

Sachbereich: Bodenschutz und Bodenrestauration (Soil protection and soil restoration)

Fortzuführende Vorhaben



Projekt: „Vergleichender Kompensationsversuch mit verschiedenen Puffersubstanzen zur Minderung der Auswirkungen von Luftschadstoffeinträgen in Waldökosystemen“
(Comparative compensation experiment with different buffer substances to reduce the effects of air pollution input in forest ecosystems)

Im Rahmen des "vergleichenden Kompensationsversuches" werden seit 1988 in vier Parzellenanlagen auf häufig in Rheinland-Pfalz vorkommenden Bodensubstraten in Fichtenbeständen des Sieger Berglandes (Forstamt Schönstein), der Osteifel (Forstamt Adenau) und des Hoch- und Idarwaldes im Hunsrück (Forstamt Idar-Oberstein) sowie in einem Kiefernbestand mit unterständiger Buche im Nördlichen Pfälzerwald (Forstamt Hochspeyer) die ökosystemaren Auswirkungen von Bodenschutzkalkung und Bodenrestauration mittel- bis langfristig untersucht, da diese in so vielfältigen und komplexen Systemen, wie Waldökosystemen (Standorts- und Bestandesvielfalt) und in der nach unten angrenzenden Hydrosphäre (Sickerwasserleiter) nicht prognostiziert werden können. Durch den experimentellen Versuchsansatz können frühzeitig mögliche Entwicklungen abgeschätzt und weitere Maßnahmen eingeleitet werden.

Waldwachstumskundliche Aufnahmen werden in den unterschiedlich behandelten Parzellen aller Versuchsanlagen im langjährigen Turnus wiederholt.

In den unterschiedlich behandelten Parzellen der Versuchsanlagen Adenau, Idar-Oberstein und Hochspeyer werden kontinuierlich die **chemischen Verhältnisse im Sickerwasser und die Vitalitätsentwicklung der Bäume** untersucht.

Bodenchemische, tonmineralogische und ernährungskundliche Untersuchungen sowie humusmorphologische Aufnahmen und humus-

chemische Analysen werden seit 1997 in jeder Versuchsanlage nur noch im Turnus von 4 Jahren durchgeführt. 2002 geschah dies in der **Versuchsanlage im Hunsrück im Forstamt Idar-Oberstein**.

Die **tonmineralogischen Untersuchungen 2002** hatten folgendes Ergebnis:

Bei den Bodenproben der Versuchsanlage Idar-Oberstein gehen die kalkungsbedingten Tonmineral-Veränderungen im wesentlichen von den Vermiculiten aus. Die Vermiculite sind zumindest teilweise aus den Illiten entstanden, da auch WL Illit/Vermiculite vorkommen. Weiterhin können die Vermiculite, möglicherweise auch Al-Vermiculite, als äolische Komponente eingetragen worden sein. Veränderungen an Illiten und Kaoliniten konnten nicht nachgewiesen werden. Die Chlorite, die nicht im Ausgangssubstrat vorkommen, sondern vermutlich aus äolischen Komponenten stammen, sind mit 1-2 % des Tonmineralanteils sehr schwach vertreten.

Aus den Vermiculiten bildeten sich je nach Ausgangssituation folgende Tonminerale:

- Al-vermiculite
- de-Al-chloritisierte Al-Vermiculite
- labile Tonminerale
- zerstörte Tonminerale
- basenreiche Smektite
- aufgebaste de-Al-chloritisierte Al-Vermiculite

Bei den Proben der untersuchten Kontroll- und fünf Kalkungsvarianten kann eine eindeutige Dif-

ferenzierung zwischen „de-Al-chloritisierten Al-Vermiculiten“ und „aufgebasteten de-Al-chloritisierten Al-Vermiculiten“ getroffen werden. Letztere kommen ausschließlich bei den gekalkten Varianten vor, und zwar bei allen Proben der Tiefenstufe 0-2 cm sowie häufig auch der Tiefenstufe 2-5 cm. Voraussetzung ist, dass die Böden vor der Behandlung noch de-Al-chloritisierte Al-Vermiculite enthielten.

Nach ca. 12 Jahren sind noch keine Anzeichen eines Verlustes an basischen Kationen, die mit der Kalkung eingebracht wurden, zu erkennen. Dies gilt vor allem bei den 3 t Dolomit-Varianten und der Gesteinsmehl-Variante. Bei den Behandlungen mit Forst-Kieserit sind gegenüber den Behandlungen ohne Forst-Kieserit keine Unterschiede erkennbar.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der früheren Jahre scheint die Aufbringung sehr hoher Dosen an Dolomit, z.B. 15 t Dolomit/ha, einen schnelleren Einbau an basischen Kationen in die Zwischenschichten der de-Al-chloritisierten Al-Vermiculite zu bewirken, als bei einer geringeren Dosierung. Dabei kann es im Laufe der Zeit zu einer Übersteuerung der mineralverändernden Prozesse, d.h. zu einer extrem starken Aufweitung der Tonmineralschichten kommen, was unter Umständen sogar zu einer Tonmineralzerstörung führen kann.

