

Kapitel 5 | Wald- und Waldgrenzenforschung in Obergurgl –

Vergangenheit und Zukunft

Robert Jandl, Andreas Schindlbacher, Silvio Schüler, Dieter Stöhr

Zusammenfassung

Der Versuchsstandort Poschach/Obergurgl ist seit mehr als fünf Jahrzehnten Gegenstand forstlicher Forschungen. Die Projekte nahmen ihren Anfang, als in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts durch die anthropogen verursachten Waldverluste im Bereich der Waldgrenze die Schutzfunktion des Waldes dramatisch verringert wurde. Für die Durchführung von Hochlagenaufforstungen waren keine Referenzen aus vergleichbaren Regionen verfügbar, sodass in einem angewandten Forschungsprojekt die erforderlichen Maßnahmen entwickelt wurden. Das bleibende Ergebnis dieses Projektes ist das Wind-Schnee-Ökogramm, das Hilfestellungen bei der räumlichen und zeitlichen Planung von Hochlagenaufforstungen bietet. Später hat sich das Forschungsinteresse anderen Themen zugewandt. Vor allem die Kohlenstoffspeicherung im Boden sowie in der Biomasse von Wäldern und Waldersatzgesellschaften im Bereich der alpinen Waldgrenze ist heutzutage von großem Interesse, da sie die nationale Bi-

lanz der Treibhausgasemissionen beeinflusst. Ein weiteres drängendes Thema ist die Entwicklung von Konzepten der adaptiven Waldbewirtschaftung, um die Stabilität der Wälder auch unter geänderten Klimabedingungen und im Hinblick auf demographische Verschiebungen langfristig sicherzustellen.

Abstract

The experimental site Poschach/Obergurgl is already investigated for more than five decades. Research started when the protection function of forests was diminished in the first half of the 20th century due to earlier anthropogenic reductions of the forested area in the timberline ecotone. For afforestation projects in high elevation no suitable reference cases from comparable regions were available. Consequently the appropriate measurements were developed in a project of applied science. The lasting product of the project is the Wind-Snow Ecogramme supporting practical fore-

stry in the spatial and temporal organization of afforestation projects in the timberline ecotone. Later research addressed other topics. Especially the sequestration of carbon in soils as well as in biomass of forests and forest-replacing plant communities is nowadays of relevance due to its bearing on the national budget of greenhouse gas emissions. Projects on the topic are ongoing. A pressing need concerns the development of concepts for adaptive forest management in order to ensure the stability of forests under changing climatic and demographic conditions.

Geschichtlicher Anlass für die forstliche Forschung

Siedlungen im Gebirge sind zahlreichen Naturgefahren wie Hochwässern und Muren im Sommer und Lawinen im Winter ausgesetzt. Wälder können die Gefahren wesentlich verringern, wenn sie dauerhaft einen geeigneten Bestandesaufbau aufweisen. In den inneralpinen Gebirgsregionen Österreichs war die wichtigste Funktion des Waldes der Schutz der landwirtschaftlichen Nutzfläche, während die Holzproduktion als sekundär erachtet wurde. Bereits aus der Zeit vor dem Mittelalter sind Beschreibungen über Naturkatastrophen überliefert und sehr früh wurde erkannt, dass gesetzliche Regelungen der Waldnutzung notwendig sind. Im 16. Jahrhundert wurde der Wald vom

Staat in Besitz genommen und die Bevölkerung hatte bescheidene Nutzungsrechte. Nach den napoleonischen Kriegen gab es in Tirol eine kurze Episode, in der die Besitzverhältnisse des Waldes unklar waren. In dieser Zeit trat eine gewaltige Übernutzung des Waldes ein. Die Schuldenlast der Bauern und die Aussichtslosigkeit der Intensivierung des Ackerbaus waren der Anlass für großflächige Rodungen (Schwendungen) zur Erhöhung der Viehbestände und der Vergrößerung der Alm- und Waldweideflächen auf Kosten der Wälder. Dazu kam Streunutzung in den verbliebenen Wäldern und der erhöhte Holzbedarf zur Errichtung der Almhäuser. Der Wald degradierte schleichend und die Schutzwirkung verringerte sich. Lawinen, Muren und Bodenerosion schädigten die Siedlungen und zerstörten die landwirtschaftliche Nutzfläche. Im Bereich der potentiellen Waldgrenze war die landwirtschaftliche Fläche teilweise mit Zwergsträuchern zugewachsen, sodass sowohl der land- als auch forstwirtschaftliche Ertrag verringert wurde. Am Ende des 19. Jahrhunderts wurde ernsthaft an die Aufgabe der Landwirtschaft in den betroffenen Regionen gedacht (Fromme 1957, Fliri 1973, Johann 1986 und 2007, Schreiber 1957).

Zur Sicherstellung der Schutzfunktion des Waldes zum allgemeinen Wohl trat 1852 das Reichsforstgesetz in Kraft. Bereits ab dem Jahr 1884 regelte das Wildbachverbauungsgesetz den Überschneidungsbereich zwischen Forstrecht und

Wasserrecht und machte Raumordnungsmaßnahmen im Wirkungsbereich von Wildbächen und Lawinen durchsetzbar (Plattner 1983, Sauermoser 1988).

Die vielen Beobachtungen über den Zusammenhang des Abflussverhaltens von Wildbächen und der Waldausstattung des Einzugsgebietes wurden im klassischen schweizerischen Vergleich des vollständig bewaldeten Sperbelgraben mit dem schütter bewaldeten Rappengraben erstmals wissenschaftlich rigoros belegt (Hegg et al. 2004). Die hydrologischen Messungen wurden 1903 begonnen und werden als Musterbeispiel ökologischer Langzeitforschung bis zum heutigen Tag fortgesetzt. Dem Schweizer Beispiel folgend sind weltweit eine Reihe von Einzugsgebietsstudien begonnen worden, in welchen der Effekt der Waldbehandlung und verschiedener Umwelteinflüsse auf das Abflussverhalten untersucht wird (Likens et al. 1995, Ellenberg et al. 1986, Matzner 2004). Auch in Obergurgl war die Regulation des Abfluss-Geschehens ein zentrales Thema, wobei auf Erfahrungen aus anderen Tiroler Tälern zurückgegriffen wurde (Stauder 1963).

Zwischen den beiden Weltkriegen war die wirtschaftliche Situation der Forstwirtschaft in den Gebirgsregionen unerfreulich. Sogar im Wirtschaftswald waren die Aufforstungsrückstände erheblich und es fehlten die Mittel für Maßnahmen im Gebirgswald (Schreiber 1957). Die beiden katastrophalen Lawinenwinter 1951 und 1954 mit zahlreichen Todesopfern

und wirtschaftlichen Verlusten, insbesondere in den inneralpinen Tälern, haben den Anlass für verstärkte Bemühungen um die Hochlagenaufforstungen gegeben. Die Hochlagenaufforstungsprojekte waren anfangs mit Mitteln des European Recovery Fund (ERP) kofinanziert. Die Projekte wurden als Integralmelioration bezeichnet, da neben der eigentlichen Aufforstung auch die Landbewirtschaftung der Gefahrensituation angepasst wurde, indem die Waldweide möglichst abgelöst wurde, um die Viehwirtschaft auf den am besten geeigneten Standorten zu konzentrieren (Stauder 1968). Die ersten Hochlagenaufforstungen zeigten teilweise nur bescheidene Erfolge. Besonders flächendeckende Aufforstungen erwiesen sich als problematisch, da viele Pflanzen auf ungünstigen Kleinstandorten wie schneereichen Mulden und windexponierten Geländekanten eingebracht wurden, auf welchen ein erfolgreiches Aufkommen von vornherein nicht zu erwarten war und wo in der Tat die Ausfälle durch Pilzbefall, zum Beispiel bei der Zirbe mit *Scleroderris lagerbergii*, und abiotische Schäden beträchtlich waren. Zudem ist auf den geneigten Hängen die Zugbelastung durch die kriechende Schneedecke eine Gefahr für die Bäumchen, der aber mit technischen Schutzmaßnahmen begegnet werden kann (Markart et al. 2002, Sauermoser 1988).

