungssysteme auf die organische Substanz und die Bodenfruchtbarkeit. In: HAYDER, K.; SAUERBECK, D. (1992): Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Bd. 4: Humushaushalt. Verlag Paul Parey. Hamburg, Berlin
13. EBBEN, U. (1990): Die toxische Wirkung von Aluminium auf das Wachstum und die Elementgehalte der Feinwurzeln von Altbuchen und Altfeichten. Diss. Berichte des Forschungszentrums Waldökologie, Reihe A. Bd. 64, Universität Göttingen
14. EBERMAYR, E. (1876): Die gesamte Lehre der Waldstreu. Verlag Springer Berlin
15. EISENHAEUER, D.-R. (1992): Eichensterben und Perspektiven der Eichenwirtschaft in der ehemaligen DDR. ÖFZ 2. 43–47
16. ELLENBERG, H.; MAYER, R.; SCHAUERMANN, J. (Hrsg.) (1986): Ökosystemforschung – Ergebnisse des Sollingprojekts 1966-1986. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart
17. ELLENBERG, H.; WEBER, H. E.; DÜLL, R.; WIRTH, V.; WERNER, W. und PAULISSEN, D. (1991): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. — Scripta Geobot. 18: 1–248. Göttingen
18. FIEDLER, H.-J.; HOFMANN, W.; LINNEMANN, U.-G.; NEBE, W.; THALHEIM, K. (1994): Bodenbildung in periglazialen Deckschichten unter besonderer Berücksichtigung der quartären Verwitterungssubstrate. Tagungsband zur 13. Tagung des Arbeitskreises Paläopedologie der DBG vom 13.–14.5.1994. Tharandt
19. FINK, A. (1991): Pflanzenernährung in Stichworten. Ferdinand-Hirt-Verlag, Berlin. Stuttgart, 5. Aufl.
20. GAYER, K. (1886): Der gemischte Wald. Verlag von Paul Parey. Berlin
21. GLATZEL, G. (Hrsg.) (1987): Möglichkeiten und Grenzen der Sanierung immissionsgeschädigter Waldökosysteme. FIW, Universität für Bodenkultur, Wien
22. GEMBALLA, R.; SCHRADER, Th. (1995): Ergebnisse eines Meliorationsversuches zum Waldumbau am Kahleberg. Diplomarbeit am Institut f. Bodenkunde u. Standortlehre Tharandt. TU Dresden
23. GODBOLD, D. L. (1991): Die Wirkungen von Aluminium und Schwermetallen auf *Picea abies* Sämlinge. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt. Bd. 104, J. D. Sauerländers Verlag Frankfurt a. Main, 156 S.
24. GOLDAMMER, J. G. (1983): Sicherung des südbrasilianischen Kiefernanaubaus durch kontrolliertes Brennen. Hochschulsammlung Wirtschaftswissenschaft. Forstwissenschaft Bd.4