Außerdem wurden in der Versuchsanlage im Hunsrück die **Entwicklung der Bodenvegetation und der Bodenfauna** aufgenommen. Hier liegen jedoch erst Artenlisten und Abundanztabellen vor, eine Auswertung erfolgt im Jahre 2003. Dafür liegen die Untersuchungsergebnisse aus dem Jahr 2001 für den Versuchsstandort Adenau vor.

In Adenau wurden an jeweils zehn Untersuchungspunkten pro Kalkungsvariante **Vegetationsaufnahmen der Gefäßpflanzen, Moose und Pilze** erhoben. Als Referenzwerte dienten Aufnahmen von unbehandelten Flächen.

Die Auswertung lässt eine kalkungsbedingte Zunahme nährstoffliebender Gefäßpflanzen (*Epilobium angustifolium*, *Rubus idaeus*, *Mycelis muralis*, *Oxalis acetosella*, *Moehringia trinervia*) und

Moose (*Brachythecium rutabulum*, *Eurhynchium striatum*) bei fast allen Varianten erkennen. Das Ausmaß der Zunahme stimmt in den meisten Fällen mit der Dosierung der jeweiligen Kalkungsmaßnahme gut überein. Auch bei den Pilzen führen die Kalkgaben zu signifikanten Verschiebungen im Artenspektrum. Bei den kalkungsgeförderten Pilzen handelt es sich meistens um streubewohnende Saprophyten, seltener um Mykorrhizapilze oder Holzsaprophyten

Bei einigen Gefäßpflanzen und Moosen wird beim Vergleich der aktuellen Aufnahmen mit denen aus dem früheren Untersuchungszeitraum (1991-93) deutlich, dass das Wirkungsmaximum bei den schwächer dosierten Kalkungsformen überschritten sein dürfte: Diese Arten gehen auf den schwachen Varianten bereits zurück, während sie sich auf den stark gekalkten Varianten noch halten oder sogar leicht zunehmen. Darüber hinaus geht eine Reihe weiterer kalkungsgeförderter Arten (vor allem walduntypische Gefäßpflanzen, akrokarpe Moose und Streusaprophyten) mittlerweile bei allen Varianten zurück. Andererseits haben sich auch einige „Kalkungszeiger“ etablieren oder sogar ausbreiten können, und einige weitere sind neu hinzugekommen. Bei den Pilzen ist der Vergleich mit den Ergebnissen aus den Vorjahren naturgemäß schwieriger als bei Höheren Pflanzen und Moosen, zumal die Pilze im Untersuchungs-jahr teilweise nur spärlich fruktifizierten. In manchen Fällen werden die Zusammenhänge zu Art und Intensität der Kalkung deutlicher.

Einige der in bodensauren Nadelwäldern häufigen Arten werden durch die Kalkung geschädigt oder verdrängt. Hierzu gehören vor allem Moose (*Campylopus flexuosus*, *C. pyriformis*, *Lepidozia reptans*, *Polytrichum formosum*, *Plagiothecium curvifolium*) und Pilze (*Clitocybe vibecina*, *Galerina hypnorum*). Bei den Gefäßpflanzen sind nur geringe negative Auswirkungen erkennbar, so ist zum Beispiel *Vaccinium myrtillus* betroffen. Auch hier ist zu beobachten, dass die Störungen durch die Kalkung teilweise zurückgehen: Deckung und Stetigkeit der geschädigten Arten haben manchmal wieder zugenommen. Das Niveau der Kon-

trollflächen wird jedoch vor allem bei den stärkeren Varianten noch nicht erreicht.

Die mittleren Reaktions- und Stickstoff-Zeigerwerte (nach ELLENBERG) sind bei fast allen gekalkten Flächen erhöht. Das Ausmaß der Erhöhung entspricht im wesentlichen der Intensität der Kalkung. Durch den Vergleich der Werte von 1993 und 2001 kann abgeschätzt werden, bei welchen Kalkungsformen die Auswirkungen auf die Vegetation im Lauf der letzten Jahre noch zugenommen haben und bei welchen sie bereits wieder abklingen

Der Überblick über die einzelnen Kalkungsvarianten macht deutlich, dass das Ausmaß der Veränderungen bei der Bodenvegetation sowohl von der Art der ausgebrachten Substanz als auch von deren Menge abhängt. Teilweise ist eine Abstufung der Vegetationsveränderungen in Abhängigkeit von der Kalkungsvariante zu beobachten. Bei den 3 t/ha - Dolomit-Varianten, der Tonmineral-Dolomit-Variante sowie den per Helikopter ausgebrachten Rosal-Varianten ist dagegen bei vielen Parametern ein mehr oder weniger deutlicher Rückgang der Veränderungen zu beobachten. Bei den mittelstark dosierten Varianten mit 5 bis 9 t/ha Dolomit stimmen die Ergebnisse ungefähr mit denen von 1993 überein. Bei der 15 t/ha - Dolomit-Variante mit 3 % Hyperphos erreicht die Mehrzahl der kalkungsbedingten Florenveränderungen ihr maximales Ausmaß.