Ebenso als problematisch erwies sich die Beschaffung von geeignetem Pflanzmaterial, da Hochlagenherkünfte mit

der notwendigen Anpasstheit an die widrigen Bedingungen nur selten fruktifizieren und eine geringere Keimfähigkeit sowie geringere Samengewichte aufweisen (Müller & Schultze 1996). In diversen Projekten wurden daher verschiedene heimische und fremdländische Baumarten getestet, sowie vegetativ vermehrte Pflanzen aus den unterschiedlichsten Provenienzen angebaut (Stern & Zwirger 1980, Weißenbacher et al. 2007 und 2011). Es wurde danach getrachtet, die Projekte auf einer soliden wissenschaftlichen Basis durchzuführen, um die Kleinstandorte identifizieren zu können, auf welchen eine Etablierung von Wald möglich wäre. Dazu wurde an der damaligen Forstlichen Bundesversuchsanstalt eine Arbeitsgruppe für die subalpine Waldforschung gegründet. Diese hat bald Weltruf erlangt und war die Grundlage für die internationale Bedeutung der österreichischen Baumphysiologie, die auch in vielen Publikationen deutlich wird (Tranquillini 1979, Larcher 2001, Körner 2003a, Wieser & Tausz 2007).

Hochlagen-Aufforstungsprojekt Poschach/Obergurgl

Der Versuchsstandort Poschach/Obergurgl repräsentierte die Situation einer Siedlung an der oberen Höhengrenze und die Herausforderung für die Hoch-

lagenaufforstung zur Wiederherstellung der Schutzwirkung des Waldes. Im Ötztal wurde die Waldfläche zwischen 1774 und 1880 um mehr als 50% reduziert. Danach war bis zum Jahr 1953 noch eine leichte Entwaldungstendenz zu beobachten. Einzelgruppen von vitalen Zirben in 2400 m Höhe zeigten die mögliche Ausdehnung des Waldes. Die Landwirtschaft im Gurgler Tal brachte bescheidene Erträge der Hauptfrüchte Kartoffel, Rüben und Kohl. Die Tragfähigkeit der Region ‚Oberes Ötztal‘ wurde in der Mitte des 19. Jahrhunderts mit 120 Personen beziffert und diese Anzahl wurde unter anderem durch eine restriktive Heiratspolitik strikt eingehalten (Fromme 1957, Moser & Peterson 1981). Die Landnutzung wurde von alpinem Grasland und von Bergmähdern dominiert. Der Hochwald, bestehend aus Lärchen und Zirben, und die Zwergstrauchheiden nahmen weniger Fläche ein und wurden zudem beweidet (Abb. 1). Das Gebiet der Gemeinde Sölden ist derzeit zu 8% bewaldet, wobei Lärchen-Zirbenwälder (*Larici-Pinetum cembrae*) dominieren (Kilian et al. 1994, Erschbamer 2007) und in Talnähe auch Fichte (*Picea abies*) und Weißkiefer (*Pinus sylvestris*) vorkommen (Tab. 1).

Der Ortsteil Poschach wurde 1951 von einer Lawine beschädigt, deren Abrissgebiet zwischen der aktuellen und der potentiellen Waldgrenze in etwa 2300 m Seehöhe lag (Fromme 1957). Es lag auf der Hand, dass Maßnahmen zum Schutz vor Naturgefahren erforderlich waren. Angesichts

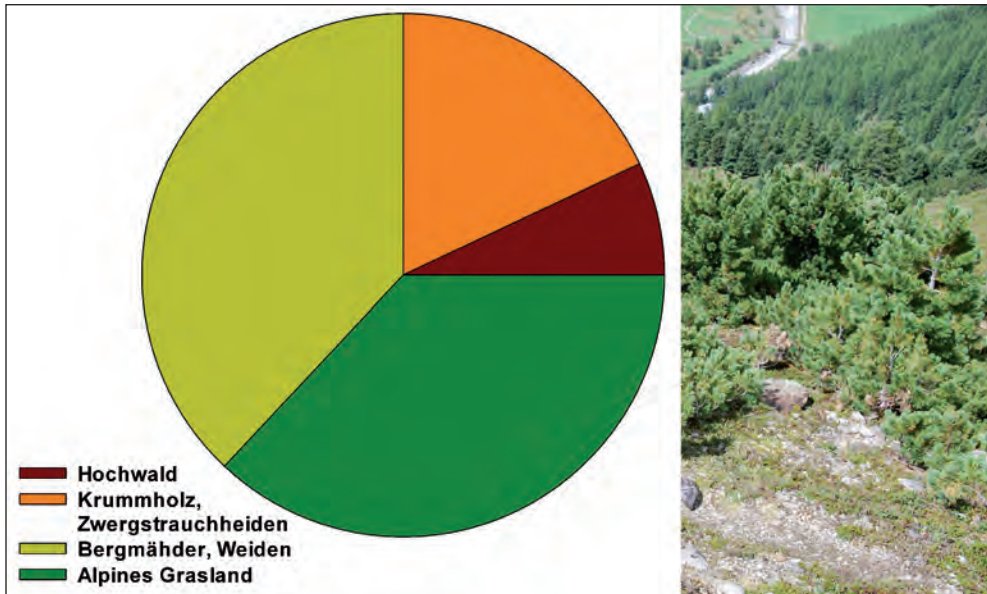


Abb. 1:
Anteile verschiedener Formen der Landnutzung im Gurgler Tal in den frühen 1950er Jahren.
(Quelle: Friedel 1961)

Tab. 1:
Die Waldausstattung der Gemeinde Sölden nach Angaben der Walddatenbank Tirol (ADTLR 2011)

	Fläche [ha]	Besitzverhältnisse	[% der Waldfläche]
Hochwald	3212	Agrargemeinschaften	74
Krummholz	488	Gemeindewald und öffentlich-rechtlicher Wald	9
		Privatwald	17

der hohen Kosten für die Errichtung und Erhaltung von Lawenschutzbauten im Abrissgebiet der Lawinen wurde entschieden, ein Hochlagenaufforstungsprojekt mit Mitteln des ERP Funds unter

Federführung der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt durchzuführen. Das Forschungsprojekt Poschach war ein Musterbeispiel für angewandte Forschung. Die konkrete Frage war, wie in der extrem

schwierigen Lage ein stabiler Waldbestand etabliert werden kann. Der Erfahrungsschatz aus Voruntersuchungen war gering, sodass ein komplexer Geländeversuch eingerichtet wurde.