25. HANISCH, G. (1985): Anlage und Dokumentation von Meliorationsversuchen in immissionsgeschädigten Gebieten im Erzgebirge und im Elbsandsteingebirge. Belegarbeit zum Ingenieurpraktikum. Tharandt. TU Dresden
26. HAUG, A. R.; CALDWELL, C. R. (1984): Aluminium toxicity in plants: The role of plasma membrane and calmoduline (Abstr. No 33). In: Beltsville Symposium IX. Frontiers of Membrane Research in Agriculture. Agricultural Res. Sev., Beltsville MD, USA
27. HEGER, A. (1952): Die Begründung von Mischwäldern auf Großkahlfächen unter besonderer Berücksichtigung des Vorwaldgedankens. Neumann-Verlag. Radebeul u. Berlin
28. HEINZE, M. (1982): Boden-Pflanze-Beziehungen auf natürlichen und künstlichen Gipsstandorten Thüringens. Diss. B. Fakultät für Bau-, Wasser- und Forstwesen, TU Dresden
29. HELBIG, F. (1994): Überlegungen zum Voranbau in stark geschädigten Wäldern des Erzgebirges. Forst und Holz 49. 370–372
30. HERRMANN, K.-J. (1985): Anlage von Düngungsversuchsflächen im StFB Tharandt. Belegarbeit zum Ingenieurpraktikum. Tharandt. TU Dresden
31. HEUSON, R. (1947a): Die Kultivierung roher Mineralböden – Praktische Kulturvorschläge für Kippen, Bruchfelder, Dünen, und Ödländereien. Siebeneicher Verlag. Berlin, 3. erw. Auflage
32. HEUSON, R. (1947b): Bodenkultur der Zukunft. Siebeneicher Verlag. Berlin, 2. Auflage
33. HOCK; ELSTNER (1988): Schadwirkungen auf Pflanzen. Lehrbuch der Pflanzentoxikologie. 2. überarb. Auflage, Wissenschaftsverlag, Mannheim, Wien, Zürich
34. HÖHNE, H. (1958): Vergleichende Untersuchungen über Mineralstoffgehalt, Stickstoffaufnahme und Trockensubstanzproduktion von Waldbodenpflanzen im Gebiet des Tharandter Waldes. Diss. Inst. f. Bodenkunde u. Standortslehre Tharandt. TU Dresden
35. HÖHNE, H. (1978): Untersuchungen über Mineralstoff- und Stickstoffgehalt der Flora in einem Waldbestand auf Serpentin im Sächsischen Granulitgebirge. Flora 167. 177-196
36. KINDERMANN, G.; GIESEMANN, A.; JÄGER, H. J. (1993): Evaluierung der S-Austausch- und Verlagerungsprozesse in gedüngten Waldökosystemen des Schwarzwaldes anhand der Isotopenverteilung. PEF Karlsruhe Bd. 130
37. KARST, H.; KÖHLER, S. (1987): Legende zu den Standortskarten des Staatlichen Forstwirtschaftsbetriebes Tharandt. VEB Forstprojektierung Potsdam – Betriebsteil Dresden
38. KÖSTLER, J. N.; BRÜCKNER, E.; BIBELRIETHER, H. (1967): Die Wurzeln der Waldbäume - Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa. Verlag Paul Parey. Hamburg und Berlin
39. KOPPISCH, D. (1994): Nährstoffhaushalt und Populationsdynamik von *Calamagrostis villosa* (CHAIX.) J.F. GMEL., einer Rhizompflanze des Unterwuchses von Fichtenwäldern. Diss. Institut für Pflanzenökologie, Universität Bayreuth. Bayreuther Forum Ökologie Bd.12
40. KRAUSS, G.; WOBST, W.; GÄRTNER, G. (1934): Humusaufbau und Durchwurzelung im Eibenstocker Granitgebiet. Beiträge zur Standortskunde von Mitteldeutschland, 1. Sonderabdruck aus dem Tharandter Forstlichen Jahrbuch 85. Verlag Paul Parey. Berlin
41. KREUTZER, K. (1995): Effects of forest liming on soil processes. Plant und Soil. 168–169: 447–470
42. KUHN, A. J.; SCHRÖDER, H. (1993): Einfluss der Bodenlösung auf die Nährstoffaufnahme von Fichten. BINE-Projekt Info-Service 15. Fachinformationszentrum Karlsruhe. Eggenstein-Leopoldshafen
43. KURTH, H. (1993): Forsteinrichtung – Nachhaltige Regelung des Waldes. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin GmbH
44. LA FRANCE, M.; ROTH, M. (1998): Struktur und Funktion der saprophagen Invertebratenfauna auf Extremstandorten des Ost- erzgebirges und ihre Beeinflussung durch waldbauliche Maßnahmen. In: NEBE, W.; ROLOFF, A.; VOGEL, M. (Hrsg.) (1998): Untersuchungen von Waldökosystemen im Erzgebirge als Grundlage für einen ökologisch begründeten Waldumbau. Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt. Heft 4/98
45. LÖBF (Hrsg.) (1993): Waldbau und Naturschutz II. Schriftenreihe der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten/ Landesamt für Agrarordnung Nordrhein-Westfalen, Bd. 1
46. LÖBF (Hrsg.) (1995): Weichlaubhölzer und Sukzessionsdynamik in der naturnahen Waldwirtschaft. Schriftenreihe der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten/Landesamt für Agrarordnung Nordrhein-Westfalen, Bd. 4
47. LFUG (1997): Jahresbericht zur Immissionssituation 1996. Landesamt für Umwelt und Geologie. Freistaat Sachsen. Radebeul
48. LUX, G.(1956): Zur Bewurzelung unserer wichtigsten Waldgräser. Dipl.-Arbeit. Institut für Waldbau und Forstschutz, Forstliche Fakultät Tharandt, TU Dresden
49. LWF (Hrsg.) (1995): Bodenschutz im Wald – Ein forstlicher Beitrag zur Umweltvorsorge. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Freising
50. MAI, H. (unveröff.): Bodenmikrobiologische Untersuchungen an einer Waldumbaufläche in SO₂-geschädigten Wäldern des Ost- erzgebirge (BRD). Manuskript (1998)