Im zwölften Versuchsjahr wurde der Standort Adenau in der Eifel erneut im Hinblick auf die Reaktionen der **Bodenfauna** untersucht. Mit Bodenstechproben, Bodenphotoelektoren und Bodenfallen wurden im Frühjahr/Sommer 2001 die Kontrollflächen, die 3 t-Dolomit-Variante und 5 t-Dolomit-Variante untersucht. Neben der Auswertung der Tiergruppen wurden Spinnentiere und Käfer bis aufs Artniveau bestimmt. Die mit vorliegender Untersuchung gewonnenen Daten stellen eine erste Bestandsaufnahme der mittelfristigen Reaktionen dar und bilden die Grundlage für die Interpretation folgender Wiederholungsuntersuchungen. Aufgrund der schwach ausgeprägten calciphilen Fauna, es fehlten weitgehend die Asseln,

Tausendfüßer und Gehäuseschnecken, dürfte auch der Bestand Adenau von vorneherein am stärksten geschädigt gewesen sein. Bei einer derartig verarmten Fauna ist die Möglichkeit der Zuwanderung aus Nischenbiotopen, wie z.B. Baumstubben, in denen anspruchsvollere Arten noch Überdauerungsmöglichkeiten finden können, relativ gering. Die Reaktionen der Tiergruppen im Versuchsbestand Adenau lassen sich wie folgt zusammen

Die Förderungen bzw. Rückgänge der Tiergruppen halten sich in etwa die Waage. Calciphile Tiergruppen erfahren eine Förderung, sofern überhaupt ein Potential an Individuen vorhanden ist. Beispielhaft reagieren hier die Regenwürmer (Lumbricidae). Auf den gekalkten Parzellen bauen sich Populationen auf, die aus kleinen Biotoperelementen, wie z.B. Baumstubben wieder in die Fläche wandern. Die Ergebnisse der Losungshaufenerfassung zeigen, dass es sich bei den gefundenen Tieren nicht um einige Jungtiere handelt, sondern dass hier ausgewachsene Tiere aktiv sind. Aber auch Dipteren und Coleopteren wurden im Untersuchungsjahr 2001 auf den behandelten Parzellen in größeren Mengen gefunden als auf der unbehandelten Kontrollfläche. Insgesamt kann man sagen, dass der Trend zur Umgestaltung der Bodenzoozönose vom „Mesofaunaboden“ zur „Makrofauna“ begonnen hat.



Projekt: „Erschließung von Sekundärrohstoffen als Puffersubstanzen für Bodenschutzmaßnahmen im Wald bei gleichzeitiger Entwicklung von mobilen Aufbereitungs- und Mischungsanlagen“
(Buffering substances from secondary material for soil protection in the forest (gefördert durch Deutsche Bundesstiftung Umwelt))

Viele Abfall-/Nebenprodukte oder auch Zwangsanfälligkeiten aus industrieller Produktion, aus der Trinkwasseraufbereitung etc., beinhalten nennenswerte säurepuffernde Inhaltsstoffe und Nährstoffmengen. Aus diesen Sekundärrohstoffen (z.B. Schlämme und Reaktorkorn aus der Trinkwasseraufbereitung, Magnesitabfälle aus der Feuerfestindustrie, Aschen aus der Holzverbrennung), die vielfach als Abfallstoffe deponiert werden müssen, sollen Puffersubstanzen für Bodenschutzmaßnahmen im Wald entwickelt werden. Gleichzeitig sollen die Betriebe, bei denen geeignete Sekundärrohstoffe anfallen, zum Beispiel die kommunalen Wasserwerksbetreiber, von der Notwendigkeit der Abfall(?)beseitigung entlastet werden.

Die **Wirksamkeit und Ökosystemverträglichkeit** der hergestellten Puffersubstanzen werden durch einen mehrfach gegliederten Versuchsansatz untersucht:

- Vorversuche:
 - Gefäßversuche im Labor
 - Pflanzenverträglichkeitsuntersuchungen
- Ökosystemare Freilanduntersuchungen

Sobald die Wirkung der Sekundärrohstoffdünger aus den Vorversuchen abgeschätzt werden kann und sofern sie sich als aussichtsreich erweisen, werden sie in Verbindung zu bereits bestehenden Waldökosystemuntersuchungen in Versuchswäldern ausgebracht und hinsichtlich der ökosystemaren Wirkung (Sickerwasserchemie, biologische Aktivität, Puffervermögen, Nährstoffaufnahme) untersucht.

Die Herstellung der Düngemittel in zu entwickelnden mobilen Mischanlage soll im Hinblick auf einen möglichen Betriebserfolg für kleinere und mittlere Unternehmen **betriebswirtschaftlich** untersucht werden.

Außerdem soll für die zu entwickelnden Dünge-

mittel und ihre Ausbringung im Vergleich zur konventionellen Düngemittelherstellung sowie der Transport- und Ausbringungslogistik eine **Produktlinienanalyse** mit Sachbilanz, Wirkungsabschätzung (Bilanzbewertung, Schwachstellen- und Sensitivitätsanalyse) angefertigt werden, um daraus das Maß der Umweltverträglichkeit und der effektiven Wirksamkeit von Sekundärrohstoffdüngern im Vergleich zu handelsüblichen Düngern/Puffersubstanzen aufzuzeigen.