Der Lärchen-Zirbenwald reichte bis in eine Seehöhe von 2050 m. Das Versuchsgebiet reichte bis ans obere Ende der Beerrinne, die in 2220 m Seehöhe in eine Verebnung übergeht. Die Zone oberhalb der aktuellen Waldgrenze wurde als ‚Kampfzone des Waldes‘ bezeichnet. Im Gebiet wurden umfangreiche Kartierungen der Vegetation, des Bodens, der Geländemorphologie gemacht und einige Parameter (z.B. Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Windrichtung und -stärke, Bodentemperatur, Bodenfeuchte und Wasserverfügbarkeit, Schneehöhen und Ausaperung) wurden in zwei Bänden publiziert (Forstl. Bundesversuchsanstalt 1961 und 1963). Das Messprogramm

war damals wissenschaftliches Neuland. Die Bedeutung der Bodentemperatur für die Keimbetteigenschaften der Jungpflanzen und die mikrobiologische Aktivität wurden erstmals für subalpine Standorte beschrieben und der Zusammenhang zwischen Vegetation und der Schneebedeckung wurde explizit dargestellt (Tab. 2). Außerdem wurde gezeigt, dass die Vegetationsperiode auf den Standorten nur 70 bis 90 Tage lang ist, in der Tat eine sehr kurze Zeit, um die Entwicklung abzuschließen und frosthart in den nächsten Winter zu kommen (Aulitzky 1961, Friedel 1961, Turner 1961).

Das am deutlichsten herausragende Ergebnis ist das ‚Wind-Schnee-Ökogramm‘, in dem der Geländebefund zur Handlungsempfehlung für die Aufforstung verdichtet wurde (Abb. 2). Dabei wird aus der Artenkombination der krautigen Vegetation auf die Schneehöhe und

Tab. 2:

Zusammenhang zwischen Vegetationsform und Höhe der Schneedecke, die Hinweise auf die Maßnahmen zur Aufforstung geben

Höhe der Schneedecke im April [cm]	Pflanzengesellschaft	
5-10	<i>Alectorietum ochroleucae</i>	Windflechtenheide
10-30	<i>Loiseleurietum procumbentis</i>	Gemsheide
30-80	<i>Vaccinetum uliginosi</i>	Rauschbeerheide
80-200	<i>Rhododendretum ferruginei</i> + <i>Vaccinetum myrtilli</i>	Rostrote Alpenrose und Heidelbeere

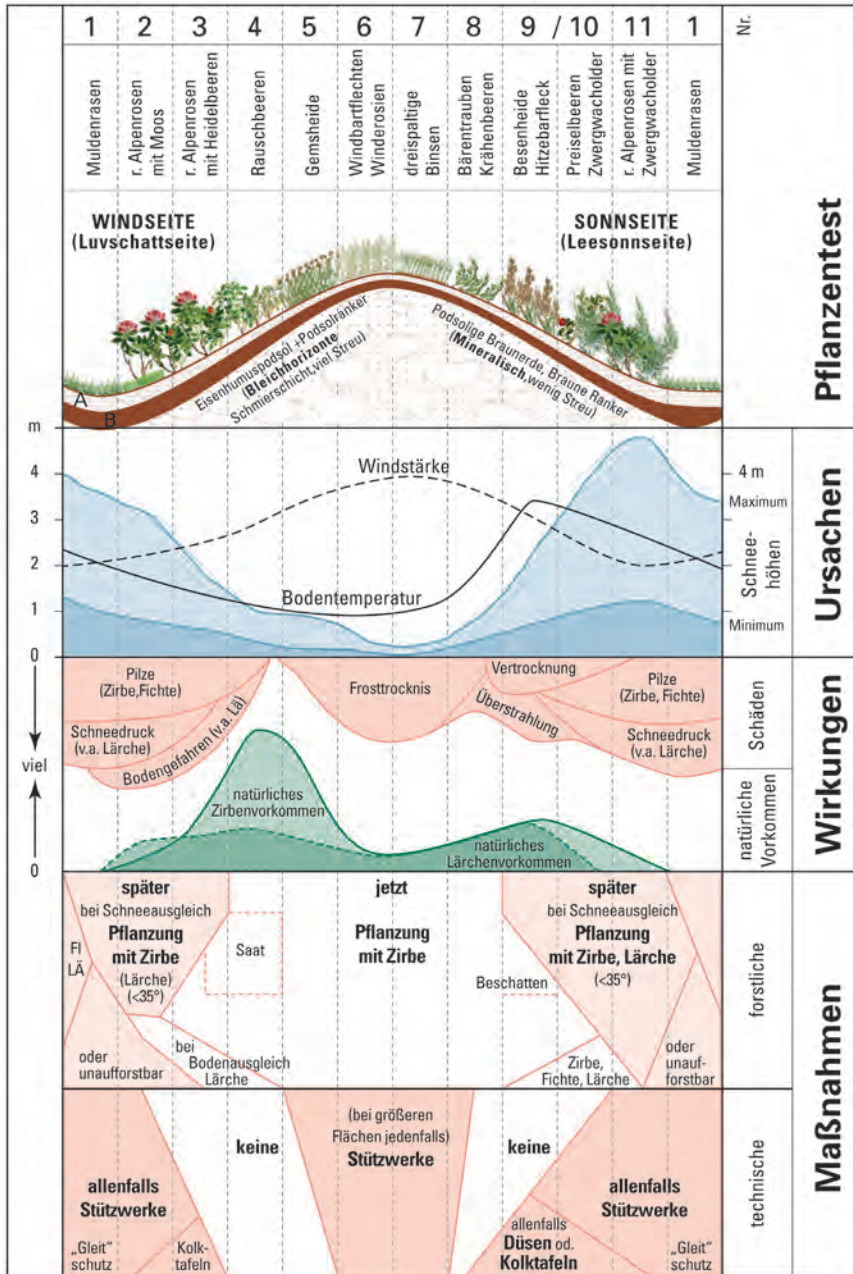


Abb. 2: Vorläufiges Wind-Schnee-Ökogramm als Hilfsmittel für die Hochlagenaufforstung in den österreichischen Innenalpen (Aulitzky 1963).

die Bodentemperatur geschlossen. Daraus lässt sich die Ursache von Schäden eruieren und zuletzt ist es möglich, die Hochlagenaufforstung mit forsttechnischen Maßnahmen zu unterstützen. Ein Zirben-Aufforstungsprojekt ist zeitlich am besten im späten Frühjahr durchzuführen. Räumlich beginnt es auf den Rippen eines Hanges, also dort, wo die natürliche Ausbreitung der Zirbe auch aktuell am deutlichsten stattfindet. Wenn eine Gruppe von Bäumchen der Rottenstruktur nach Mayer (1976), der schwierigsten Entwicklungsphase, entwachsen ist, verändert sie den Kleinstandort derart, dass die Aufforstung um die entstandene Baumgruppe fortgesetzt werden kann und in Folge der bereits vorhandene Wald das Aufkommen weiterer Jungpflanzen begünstigt. In den schneereichen Mulden eines Hanges sind zusätzliche Schutzmaßnahmen erforderlich, um die Pflanzen vor Schneegleiten zu schützen (Aulitzky 1963 und 1992).

Der Erfolg des Hochlagenaufforstungsprojektes Poschach wird in Abb. 3 ersichtlich. Rezent reicht der Wald viel höher hinauf als in der Vergangenheit. Die antreibenden Faktoren dafür sind vielfältig und werden unter dem Sammelbegriff ‚globale Veränderung‘ zusammengefasst. Dieser beschreibt den demographischen Wandel, der durch die Änderung der beruflichen Orientierung weg von Arbeitsplätzen in der Landwirtschaft zur Aufgabe der hochgelegenen Bergmähder und Weideflächen führt, andererseits ist der landwirtschaftliche Ertrag dieser Flächen aus betriebswirtschaftlichen Überlegungen von untergeordneter Bedeutung. Ganz entscheidend wird der Anstieg der Waldgrenze und die Wiederbewaldung der Zwergstrauchheiden vom Klimawandel begünstigt.