51. MARX, V. (1997): Auswirkungen von meliorativer Bodenbearbeitung und Kalkung auf pH-Werte, Kationenaustausch und Bodensickerwasserqualität immissionsgeschädigter Standorte. Forschungsbericht für SML, Freistaat Sachsen, Dresden
52. MATZNER, E.; BÜRSTINGHAUS, C. (1990): Zur Bestimmung austauschbarer Kationen in sauren Waldböden. Z. für Pflanzenern. u. Bodenk. 153
53. MENGEL, K. (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag Jena, 7. überarb. Auflage
54. MÖLLER, A. (1923): Der Dauerwaldgedanke – Sein Sinn und seine Bedeutung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
55. NEBE, W. (1994): Zur Ernährung von Umwandlungsbaumarten auf immissionsbelasteten Standorten des Erzgebirges. Forstwiss. Cbl. 113, 291–301
56. NEBE, W. (1996): Verbundprojekt Waldumbau Erzgebirge, Ziele und Inhalte. In: Waldumbau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten 6/96. Freistaat Sachsen
57. NEBE, W. (1997): Zur Baumartenwahl in den Hoch- und Kammlagen des Erzgebirges. Forst u. Holz 52, 336–338
58. NEBE, W.; ROLOFF, A.; VOGEL, M. (Hrsg.) (1998): Untersuchung von Waldökosystemen im Erzgebirge als Grundlage für einen ökologischen Waldumbau. Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt 4/98
59. NEBE, W.; LEUBE, F. (1995): Experimente zum meliorativen Waldumbau im Erzgebirge. Forst und Holz 51, 177–182
60. NEBE, W.; OPFERMANN, M. (1998): Zur Ernährung der Eberesche (*Sorbus aucuparia* L.) im Vergleich zur Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.). Forst und Holz 53. 48–50
61. NOACK, ST. (1994): Untersuchungen zur Anbaueignung verschiedener Baumarten für die forstliche Rekultivierung unterschiedlicher Kippsubstrate im Niederlausitzer Braunkohlerevier unter besonderer Berücksichtigung des Einflusses der Baumarten auf die Substrat- und Bestandesverhältnisse. Diplomarbeit TU Dresden, Fakultät Bau-, Wasser- Forstwesen
62. OBERDORFER, E. (1994): Pflanzensoziologische Exkursionsflora. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart, 7. überarb. u. erg. Auflage
63. OTTO, H. J. (1994): Waldökologie. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart
64. POLENO, Z. (1994): Generalprojekt der Rekonstruktion der Waldbestände von Ersatzholzarten im durch Immissionen stark geschädigten Waldgebiet des östlichen Erzgebirges. In: THOMASIIUS, H. (Hrsg.): Forstwirtschaft in den Hoch- und Kammlagen des Erzgebirges und der Sudeten. XI. Gemeinsames Waldbau-Kolloquium „Brno - Tharandt“, 12.–14. Okt. 1994
65. REEMSTMA, J. B. (1964): Untersuchungen an Fichte und anderen Nadelbaumarten über den Nährstoffgehalt der lebenden Nadeljahrgänge und der Streu. Diss. Forstl. Fakultät der Georg-August-Universität Göttingen
66. ROST-SIEBERT, K. (1985): Untersuchungen zur H- und Al-Toxizität an Keimpflanzen von Fichte (*Picea abies* KARST.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.) in Lösungskultur. Berichte Forschungszentrum Waldökosysteme 12. Göttingen
67. SAH, S. P. (1990): Vergleich des Stoffhaushaltes zweier Buchenwaldökosysteme auf Kalkgestein und Buntsandstein. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme der Universität Göttingen, Reihe A, Bd. 59
68. SCAMONI, A. (1951): Waldgesellschaften und Waldstandorte. Akademie Verlag, Berlin
69. SCHILLING, G. (Hrsg.) (1987): Pflanzenernährung und Düngung. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin
70. SCHINDLER, T. (1992): Waldbauliche Eignung und Behandlung der Eberesche in Pionier- und Schutzwaldbestockungen von SO₂-Schadgebieten des Erzgebirges am Beispiel des Raumes Seiffen/Deutscheinsiedel. Diplomarbeit. TU Dresden. Fakultät Bau-, Wasser-, Forstwesen, Institut für Waldbau und Forstschutz
71. SCHMIDT, P. A. (1995): Übersichten der natürlichen Waldgesellschaften Deutschlands. Schriftenreihe der LAF 4/95. SML Freistaat Sachsen, Graupa, Dresden
72. SCHMIDT, P. A.; GNÜCHTEL, A.; WAGNER, W. (1998): Zuordnung der natürlichen Waldgesellschaften zu den Standortsformengruppen (Ökogramme). Schriftenreihe der LAF 7/98. SML Freistaat Sachsen, Graupa, Dresden
73. SCHMIEDEL, M. (1986): Anlage und Dokumentation des Meliorationsversuches im Revier Taubenbach, Abt. 146. Belegarbeit zum Ingenieurpraktikum, Tharandt. TU Dresden
74. SCHOBER, R. (1975): Ertragstabellen wichtiger Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.
75. SCHRETZENMAYR, M. (1975): Die wichtigsten Waldgesellschaften Mitteleuropas. In: Schretzenmayr, M. (Hrsg.): Der Wald. Urania-Verlag Leipzig, Jena, Berlin. 2. Auflage
76. SCHÜLER, G.; BUTZ-BRAUN, R. (1997): Stabilisierung von Dreischicht-Tonmineralen versauerter Waldböden durch Bodenschutzmaßnahmen. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 85–III, 1557–1560
77. SCHWANECKE, W. (1991): Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke im Bereich von Mittelgebirge und Hügelland im Freistaat Sachsen. Manuskript. LAF Graupa
78. SCHWANECKE, W.; KOPP, D. (1996): Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke im Freistaat Sachsen. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Forsten 8/96, Graupa