Entwicklung mobiler Aufbereitungs- und Mischanlagen

Mittlerweile wurde der Prototyp einer mobilen Misch- und Aufbereitungsanlage für gut handel- und ausbringbare Düngemittel aus primären und sekundären Rohstoffen entwickelt und in ersten Einsätzen getestet. In Prototypen dieser Anlage sind bislang Kalkstein-, Dolomit- und Magnesiamehle, Entstaubungsprodukte, Enthärter Schlämme und Reaktorkorn aus der Wasseraufbereitung, REA-Produkte, Brannt- und Löschkalke, Vinassekali, Knochenphosphate und Rohphosphate, Soda, elementarer S und KCl erfolgreich aufbereitet und gemischt worden.

Ergebnisse der Gefäßversuche nach einem Jahr Laufzeit:

Vier der untersuchten Varianten verteilen sich auf Produkte der Trinkwasserenthärtung: Reaktorkorn mit Kalkkeim, Reaktorkorn mit Quarzkeim, gebrochenes Reaktorkorn und Enthärter Schlamm. Dem Enthärter Schlamm wurde zur Wasseraufnahme und als Kaliquelle Bimsmehl zugefügt. Zusätzlich ist Magnesit aus dem Feuerfestrecycling als Mg-Quelle zugesetzt worden. Die übrigen Varianten setzen sich aus Magniphos aus P-Säureherstellung, Pfannenschlacke aus Herstellung unlegierter Stähle, Tiermehlasche und Mutterlaugengemisch aus der Methioninherstellung zusam-

men. Die flüssige Mutterlauge ist in Perlitstaub aus der Dämmindustrie eingebunden. Bei einigen Varianten sind einige für die Ausbringung im Wald in Rheinland-Pfalz festgelegten Schwermetallgehalte überschritten. Pfannenschlacke neigt zur flächigen Vermörtelung. Das Mutterlauge-Perlit-Gemisch fällt durch üblen Geruch der Mutterlauge auf. Im Perkulationswasser aller Varianten sind die Gehalte der entsprechenden Nährstoffe gegenüber der Kontrolle erhöht, mit Ausnahme des Phosphors, was möglicherweise auf Fixierungsprozesse zurückzuführen ist. Bei Magniphos und Tiermehlasche sind im Perkulationswasser hohe Gehalte an Kationen und besonders S gegenüber der Kontrolle aufgefallen. Bei den Reaktorkorn- und Bimsmehl-Varianten wurden bisher keine Negativkriterien festgestellt. Dabei sind die Nährstofffreisetzungen von Reaktorkorn mit Quarzkeim vergleichbar mit den Reaktionen von bei Bodenschutzkalkungen eingesetztem Dolomit. In Untersuchungen zur Pflanzenverträglichkeit mit Kresse wurden Unverträglichkeiten bei gebrannten Magnesit, Magniphos, Tiermehlasche, und Mutterlauge beobachtet.

Ergebnisse der Lysimeterversuche nach zwei Jahren Laufzeit:

Die Lysimeterversuche wurden im Mai 2002 mit vier Varianten (Reaktorkorn/Kalkkeim mit Magnesit, Reaktorkorn/Quarzkeim mit Magnesit, Enthärter Schlamm mit Magnesit und Bimsmehl sowie Enthärter Schlamm mit Magnesit, Bimsmehl und Tiermehl) einer Kontrolle und Dolomit gestartet. Für den Zeitraum Mai bis November liegen die Elementgehalte der Bodenlösungen und Sickerwässer vor.

Die Ca-Gehalte sind in den Enthärter Schlammvarianten und der Reaktorkorn/Quarzkeim mit Magnesit -Variante am höchsten. Bei Mg weist Enthärter Schlamm mit Magnesit, Bimsmehl und Tiermehl die höchsten Gehalte auf, gefolgt von Reaktorkorn/Kalkkeim mit Magnesit und Enthärter Schlamm mit Magnesit und Bimsmehl. Bei K übersteigen nur die Enthärter Schlamm-Varianten die Werte der Kontrolle. Bezüglich P waren die Gehalte in der Kontrolle wider Erwarten am

höchsten. Eigentlich sollte sich durch Kalken der pH-Wert und auch die Löslichkeit des Phosphors erhöhen. Mit Ausnahme der Varianten, Enthärter Schlamm mit Magnesit, Bimsmehl und Tiermehl und Reaktorkorn/Kalkkeim mit Magnesit änderte sich der pH in den Sickerwässern wenig. In den genannten Varianten zeigte sich eine leichte Erhöhung.

In den Sickerwässern mit hohen Gehalten an Ca, Mg, K, Al, Mn, Na und Zn waren als Begleitkationen in der Lösung hohe NO₃-Gehalte zu verzeichnen. Die Nitratgehalte sind vor allem in den Enthärter Schlammvarianten sehr hoch (bis zu 70 mg/l). Die Nitrat-Peaks treten mit 8 - 16-wöchiger Verzögerung auf und verbleiben dann aber unter 30 mg/l.