Die Projektlinie der Hochlagenaufforstungen wurde anfangs der 1970er Jahre in Obergurgl aufgegeben und nach Haggen



Abb. 3: Ansicht der Ortschaft Obergurgl im Jahr 1920 (links) und 2007 (rechts). Im Hintergrund oberhalb der Kirchturmspitze ist die höhere Ausdehnung des Waldes in der Gegenwart zu erkennen. (Foto 1920: Alpine Forschungsstelle Obergurgl, Foto 2007: Robert Jandl)

im Sellrain und zu anderen Standorten verlegt. In Haggen werden gemeinsam mit der Wildbachverbauungsbehörde praxisnahe Versuche durchgeführt. Dort wurde auch erstmals der Wasserhaushalt einer Hochlagen-Aufforstungsfläche im Vergleich mit der benachbarten Zwergstrauchheide untersucht (Kronfuss 1983, Markart 2000).

Ökosystemleistungen des Waldes – Kohlenstoffsequestrierung

Der Begriff ‚Ökosystemleistungen des Waldes‘ wird weit gefasst. Neben der tra-

ditionellen Schutzfunktion des Waldes werden der Beitrag zur Festlegung von Kohlenstoff in der Biomasse und im Waldboden, die Bedeutung für die Bereitstellung von hochwertigem Wasser, die Biodiversität und die landschaftliche Schönheit als Werte von Waldökosystemen genannt. Diese Werte sind ökonomisch bewertbar, aber nur teilweise marktfähig (Naidoo et al. 2008, Schröter et al. 2005, Spangenberg & Settele 2010, Thuiller et al. 2005). Die Hoffnungen der Waldbesitzer auf ein lukratives Nebenprodukt der forstlichen Bewirtschaftung haben sich bisher nicht ganz erfüllt. Die Ökosystemleistung ‚Festlegung von Kohlenstoff‘ ist marktnahe, da durch die Anrechenbarkeit terrestrischer Kohlenstoffsinken in der

österreichischen Treibhausbilanz eine Valorisierung möglich ist. Anhand von Abb. 4 wird deutlich, dass in Hochlagen dem Kohlenstoffspeicher im Waldboden eine große Bedeutung zukommt. Hier ist mehr Kohlenstoff gebunden als in der oberirdischen Biomasse, da die Produktivität der Gebirgswälder gering ist und andererseits durch die

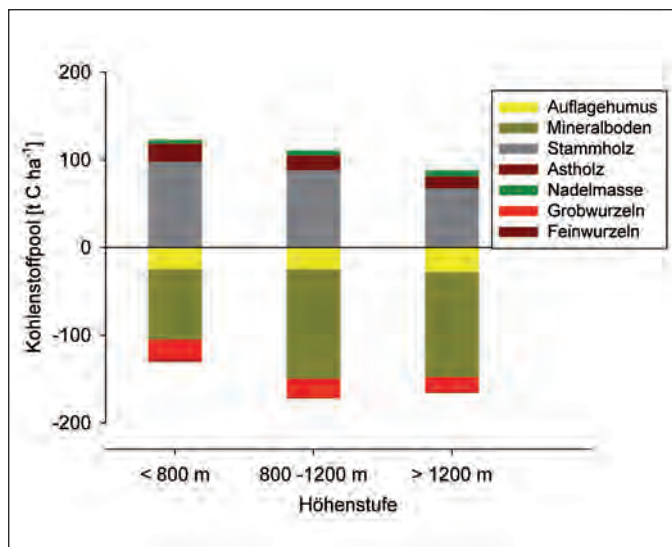


Abb. 4:

Kohlenstoffvorrat in den österreichischen Wäldern. Datenquellen: Österreichische Waldinventur und Österreichische Waldbodenzustandsinventur; Projekte des Bundesforschungs- und Ausbildungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW); basierend auf einer Stichprobe von 140 Waldbeständen

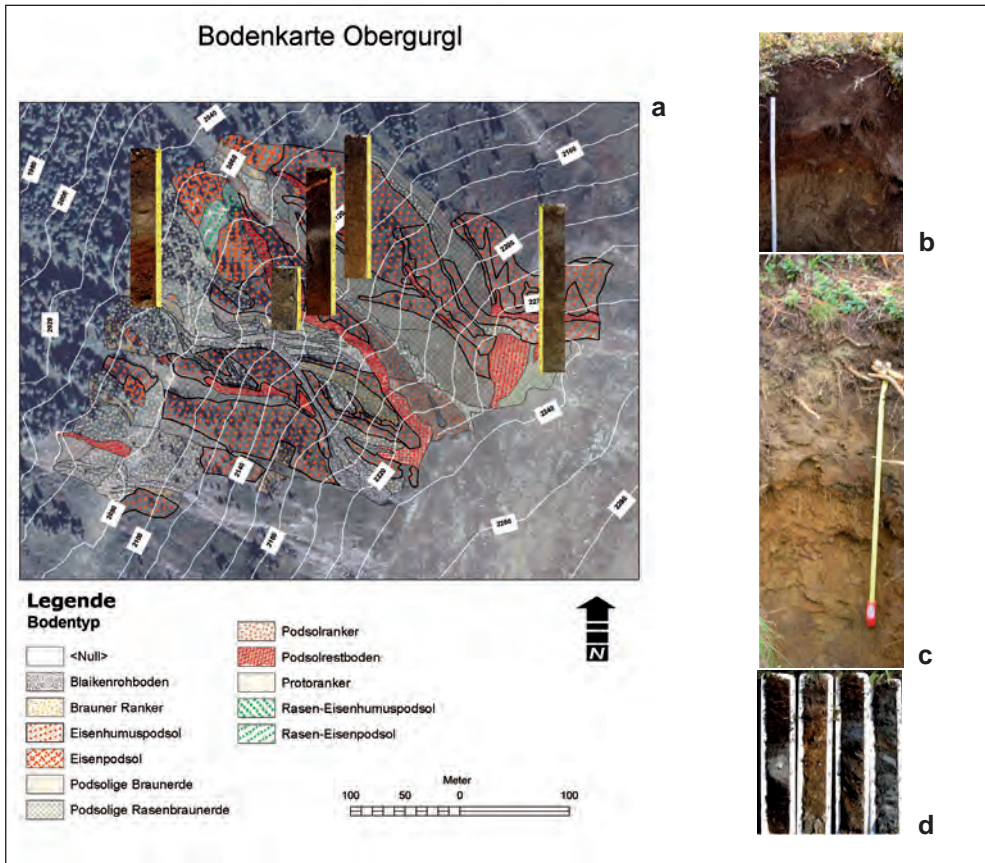


Abb. 5:

Die Verteilung von Bodentypen im Versuchsgebiet Poschach/Obergurgl mit einigen Leitprofilen (a), ein charakteristisches Bodenprofil des alten Zirbenwaldes (b), der Zwergstrauchheide (c) und ein Eindruck der kleinräumigen Variabilität von Bodentypen (d)

Kürze der Vegetationsperiode und die niedrigen Temperaturen die Bedingungen für die Mikroorganismen des Bodens so ungünstig sind, dass Bodenkohlenstoff eher konserviert als abgebaut wird.

Im Projektgebiet Poschach war bei Geländearbeiten der Eindruck entstanden, dass die Böden des alten Zirbenwaldes weniger Kohlenstoff enthalten als die Bö-

den der höher gelegenen Zwergstrauchheiden. Der quantitative Nachweis ist aufgrund der kleinräumigen Variabilität aufwendig (Abb. 5). Der Geländebefund widerspricht allerdings der gängigen Auffassung, dass Waldböden aufgrund der kontinuierlichen und erheblichen Dotierung mit organischer Substanz durch den ober- und unterirdischen Streufall reicher

an organischer Substanz sind als Böden mit anderer Vegetationsbedeckung und Bewirtschaftungsform.