79. SLOVIK, S.; HEBER, U.; KINDERMANN, G.; KÖRNER, CH. (1992): Quantifizierung der physiologischen Kausalkette von SO₂-Immissionsschäden (II) – Ableitung von SO₂-Immissionsgrenzwerten für chronische Schäden an Fichte. AFZ 17, 913–920
80. SML (1997a): Waldschadensbericht 1996, Freistaat Sachsen. Dresden, Graupa
81. SML (1992): Sächsisches Gesetz- und Verordnungsblatt Nr. 14/1992 vom 21. April 1992. Waldgesetz für den Freistaat Sachsen, 13–150
82. SMUL (1998): Landesüberblick zu Verbisserhebungen 1998. Dresden
83. SMUL (1999): Verwaltungsvorschrift des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft über die Waldbau-grundsätze für den Staatswald des Freistaates Sachsen (Landeswald) – VwV Waldbaugrundsätze v. 01.01.1999
84. Stefan, K. (1987): Ergebnisse der Schwefel- und Nährstoffbestimmungen in Pflanzenproben des österreichischen Bioindikatornetzes, VDI-Ber. 609, 555–580
85. STĚPÁNEK, V.; ÚRADNÍČEK, L. (1990): Verwendung von Weiden zur Blößenaufforstung in immissionsgeschädigten Wäldern. In: TU Dresden (Hrsg.) (1990): Ökologie von Schlagflächen und ihre Wiederaufforstung im Immissionsschadengebiet des Erzgebirges. Wissenschaft in Theorie und Praxis – 8. gemeinsames Kolloquium Technische Universität Dresden, Sektion Forstwirtschaft, Hochschule für Landwirtschaft Brno, Forstliche Fakultät, 1988
86. THOMASUS, H. (1991): Prinzipien eines ökologisch orientierten Waldbaus. Forstwiss. Cbl. 111, 141–155
87. UN/ECE (1993): Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Levels/Loads and Geographical Areas where they are Exceeded. In: Texte. Umweltbundesamt, Berlin
88. VATER, H.; KRAUSS, G. (1928): Vorschläge zu einer kartographischen Abgrenzung der natürlichen Wuchsgebiete Sachsens. Tharandter Forstliches Jahrbuch 79, 314–324
89. WHITTAKER, H.; LIETH, H. (Hrsg.) (1975): Primary Productivity of the Biosphere. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
90. WIEDEY, G.-A. (1991): Ökosystemare Untersuchungen in zwei unterschiedlich exponierten Fichtenaltbeständen und einem Kalkungs- und Düngungsversuch im Hils. Berichte d. Forschungszentrums Waldökologie, Reihe A. Bd.63, Göttingen
91. WILPERT, K.; BUBERL, H. G. (1998): Der chemische Bodenzustand in Laub- und Nadelholzbeständen. AFZ/Der Wald 53. 517–19
92. WITTICH, W. (1933): Untersuchungen in Nordwestdeutschland über den Einfluss der Holzart auf den biologischen Zustand des Bodens. Mitteilungen aus Forstwirtschaft und Forstwissenschaft 1. 115–57
93. WITTICH, W. (1939): Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzungen auf einem Boden mit Mullzustand. Forstarchiv 15. Verlag M. und H. Schaper, Hannover
94. WITTICH, W. (1943a): Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzungen auf einem Boden mit Mullzustand II. Forstarchiv 19. Verlag M. und H. Schaper, Hannover
95. WITTICH, W. (1943b): Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzungen auf einem Boden mit Mullzustand III. Forstarchiv 19. VERLAG M. und H. Schaper, Hannover
96. WITTICH, W. (1948): Die heutigen Grundlagen der Holzartenwahl. Verlag M. und H. Schaper. Hannover, 2. Auflage
97. WOLF, G.; GROSSNER, K.; PREUSSNER, K.; SCHWABE, H. (1992): Forstliche Rekultivierung und Bergbaufolgelandschaft in der Niederlausitz (Exkursionsführer). Laubag
98. VIRO, P. J. (1969): Prescribed Burning in Forestry. Communicationes Instituti Forestales Fenniae 67.7. Helsinki