Ergebnisse der Produktlinienanalyse nach einem Jahr Laufzeit:

Zur Folgenabschätzung von Sekundärrohstoffen als Puffersubstanzen wird eine fallspezifische Produktlinienanalyse verwendet. Die Vorgehensweise begann mit einer Festlegung der zu untersuchenden Systemgrenzen sowie einer Auswahl von relevanten Wirkungskategorien und Indikatoren, anhand derer die Bewertung der Umweltauswirkung durchgeführt wird. Die Auswahl der Wirkungskategorien und ihre Indikatoren erfolgte unter Mit Hilfe eines Experten-Panels. Es wurden fünfzehn Wirkungskategorien ausgewählt und deren Indikatoren und Grenzwerte festgelegt. Darauf aufbauend werden die Sekundärrohstoffe mittels Life Cycle Analysis untersucht. Alle zu bewertenden Daten stammen aus den Projektergebnissen und aus den persönlichen Kontakten mit Unternehmen, die an dem Projekt beteiligt sind. Abschließend sollen die Berechnungsergebnisse diskutiert und in Verbindung mit ihren sozioökonomischen Aspekten (Investitionskosten, Produktionskosten, Deckungsbeitrag und Arbeitsplatz) dargestellt werden. Mögliche Folgen, Alternativen und Verbesserungsvorschläge sollen präsentiert werden.



Projekt: „Überprüfung der Kalkausbringung mit Starrflüglern“
(Investigation of the distribution quality of liming by aeroplanes)

Im Forstamt Kempfeld wurde die Kalkausbringungsqualität von Starrflüglern im Vergleich zur Helikopterausbringung überprüft. Eingesetzt wurden hierzu als Starrflügler ein Luftfahrzeug des Typs M 18 A Dromedar mit einer Nutzlast von 1800 – 2000 kg und ein Helikopter des Typs Accureil AS 350 mit einer Nutzlast von 1000 kg. Die Ausbringung wurde digital mit DGPS und

GIS dokumentiert und durch Verteilkontrollen auf dem Boden überprüft. Um einen unmittelbaren Vergleich zwischen den beiden Luftfahrzeugtypen vornehmen zu können, wurden dieselben Teilflächen sowohl vom Helikopter als auch vom Starrflügler mit 3 to/ha Dolomit gekalkt. In der zu kalkenden Waldfläche lag ein Naturschutzgebiet als Ausschlussfläche.



Abb. A1: Luftfahrzeug des Typs M 18 A Dromedar bei der Bodenschutzkalkung
Fig. A1: Airplane type M 18 Adromedar during liming



Abb. A2: Helikopter des Typs Accureil AS 350 bei der Bodenschutzkalkung
Fig. A2: Helikopter Type Accureil AS 350 during liming

Als Ergebnis der Untersuchungen konnte festgehalten werden:

- Der Helikopterpilot kann seine Flugbahn dem Gelände entsprechend seiner Erfahrung und der Visualisierung in einem guten Navigationssystem anpassen und die Ausbringungsqualität verbessern.
- Ein Starrflügler kann flugtechnisch bedingt (Flughöhe und –geschwindigkeit) seine vom Navigationssystem vorgegebene Flugbahn nur

in sehr eingeschränktem Maße verändern und damit auf Geländebesonderheiten (Kuppenlagen, Einschnitte) und kurzfristige äussere Einflüsse (Auftreten von Seitenwind) kaum reagieren.

- Ein Starrflügler benötigt eine Start- und Landebahn in relativer Nähe zur zu kalkenden Waldfläche (bei Agrarflugzeugen reicht auch eine ausreichend lange ebene Wiese).