Diese Beobachtung war der Anlass, das Projektgebiet mehr als 50 Jahre nach dem Beginn der ersten Versuche zur Hochlagenaufforstung wieder zu untersuchen. Mit einer Nachkartierung des Bodens wurden die historischen Erhebungen mit den neuen Entwicklungen der Bodensystematik in Einklang gebracht (Neuwinger und Czell 1961, Stöhr 2007, Jandl et al. 2008). Außerdem wurden Bodenproben für die chemische Analyse gezogen. Die Böden sind dem geologischen Material zufolge stark sauer und haben eine extrem geringe Kationenaustauschkapazität. Die mikrobielle Biomasse des Bodens ist ebenfalls gering. Alle diese Ergebnisse stimmen mit den Erwartungen an Böden im Hochgebirge gut überein.

Im Rahmen des Projektes wurde auch die Bodentemperatur gemessen (Abb. 6); einerseits um an die historischen Messungen anzuschließen, andererseits weil dieser Parameter ein wichtiger Zeigerwert für die obere Waldgrenze ist (Aulitzky 1963,

Körner & Paulsen 2004). Demnach friert der Boden im Winter nur in einer sehr kurzen Zeit. Trotz der extremen Kälte in der freien Atmosphäre übt die Schneedecke ihre isolierende Wirkung aus und ermöglicht den Bodenmikroorganismen sogar die Fortsetzung der Veratmung von Bodenkohlenstoff mit einer geringen Rate (Hubbard et al. 2005, Schindlbacher et al. 2007).

Der biogeochemische Kreislauf des Bodenkohlenstoffes im Waldgrenzen-Ökoton ist noch nicht befriedigend geklärt. In weiteren Forschungsprojekten soll geklärt werden, warum und wie deutlich sich die Kohlenstoffvorräte in den Böden unter Zirbenwald und Zwergstrauchheiden unterscheiden. Dazu werden mehrere Hypothesen verfolgt: (1) die Pflanzengesellschaft beeinflusst die bodenmikrobiellen Prozesse durch die Modifizierung des Kleinklimas, (2) durch die Qualität der gebildeten Streu, (3) durch die Menge des Streufalls, oder der Wechsel der Vegetationsform löst im Boden einen ‚priming‘-Effekt aus (Fontaine et al. 2004, Kuzyakov 2010; Abb. 7).

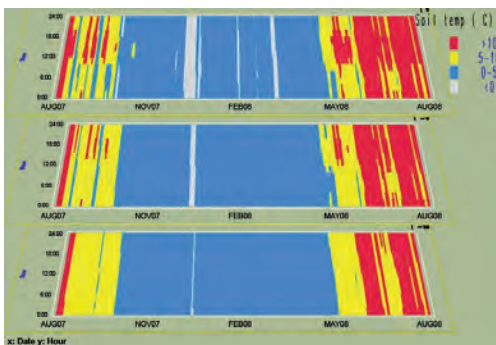


Abb. 6:

Bodentemperatur am Standort Poschach/Obergurgl oberhalb der aktuellen Waldgrenze in der Zwergstrauchheide. Auf der x-Achse ist das Datum, auf der y-Achse die Uhrzeit eingetragen. Die drei Panele zeigen die Bodentiefen 5 cm (oben), 15 cm (Mitte) und 30 cm (unten).

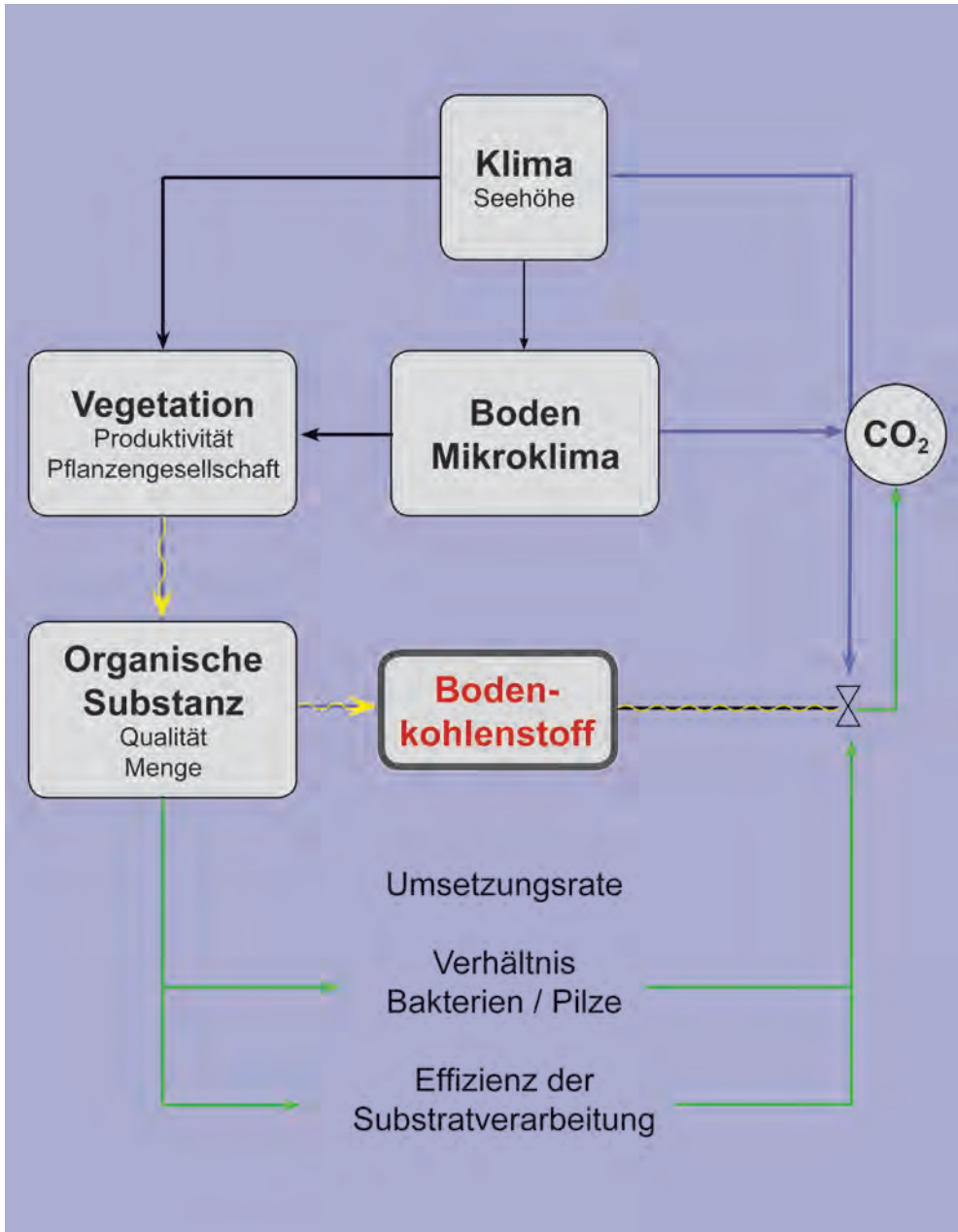


Abb. 7:
Hypothesen über den Zusammenhang zwischen dem Bodenkohlenstoffvorrat, der Vegetation und dem Klima

Herausforderungen für die Hochlagenaufforstung in der Zukunft

Die wichtigsten Herausforderungen zukünftiger Hochlagenaufforstungen sind der Klimawandel und fortschreitende Landnutzungsänderungen. Der Klimawandel äußert sich in der Erwärmung, der Veränderung der zeitlichen Verteilung und Menge des Niederschlages und in der Veränderung der Häufigkeit von Extremereignissen. Am belastbarsten gelten den Klimaforschern die Temperatur-Szenarien (Abb. 8). Das Intergovernmental