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,
e-Mail: laf.graupa@ibm.net, Internet: <http://www.lafgraupa.sachsen.de>

Redaktion

Sächsische Landesanstalt für Forsten

Autoren

DR. BARTELT, PROF. DR. HABIL NEBE, DR. LEUBE

Fotografie

DR. BARTELT, PROF. NEBE, DR. LEUBE

Grafik

DR. BARTELT, DR. LEUBE

Gesamtgestaltung

designXpress dresden, Werbeagentur

Druck

Stoba Druck GmbH, Lampertswalde

Redaktionsschluss

09/1999

Auflage 2 000 Stück

Bezug

Sächsische Landesanstalt für Forsten
ISBN 3-932967-19-4

Gedruckt auf Papier aus 100 % chlorfrei gebleichtem Zellstoff.

Verteilerhinweis:

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel.

Untersagt ist auch die Weitergabe 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 der Herausgeber 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 Immissions schadgebiete
Heft 14/1998	Der Waldzustand im Nationalpark Sächsische Schweiz nach den Ergebnissen der Permanenten Stichprobeninventur 1995/96
Heft 15/1998	Zuordnung der natürlichen Waldgesellschaften zu den Standortsformengruppen (Ökogramme)
Heft 16/1998	Sanierung von Waldschadensflächen im extremen Immissions schadgebiet unter besonderer Berücksichtigung des Nichtstaatswaldes
Heft 17/1998	Wald- und Forstökosysteme auf Kippen des Braunkohlenbergbaus in Sachsen – ihre Entstehung, Dynamik und Bewirtschaftung –
Heft 18/1999	Biogeochemisches Potenzial ausgewählter Baumarten auf meliorierten, Immissionsbeeinflussten Standorten des Erzgebirges
in Vorbereitung	Waldumbau auf Tieflands- und Mittelgebirgsstandorten in Sachsen