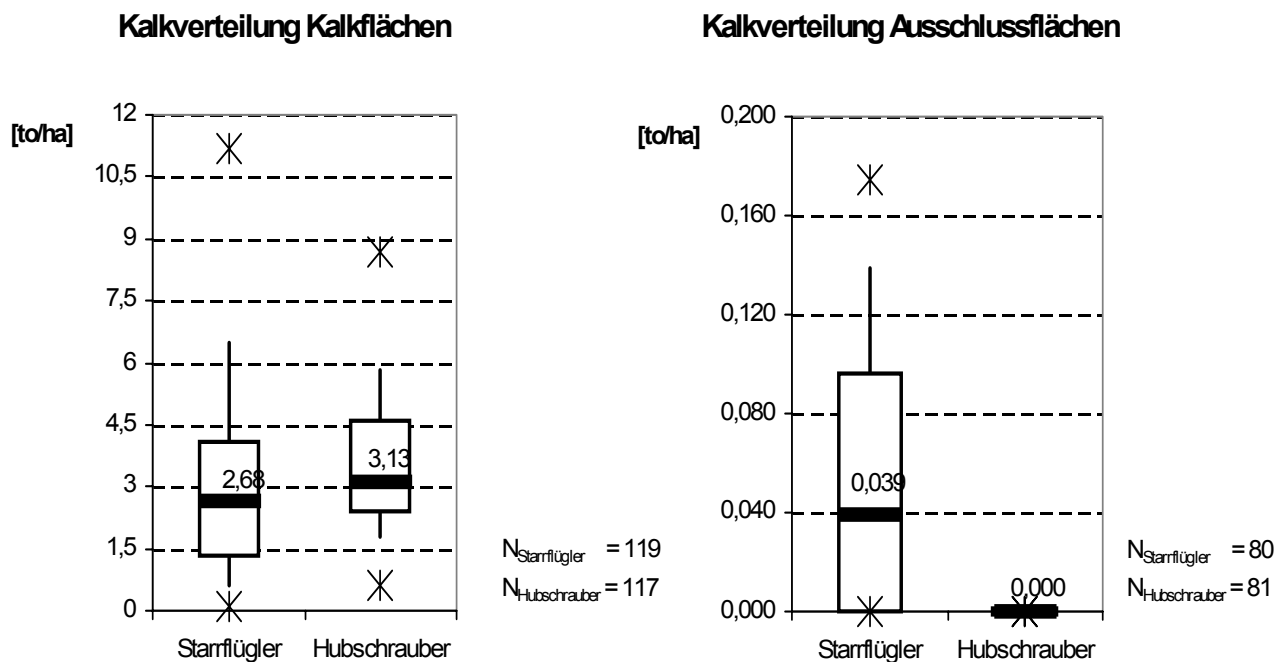


Abb.A3: Die Kalkverteilung im Vergleich zwischen Starrflügler und Helikopter (Box-plotdarstellung mit Median, 25/75- und 10/90-Perzentil sowie den Extremwerten als Sterne)

Fig. A3: lime distribution by aeroplane and helicopter concerning total amount of lime per hectar (left) and quantity of lime in excluded areas (right)

- Die Ausbringungsqualität beim Helikopter ist besser. Durch die Manövrierfähigkeit kann er Ausschlussflächen besser berücksichtigen.
- Beide Luftfahrzeugtypen sind relativ witterungsempfindlich (Starrflügler: tief hängende Wolken, Seitenwind, Nebel; Helikopter: Seitenwind, Nebel)
- Beide Luftfahrzeuge haben ein offenes Umschlagsystem, der Starrflügler auf einem Flugplatz, der Helikopter auf Beladepätzen im

Wald. Der Starrflügler ist damit auf naheliegende Infrastruktureinrichtungen angewiesen, beim Helikopter sind Waldwegeschäden bei der Kalkanlieferung zu kalkulieren.

- Die Staub- und Lärmbelästigung ist bei beiden Luftfahrzeugen etwa gleich einzuschätzen, allerdings wird der Lärm beim Starrflügler mit dem festliegenden Flugplatz auf bestimmte Flugbahnen konzentriert, während sich der Lärm beim Helikopter mehr „verteilt“.

- Der Starrflügler verbraucht mehr Treibstoff, hat aber eine größere Flächenleistung pro Zeiteinheit als der Helikopter.
- Als Organisationsaufwand schlägt beim Heli-

kopter die Auswahl der Lande- und Beladeplätze zu Buche, während der Starrflügler zwingend an einen Flug- und Landeplatz gebunden ist.



Projekt: *„Bodenrestauration beim Umbau von Fichte in Buche“
(Soil restoration by planting beeches in spruce stands)*

Die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes im Wald, insbesondere im Hinblick auf seine vielfältigen Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen, kann nur in stabilen, elastisch reagierenden Waldökosystemen gewährleistet werden. Daher müssen gerade in säurebelasteten Waldökosystemen Waldböden **restauriert** werden, um ihre Funktion als Säurepuffer, Nährstoffspeicher und Wasserfilter aufrecht zu erhalten, bzw. wiederherzustellen. Das Konzept einer in ökosystemare Prozesse eingebundenen Waldbodenrestauration über den Umbau von Auflagehumusformen in Mineralbodenhumus und über die Verteilung von Basen durch die Wurzel- und Blattstreu von in Nadelholzbeständen eingebrachten Laubbäumen wird in zwei Versuchsanlagen, im **Südlichen Pfälzerwald (Forstamt Pirmasens)** und in der **Westlichen Hoheifel (Forstamt Hillesheim)** überprüft.

Dabei soll insbesondere untersucht werden, ob

- allein durch den Umbau von Nadelbaumbeständen in buchenreiche Mischbestände oder zusätzlich durch Kalkung und Düngung Mineralbodenhumus gebildet, Basen im Nährstoff-

kreislauf angereichert und Tonminerale stabilisiert werden,

- beim Umbau von Nadelbaumbeständen in buchenreiche Mischbestände plätzeweise Bodenmeliorationen (Pflanzloch/-streifen oder Saatplätze) in Ergänzung zur Oberflächenkalkung für die Bodenrestauration notwendig sind,
- kleinflächige Meliorationen (Pflanzloch/-streifen oder Saatplätze) die Biomasseproduktion der eingebrachten Laubbäume erhöhen und die Wurzelbiomasse und vor allem deren Tiefenverteilung beeinflussen und ob
- mit den karbonatisch und silikatisch gebundenen Düngern eine ausreichende Ernährung der anspruchsvolleren (Laub-)Bäume dauerhaft erreicht wird.