Panel of Climate Change (IPCC 2007) hat mehrere Szenarien der Emission von Treibhausgasen entwickelt, welche zur globalen Erwärmung führen. Szenario A1B zeigt eine Welt mit raschem ökonomischen Wachstum und einer mittelfristig wachsenden Weltbevölkerung, die sich aus einem Mix aus fossilen und erneuerbaren Energiequellen bedient. Szenario B1 unterstellt eine raschere Anpassung der Menschheit an die Herausforderungen des Klimawandels und ist daher eine Variante mit einer langsameren globalen Erwärmung. Die globalen Klimaszenarien haben nur eine sehr grobe räumliche

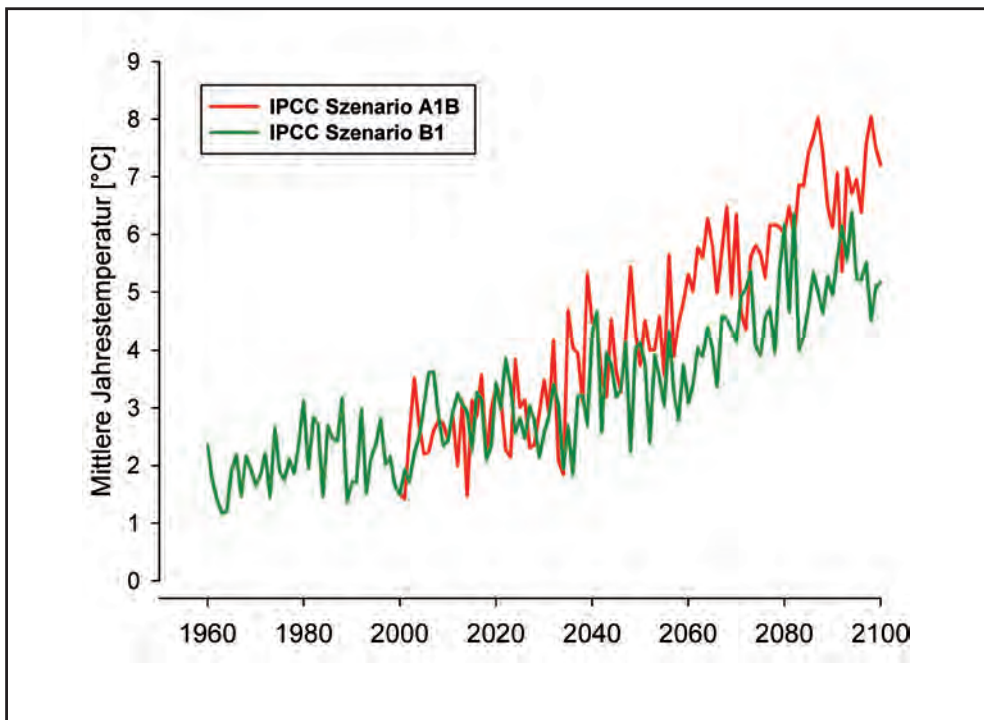


Abb. 8: Mittlere Jahrestemperatur in Obergurgl nach den Emissionsszenarien A1B und B1 des IPCC

Auflösung. Daher werden sie regionalisiert. Derzeit kann eine räumliche Auflösung von 10×10 km erreicht werden. Abb. 8 zeigt bis zum Jahr 2100 eine Temperaturerhöhung zwischen 3 und 5°C . Ungeachtet der verschiedenen Modellansätze zeigen bereits die Messungen der Vergangenheit, dass der Alpenraum sich stärker erwärmt als im globalen Mittel (Auer et al. 2007): während beispielsweise die globale Temperatur seit Mitte des 19. Jahrhunderts im Mittel um ca. $0,8^{\circ}\text{C}$ gestiegen ist, stiegen die Temperaturen im österreichischen Alpenraum um etwa das Doppelte, um knapp $1,6^{\circ}\text{C}$. Setzt sich dieser Trend in gleichem Maße in der Zukunft fort, so impliziert das große Veränderungen. Zum Beispiel muss bei Aufforstungen der Baumgenetik eine verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet werden, denn aufgrund der langen Umtriebszeit von Schutzwäldern werden die Bäume in Zukunft anderen Klimabedingungen ausgesetzt sein, als bei der Pflanzung (Zwerger & Schüler 2008).

Allein der Temperatureffekt würde einer Verschiebung der Vegetation zwischen 250 und 500 Höhenmetern entsprechen. Versuche mit verschiedenen Baumarten zeigen, dass derzeit die heimischen Baumarten noch das größte Wuchspotential und die höchste Schadresistenz aufweisen (Weißbacher et al. 2011). Ob dies aber auch unter veränderten Klimabedingungen gilt, kann derzeit noch nicht beantwortet werden. Eventuell wird fremdländischen Baumarten zur Stabilisierung von

Waldgrenzregionen in Zukunft eine höhere Bedeutung zukommen (Zwerger & Schüler 2008, Abb. 9).

Bei der Stabilisierung der Schutzwälder und der Anpassung an veränderte Umweltbedingungen spielt neben den Aufforstungsmaßnahmen der natürliche Anstieg der Baumgrenze eine wichtige Rolle. Dabei stellt sich die Frage, ob die natürlichen Prozesse, die einen schnellen Anstieg der Baumgrenze ermöglichen, intakt sind (z.B. Namkoong et al. 1996). Wichtig in diesem Zusammenhang sind die Sicherung der Reproduktion der Bäume (z.B. Auftreten von Samenjahren) und das Vorhandensein von Samen ausbreitenden Vektoren (z.B. Tannenhäher für die Zirbe). Aus wissenschaftlicher Sicht stellt sich die Frage, wie groß die Zeitverzögerung zwischen Klimaerwärmung einerseits und den natürlichen Ausbreitungsprozessen an der Waldgrenze andererseits ist.

Herausforderungen für die Bewirtschaftung des Waldes in Hochlagen in der Zukunft

Der Wald ist vielfach unter Druck. Die oben beschriebenen klimatischen Stressoren beeinflussen auch die potentielle biotische Schädigung der Wälder. Unter künftigen Klimabedingungen werden Schädlinge ihr Verbreitungsgebiet ausbauen können. Schon jetzt ist etwa



Abb. 9:

Hochlagenaufforstungen als biologische Verbauungen sind ein unverzichtbarer Bestandteil von Lawinenschutzmaßnahmen. Das Foto zeigt eine Fichtenstecklingsfläche in etwa 2200 m Seehöhe bei Kappl (Tirol). (Foto: Lambert Weißenbacher)

der Borkenkäfer als Fichtenschädling in Regionen anzutreffen, die in klassischen Lehrbüchern (z.B. Schwerdtfeger 1981) als ‚nicht gefährdet‘ galten. Zur heimischen Schädlingspopulation ist noch mit einer neu einwandernden Population zu rechnen. Das Bild wird zunehmend komplexer, wenn man auch bedenkt, dass zudem Antagonisten und Protagonisten wirksam werden. Ein Szenario über die künftige forstentomologische Situation ist daher extrem spekulativ. Ein weiterer Schadfaktor sind Sturmschäden, von de-

nen behauptet wird, dass sie im Zuge des Klimawandels häufiger werden (Gardiner et al. 2010). Für die Schutzwälder der höheren Lagen sind diese Schadfaktoren besonders gefährlich, denn die phytosanitäre Aufarbeitung von Schadholz ist in diesen Lagen kaum wirtschaftlich zu bewältigen. Diese Störungen der Waldökosysteme beeinträchtigen unmittelbar die Schutzfunktion der Wälder, sie vermindern aber auch die Kohlenstoffspeicherung im Wald und verändern die Hydrologie (Körner 2003b). Die natürlichen