2002 wurden in der Versuchsanlage im Forstamt Hillesheim Pflanzenhöhe und Wurzelhalsdurchmesser der 1996 gepflanzten Buchen bestimmt. Außerdem wurden Nadel- und Blattproben gewonnen und chemisch analysiert.



Projekt: *„Natürliche Regeneration von Waldböden nach mechanischer Belastung durch Befahrung“ (in Zusammenarbeit mit der Univ. Trier, Bodenkunde, Prof. Dr. Schröder und Dr. Raimund Schneider)
(Natural regeneration of forest soils after mechanical strain by driving)*

In diesem Projekt sollen auf den folgenden drei Standorten in Rheinland-Pfalz auf langfristig zu beobachtenden Versuchsflächen die natürliche Re-

generation von Waldböden nach Befahrungsschäden untersucht werden:

1. FA Kempfeld: Pseudogley-Lockerbraunerde aus decklehm-überdeckter Quarzit-Fließerde
2. FA Entenpfuhl: Pseudogley/Stagnogley aus decklehm-haltiger Tonschiefer-Fließerde
3. FA Merzalben: Schwach podsolige Braunerde aus Mittlerem Buntsandstein

Die Versuchsfläche im Forstamt Merzalben wurde bereits 1989 im Rahmen einer planmäßigen Flächenräumung angelegt. Ziel der damaligen Untersuchung war es, die bodenökologischen Auswirkungen einer maschinellen Flächenräumung auf einem als unempfindlich geltenden Sandboden zu erfassen und zu dokumentieren. Neben unbefahrenen Teilflächen wurden mit einem „MB-Trac 1500“ Teilflächen einfach und fünffach befahren. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde im Jahr 2002 der Zustand der Teilflächen 13 Jahre nach der Befahrung untersucht.

Die bodenphysikalischen Untersuchungen ergaben selbst nach dieser langen Zeit eine relative Verdichtungszone in 10 bis 20 cm Tiefe in den befahrenen Teilflächen, die bei der Fünffachbefahrung am stärksten ausgeprägt war. Die obersten 10 cm zeigten bereits deutlich günstigere bodenphysikalische Werte als 1989, was auf die Lockerungswirkung, bzw. Regenerationsprozes-

se durch eine intensive Durchwurzelung der Sukzessionsvegetation und z. T. auf die wühlende Arbeit von Wildschweinen zurückzuführen ist. Die Wasserversickerung (Infiltrationsraten nach HOFMANN) auf den befahrenen Teilflächen war noch immer deutlich gestört im Vergleich zu den unbefahrenen Teilflächen.

Aufgrund der sehr heterogenen Bodenverhältnisse konnten keine eindeutigen Unterschiede bei den bodenmechanischen Kennwerten festgestellt werden. Es wurde lediglich ein genereller Zusammenhang zwischen den Lagerungsdichten und der Vorbelastung deutlich.

Die Bodenaggregate der obersten 5 cm waren entsprechend der Befahrungsintensität instabiler, so dass vermutet werden darf, dass es seit der Befahrung nicht zu einer Restabilisierung der Aggregate gekommen ist. In tieferen Bereichen konnten wegen dem überwiegenden Einzelkorngefüge keine Aggregatunterschiede festgestellt werden.

Aufgrund der nur geringen Durchwurzelung, der geringen biologischen Aktivität der sauren Buntsandsteinböden und dem Fehlen von organischer Substanz sowie dem geringen Tongehalt konnte für den Verdichtungsbereich in 10 – 20 cm Tiefe kein Regenerationsverhalten nachgewiesen werden.



Projekt: *„Mechanisierte Pflanzverfahren mit alternativen Bodenrestorationstechniken“ (in Zusammenarbeit mit der Univ. Trier, Bodenkunde, Prof. Dr. Schröder)*
(Methods of mechanised planting combined with alternative soil restoration technologies)

In Eifel und Hunsrück waren besonders Nadelwälder auf basenarmen, flachgründigen, skelettreichen und häufig verdichteten, staunassen Böden aus Solifluktionsschuttdecken bzw. Fließerden von den verheerenden Sturmereignissen der Jahre 1990 betroffen. Ein Großteil der Wiederaufforstung von Windwurfflächen und Kahlschlägen erfolgte seinerzeit durch den Einsatz großer Maschinen. Diese sollten durch bodenvorbereitende Lockerungs- und Kalkungsmaßnahmen den leicht durchwurzelbaren Bodenraum

vergrößern und die Nährstoffsituation verbessern. Angestrebt wurde eine Erhöhung der Anwuchsrate durch verstärkte initiale Wurzelentwicklung, eine langfristig tieferreichende Verankerung der Bäume im Boden und damit eine Verbesserung der Standsicherheit ebenso wie der Standortproduktivität.

Die Bodenbearbeitung im Wald - auch zur Kulturvorbereitung - ist allerdings heftig umstritten. Daher werden in diesem Projekt die kurz-, mittel- und langfristigen Auswirkungen der Baggerpflanzung, einer Streifenfräse (Pein-Plant), einer flächig arbei-

tenden Fräse (KROHN) und einer plätzweisen Bodenlockerung und -kalkung (hier 10 kg/Pflanzplatz) durch den ROTREE untersucht. Kontinuierlich werden in den durch den ROTREE bearbeiteten Feldern Sickerwasserproben gewon-

nen und TDR-Messungen durchgeführt. Außerdem wurden im Berichtsjahr in allen Versuchsvarianten die Pflanzenhöhen und Wurzelhalsdurchmesser erfasst und Blattproben gewonnen und chemisch analysiert.



Projekt: *„Der Einfluß der Pflanzlochkalkung auf die Vitalität und Durchwurzelung von Stieleichen auf Pseudogleystandorten in Abhängigkeit von den bodenchemischen und physikalischen Verhältnissen in der Rhizosphäre“*
(The influence of lime fertilizing in planting holes on vitality and roots of pedunculate oaks on simili-gley sites dependent on soil chemical and physical relations in the rhizosphere)

Auf stark degradierten Standorten, insbesondere zur Vorbereitung von anspruchsvolleren Laubbaumpflanzungen nach Nadelwald, ist es vielfach notwendig, den bodenchemischen Zustand des potentiellen Wurzelraumes zu verbessern. Bei der Methode der Lochpflanzung bietet es sich an, das ausgehobene Bodensubstrat mit Dolomit und evtl. Phosphat zu durchmischen und die Pflanzenwurzel in das Mischsubstrat zu setzen. Im Forstamt Neupfalz werden die Auswirkungen der Loch-

pflanzung mit dem Erdbohrer auf die Wurzeln von Stieleichen in Varianten mit und ohne Kalkung untersucht. Es wird auch der Frage nachgegangen, ob sich durch die Veränderung des chemischen Wurzelmilieus durch die Pflanzlochkalkung die Pflanzenvitalität steigern läßt. 2002 wurden Höhe und Durchmesser der Eichen in den Versuchsvarianten gemessen sowie Blattproben für chemische Analysen gewonnen.



Projekt: *„Diagnostischer Düngeversuch in jungen Douglasien mit Wuchsdeformationen“*
(Investigations on the effects and solubility of different phosphate fertilizers)

In diesem Projekt wird die Ursache von Wuchsdeformationen in den Kronen junger Douglasien im Hinblick auf Spurenelementmangel bzw. Nitratüberernährung untersucht.

Hierfür wurde ein Douglasienbestand im Forstamt Irrel ausgesucht und eine entsprechende Versuchsanlage mit 16 Untersuchungspartellen (4 Versuchsvarianten mit dreifacher Wiederholung) eingerichtet. Neben einer unbehandelten Kontrollvariante wurde 1998 in den „**Stickstoffparzellen**“ zur Fixierung überflüssigen Nitrat-Stickstoffs Rohrzucker gleichmäßig ausgestreut. In einer „**Molybdänvariante**“ wurde Na-Molybdat gelöst in Wasser aufgesprüht und danach der Boden

durch leichtes Hacken gelockert, da Molybdän in höchst oxidiertester Form am besten pflanzenverfügbar sein soll. In einer „**Borvariante**“ wurde Borax aufgesprüht. Eine Auswertung der Düngeversuche ergab, dass die Mo- und B-Düngung zu ausreichenden Nadelspiegelwerten an Mo bzw. B in den rezenten Nadeln geführt hat, jedoch ohne die Wuchsform positiv beeinflusst zu haben. Die Mo-Düngung verbesserte gleichzeitig die Fe- und N-Versorgung und verhinderte durch die Unterstützung der Nitratreduktasebildung eine übermäßige Nitratversorgung der Nadeln. Die B-Düngung verminderte über ein antagonistisches Verhalten zu Cu die Cu-Nadelspiegelwerte und verstärkte in

Folge die Wuchsdeformationen. Um zu untersuchen, ob Cu-Mangel Auslöser der Wuchsdeformationen sein kann, wurden die Cu-Mangelparzellen im Sommer 2001 mit einer Cu-Lösung gedüngt.

1998, 1999 und 2001 wurden alle Douglasien in den Untersuchungspartellen bezüglich ihrer Kronenform und ggf. auftretenden Wuchsdeformationen nach einem festen Schlüssel angesprochen. Besonders markante Exemplare wurden in den ge-

nannten Jahren zur Dokumentation fotografiert. Parallel dazu wurden die Nadeln chemisch analysiert, um zu sehen, ob die ausgebrachten Nährelemente von den Bäumen aufgenommen wurden und ob sich daraus Sekundäreffekte (wie Cu-Mangel nach B-Düngung) entwickeln. 2002 wurden die Bäume erneut beprobt und deren Nadeln chemisch analysiert, um einen evtl. Einfluss der Cu-Düngung aus 2002 abschätzen zu können.