Belastungsfaktoren werden von der Unsicherheit der künftigen Bewirtschaftungsintensität der Wälder überlagert. Die geringer werdende Kapazität an Arbeitskräften, die Erschließung neuer Flächen für den Ski-Tourismus, das Verhalten der zunehmend ‚waldfernen‘ Waldbesitzer und die Waldschädigung infolge der hohen Wilddichte lassen nicht erwarten, dass die traditionelle Form der intensiven Waldbewirtschaftung fortgesetzt wird (Haas 2008, Hogl et al. 2005, Jandl & Stöhr 2009, Stöhr 2009). Vielmehr gilt es, Formen der ‚adaptiven Waldbewirtschaftung‘ zu finden, die davon ausgehen, dass sich das Klima der Zukunft deutlich vom heutigen Klima unterscheidet und die Schutzfunktion des Waldes dennoch permanent erhalten bleibt. Diese Konzepte werden derzeit in enger internationaler Kooperation zwischen Praktikern und Wissenschaftlern entwickelt (Heinimann 2010, Lindner et al. 2010, Seppälä et al. 2009). Die Erwartung, dass der Wald wesentlich zur Milderung des Klimawandels (‚mitigation‘) beiträgt, wird nicht mehr unterstützt. Vielmehr stellt sich die Frage, wie der Wald bestmöglich an die geänderten Standortbedingungen angepasst werden sollte (Brang et al. 2008). Angesichts des geringer werdenden wirtschaftlichen Anreizes der Waldbewirtschaftung für die Holzproduktion, kann die Hoffnung einer multifunktionalen Waldwirtschaft, in welcher Ökosystemleistungen als erfreuliches Nebenprodukt erbracht werden, nicht unbedingt auf-

recht erhalten werden. Vielmehr ist damit zu rechnen, dass die Erhaltung einer geeigneten Waldstruktur zur Erzielung der Schutzfunktion vermehrte Investitionen benötigen wird (Broggi 2002, Puettmann et al. 2009).

Literatur

- Amt der Tiroler Landesregierung (ADTLR, 2011) Tiroler Waldbericht 2011. <http://www.tirol.gv.at/fileadmin/www.tirol.gv.at/themen/umwelt/wald/waldzustand/downloads/waldbericht2011.pdf>, 27. 9. 2011.
- Aulitzky H. (1961) Die Bodentemperaturen in der Kampfzone oberhalb der Waldgrenze und im subalpinen Lärchen-Zirben-Wald. In: Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe - Teil 1, Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt 59: 153-208.
- Aulitzky H. (1963) Grundlagen und Anwendung des vorläufigen Wind-Schnee-Ökogrammes. In: Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe - Teil 2, Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt 60: 765-834.
- Aulitzky H. (1992) Die Sprache der ‚stummen Zeugen‘. Proceedings Interpraevent 1992: 139-174.
- Brang P., Bugmann H., Bürgi A., Mühlethaler U., Rigling A. & Schwitter R. (2008) Klimawandel als waldbauliche Heraus-

- forderung. Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 159: 362–373.
- Broggi M. F. (2002) Alpine Space: A challenge for research. Centralblatt für das gesamte Forstwesen 119: 247-254.
- Ellenberg H., Mayer R. & Schauerermann J. (1986) Ökosystemforschung - Ergebnisse des Sollingprojektes 1966-1986. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- Erschbamer B. (2007) Vegetation at the upper timberline. In: Trees at their upper limit - Treelife limitation at the Alpine Timberline, Chapter 5, Wieser G., Tausz M. (Hg.) Plant Ecophysiology Vol 5: 67-78.
- Fliri F. (1973) Beziehungen zwischen Mensch und Wald im Gebirgsland Tirol. Allgemeine Forstzeitung 84: 268-271.
- Fontaine S., Bardoux G., Abbadie L., Mariott A. (2004) Carbon input to soil may decrease soil carbon content. Ecology Letters: 314-320.
- Forstliche Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn (Hg.) (1961, 1963) Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe - Teil 1 und 2, Mitteilungen der FBVA, Band 59 und 61.
- Friedel H. (1961) Schneedeckendauer und Vegetationsverteilung im Gelände. In: Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe - Teil 1, Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt 59: 317-369.
- Fromme G. (1957) Der Waldrückgang im Oberinntal (Tirol). Untersuchungen über das Ausmaß, die Ursachen und Folgeerscheinungen des Waldrückganges in einem Gebirgslande sowie über die Aussichten der Wiederaufforstung. Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn 54: 1-220.
- Gardiner B., Blennow K., Carnus J.-M., Fleischer P., Ingemarson F., Landmann G., Lindner M., Marzano M., Nicoll B., Orazio C., Peyron J.-L., Reviron M.-P., Schelhaas M.-J., Schuck A., Spielmann M., Usbeck T. (2010) Destructive Storms in European forests: past and forthcoming impacts. European Forestry Institute (EFI), Joensuu.
- Haas W. (Projektleitung 2008) Integrative Forschung im Ötztal. Footprints - future – past - present. Endbericht MaB Biosphärenpark Ötztal. Phase 2. Institute for Social Ecology. Faculty for Interdisciplinary Studies, Klagenfurt University.
- Hegg C., Badoux A., Lüscher P., Witzig J. (2004) Zur Schutzwirkung des Waldes gegen Hochwasser. Forum für Wissen 2004: 15-20.
- Heinimann H. R. (2010) A concept in adaptive ecosystem management - An engineering perspective. Forest Ecology and Management 259: 848 – 856.
- Hogl K., Pregernig M., Weiss G. (2005) What is new about new forest owners? A typology of private forest ownership in Austria. Small-scale Forestry 4: 325-342.
- Hubbard R. M., Ryan M. G., Elder K., Rhoades C. C. (2005) Seasonal patterns in soil surface CO₂ flux under snow cover in 50 and 300 year old subalpine forests. Biogeochemistry 73: 93-107.
- IPCC (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working

- Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (Hg.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 S.
- Jandl R., Schindlbacher A., Katzensteiner K., Göttlicher S., Katzensteiner H., Zechmeister-Boltenstern S., Pfeffer M., Stöhr D. (2008) Effect of a climate-induced shift of the timberline on the release of greenhouse gases – Report StartClim.2007.D. Federal Forest Research Center (BFW), Vienna.
- Jandl R., Stöhr, D. (2009) Forests and rural development in the light of global change – a perspective of mountain forests. *Folia Forestalia Polonica Series A*, 51: 33–38.
- Johann E (1986) Nutzung, Gefährdung und Schutz des Waldes in der Geschichte der Gebirgsregionen der Ostalpen. International Union of Forest Research Organizations, Proceedings des 18. IUFRO Weltkongress: 238-244.
- Johann E. (2007) Traditional forest management under the influence of science and industry: The story of the alpine cultural landscapes. *Forest Ecology and Management* 249: 54-62.
- Kilian W., Müller F., Starlinger F. (1994) Die Forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Berichte der Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, Band 82: 1-60.
- Körner C. (2003a) Alpine plant life - functional ecology of high mountain ecosystems. Springer Verlag, New York.
- Körner C. (2003b) Slow in, rapid out - Carbon flux studies and Kyoto targets. *Science* 300: 1242-1243.
- Körner C., Paulsen J. A. (2004) World-wide study of high altitude treeline temperatures. *Journal of Biogeography* 31: 713-732.
- Kuzyakov Y. (2010) Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 42: 1363 – 1371.
- Larcher W. (2001) Ökophysiologie der Pflanzen: Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt. UTB, Stuttgart.
- Lindner M., Maroschek M., Netherer S., Kremer A., Barbati A., Garcia-Gonzalo J., Seidl R., Delzon S., Corona P., Kolström M., Lexer M. J. & Marchetti M. (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 259: 698 – 709.
- Likens G.E. & Bormann F.H. (1995) Biogeochemistry of a Forested Ecosystem. Springer Verlag, New York.
- Kronfuss H. (1984) Die Hochlagenaufforstung Haggen. *Der Tiroler Forstdienst* 27: 4-6.
- Markart G. (2000) Der Wasserhaushalt von Hochlagenaufforstungen - Dargestellt am Beispiel der Aufforstung von Haggen bei St. Sigmund im Sellrain. *Berichte der FBVA117*: 1-126.
- Markart G., Sauermoser F., Kohl B., Stern R. (2002) Land-use changes and the effect of mountain forests in alpine catch-

- ments. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen* 119: 335-343.
- Matzner E. (Hg.) (2004) *Biogeochemistry of forested catchments in a changing environment - A German case study*, *Ecological Studies* Vol. 172, Springer Verlag, New York.
- Mayer H. (1976) *Gebirgswaldbau – Schutzwaldpflege*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Moser W., Peterson, J. (1981) Limits to Obergurgl's growth. *Ambio* 10: 68-72.
- Müller F., Schultze U. (1996) Einfluss einer Korngrößen-sortierung auf Frühsternmerkmale und Sämlingsentwicklung von Nachkommenschaften aus Fichten-Saatguterntebeständen unterschiedlicher Seehöhe. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen* 113: 155-174.
- Naidoo R., Balmford A., Costanza R., Fisher B., Green R. E., Lehner B., Malcolm T. R., Ricketts T. H. (2008) Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *PNAS* 105: 9495–9500.
- Namkoong G., Boyle T., Gregorius H.-R., Joly H., Savolainen O., Ratnam W., Young A. (1996) Testing criteria and indicators for assessing the sustainability of forest management: Genetic criteria and indicators. Working Paper No. 10, Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia.
- Neuwinger-Raschendorfer, I. & Czell, A. (1961) Böden in den Tiroler Zentralalpen. *Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn* 59: 371-410.
- Puettmann K.J., Coates K.D., Messier, C. (2009) *A critique of silviculture - managing for complexity*. Island Press.
- Plattner E. (1983) Die Entwicklung des Berglandes – Gefahr für den Fortbestand alpiner Wälder. *Wald- und Holzwirtschaft* 361: 140-142.
- Sauermoser S. (1988) Bisherige Erfahrungen in der Hochlagenaufforstung der Wildbach- und Lawinenverbauung in Tirol in den letzten 35 Jahren: Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren und Lawinen. *Proceedings INTERPRAEVENT Graz*: 253-266.
- Schindlbacher A., Zechmeister-Boltenstern S., Glatzel G., Jandl, R. (2007) Winter soil respiration from an Austrian mountain forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 146: 205-215.
- Schreiber M. (1957) Zur Planung der Aufforstungen in der subalpinen Stufe der österreichischen Alpen. *Allgemeine Forstzeitung* 68: 132-137.
- Schröter D., Cramer W., Leemans R., Prentice I. C., Araújo M. B., Arnell N. W., Bondeau A., Bugmann H., Carter T. R., Gracia C. A., de la Vega-Leinert A. C., Erhard M., Ewert F., Glendining M., House J. I., Kankaanpää S., Klein R. J. T., Lavorel S., Lindner M., Metzger M. J., Meyer J., Mitchell T. D., Reginster I., Rounsevell M., Sabaté S., Sitch S., Smith B., Smith J., Smith P., Sykes M. T., Thonicke K., Thuiller W., Tuck G., Zaehle S. & Zierl B. (2005) Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe. *Science* 310: 1333-1337.

- Schwerdtfeger F. (1981) Die Waldkrankheiten. Ein Lehrbuch der Forstpathologie und des Forstschutzes. Verlag Paul Parey, Hamburg.
- Seppälä R., Buck A., Katila, P. (Hg.) (2009) Adaptation of forests and people to climate change. A Global Assessment Report. IUFRO World Series Vol 22, Helsinki.
- Spangenberg J. H., Settele J. (2010) Precisely incorrect? Monetising the value of ecosystem services. *Ecological Complexity* 7: 327 – 337.
- Stauder, S. (1963) Das Projekt 'Wildbach- und Lawinenvorbeugung Vorderes Zillertal' und seine wirtschaftliche Bedeutung. *Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn* 60/II: 721-741.
- Stauder S. (1968) Methoden und Erfahrungen der Integralmeliorationen in Tirol. *Allgemeine Forstzeitung* 79: 196-198.
- Stern R., Zwerger P. (1980) Rumelische Kiefer (*Pinus peuce* Griseb.) und Zirbe (*Pinus cembra* L.): Ein Pflanzvergleich in der subalpinen Stufe Tirols. *Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien* 129: 27-40.
- Stöhr D. (2007) Soils - heterogeneous at the microscale. In: *Trees at their upper limit - Treelife limitation at the Alpine Timberline*, Chapter 3, Wieser G., Tausz, M. (Hg.), 37-56, *Plant Ecophysiology* Vol 5, Springer, Dordrecht.
- Stöhr D. (2009) Is there a future for mountain forests? In: *Global Change and Sustainable Development in Mountain Regions*, Jandl R., Borsdorf A., Van Miegroet H., Lackner R., Psenner R. (Hg.) Innsbruck university press Vol 7: 31-38.
- Thuiller W., Lavorel, S., Araújo M. B., Sykes M. T., Prentice I. C. (2005) Climate change threats to plant diversity in Europe. *PNAS* 102: 8245-8250.
- Tranquillini W. (1979) *Physiological ecology of the alpine timberline - Tree existence at high altitude with special reference to the European Alps*. *Ecological Studies* Vol 31, Springer, New York.
- Turner H. (1961) Die Niederschlags- und Schneeverhältnisse. In: *Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe - Teil 1*, *Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt* 59: 265-315.
- Weißbacher L., Herz H., Schüler S., Zwerger P. (2007) Fichtenstecklinge - Eine Alternative für Hochlagenaufforstungen. *Forstzeitung* 118: 36-38.
- Weißbacher L., Schüler S., Herz H., Zwerger P. (2011) Heimische und fremdländische Baumarten an der Waldgrenze. *Forstzeitung* 122: 14-16.
- Wieser G., Tausz M. (2007) *Trees at their upper limit - Treelife limitation at the Alpine Timberline*. *Plant Ecophysiology* Vol. 5, Springer, New York.
- Zwerger P., Schüler S. (2008) Stabile Schutzwälder – eine Herausforderung für die Forstgenetik. *Österreichische Forstzeitung* 15: 19-21.

Verzeichnis der Autoren

Robert Jandl
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum
für Wald, Naturgefahren und Landschaft
(BFW)
Seckendorff-Gudent-Weg 8 , 1131 Wien
robert.jandl@bfw.gv.at

Silvio Schüler
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum
für Wald, Naturgefahren und Landschaft
(BFW)
Seckendorff-Gudent-Weg 8 , 1131 Wien
silvio.schueler@bfw.gv.at

Andreas Schindlbacher
Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum
für Wald, Naturgefahren und Landschaft
(BFW)
Seckendorff-Gudent-Weg 8 , 1131 Wien
andreas.schindlbacher@bfw.gv.at

Dieter Stöhr
Landesforstdirektion
Amt der Tiroler Landesregierung
Bürgerstraße 36, 6020 Innsbruck
Dieter.Stoehr@tirol.gv.at