

Waldforschung – Folgen von Windwürfen

Ost-West-Partnerschaft am Beispiel der Auswirkungen von Stürmen auf Wälder im Ural

Reinhard Lässig¹ und Stanislav A. Motschalow²

¹ Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Zürcherstr. 111, CH-8903 Birmensdorf, Schweiz
E-mail: laessig@wsl.ch

² Uralische Forsttechnische Akademie, Sibirskij Tract 37, RU-620 100 Jekaterinburg, Russland
E-mail: mochalov@dialup.mplik.ru

Im Rahmen der partnerschaftlichen Beziehungen zwischen der Eidg. Forschungsanstalt WSL und der Uralischen Forsttechnischen Akademie untersuchen Wissenschaftler beider Institutionen seit 1994 die Wiederbewaldung von Windwurfflächen im Ural. Wie bei Untersuchungen in den Schweizer Alpen vergleichen sie die Sukzessionsprozesse in unterschiedlich behandelten Windwurfflächen, um Grundlagenkenntnisse zur Entwicklung naturnaher Waldbaustrategien zu erarbeiten. Vor dem Hintergrund möglicher globaler Klimaänderungen gehen sie auch der Frage nach, ob die durch Sturmeinwirkung verursachten Waldschäden in der Ural-Region in den vergangenen Jahrzehnten zugenommen haben.

Ausgezeichnete Kenntnisse der Prozesse, die einen natürlichen Wald charakterisieren, der daran beteiligten Arten und deren ökologischen Potentials ist Voraussetzung für einen naturnahen Waldbau und eine nachhaltige Landnutzung, gerade in Zeiten sich global ändernder Rahmenbedingungen.

Anton Fischer (1998)

1 Partnerschaft für die Waldforschung

1.1 Einleitung

Die tiefgreifenden politischen Veränderungen Ende der 80er und Anfang der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts schufen Möglichkeiten für neue Kontakte zwischen Forschungseinrichtungen in west- und osteuropäischen Ländern. So erhielt die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) 1991 vom Rektor der Uralischen Forsttechnischen Akademie (UFA, Abb. 1) die Anfrage, ob sie Interesse an einer künftigen Zu-

sammenarbeit in der Forschung habe. Viele Forscherinnen und Forscher der WSL wussten zu diesem Zeitpunkt nur wenig über den Stand der Wald- und Umweltforschung in Russland. Ihnen war jedoch schon damals bekannt, dass Russland erstens auf vielen Forschungsgebieten einen hohen wissenschaftlichen Standard hat und zweitens weitläufige Naturräume besitzt, die für Wissenschaft und Naturschutz von internationaler Bedeutung sind. Der damalige stellvertretende Direktor der WSL, Dr. G. Eichenberger, erkannte das Potential für eine langfristige Kooperation und beantwortete die Anfrage aus Jekaterinburg darum positiv. Nach meh-

reren Kontakten zwischen dem Rektorat der UFA und der Direktion der WSL unterschrieben die Leitungsgremien beider Institutionen 1993 eine Rahmen-Vereinbarung für eine partnerschaftliche Zusammenarbeit. Gemäss dieser Vereinbarung wollen beide Vertragspartner

- in der Wald- und Umweltforschung in gemeinsamen Projekten wissenschaftlich zusammenarbeiten,
- sich gegenseitig dabei unterstützen, in ihren Forschungsnetzwerken Kontakte zu anderen Institutionen aufzunehmen,
- an wissenschaftlichen Tagungen ihre gemeinsamen Forschungsergebnisse präsentieren,
- sich gegenseitig den Zugang zu wissenschaftlichen Publikationen ihrer Sprachregion ermöglichen und
- Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler austauschen, um damit die Aus- und Weiterbildung ihres wissenschaftlichen Personals zu fördern.

Die Rahmen-Vereinbarung wird durch projektbezogene Abkommen ergänzt, in denen fachliche, zeitliche und finanzielle Details geregelt werden.

1.2 Zahlreiche Aktivitäten in Ost und West

In den ersten Jahren sammelten zahlreiche Mitarbeitende beider Institutionen Erfahrungen im Umgang miteinander,



Abb. 1. Das Rektoratsgebäude der Uralischen Forsttechnischen Akademie (UFA) in Jekaterinburg.

lernten einander zu vertrauen und sich aufeinander zu verlassen. Neben ihrer Forschungsarbeit machten sie Erfahrungen mit der Sprache, Schrift, Kultur und Mentalität sowie mit dem alltäglichen Leben im jeweiligen Gastland.

Seit 1992 hielten sich insgesamt 24 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen der UFA an der WSL auf (39 Aufenthalte). Während des gleichen Zeitraumes besuchten 9 Wissenschaftler der WSL die UFA (21 Aufenthalte). Im Rahmen der partnerschaftlichen Zusammenarbeit nahmen Forscher beider Institutionen an 8 internationalen Tagungen in Europa und den USA teil und präsentierten dort 10 Vorträge bzw. Poster. In den vergangenen Jahren entstanden 25 gemeinsame deutsch-, englisch- und russischsprachige Fachpublikationen. Darüber hinaus wurden im Rahmen mehrerer Forschungsprojekte vorwiegend über Drittfinanzierungen 4 Personalcomputer mit Drucker, Scanner, Kopierer, Telefon/Fax sowie verschiedene Messgeräte, Fotokameras und Fachliteratur für die russischen Projektpartner beschafft. Schliesslich entstanden neue Kontakte mit Partnern in Russland und in der Schweiz sowie in Deutschland, Österreich, Liechtenstein, Grossbritannien und den USA.

Dank der Mitarbeit mehrerer russischer und schweizerischer Übersetzerinnen sind heute viele deutsch- und englischsprachige Artikel an der UFA und viele russischsprachige Artikel an der WSL bekannt. Das in beiden Sprachkreisen publizierte Fachwissen fliesst in neue Publikationen mit ein und wird damit einem breiten internationalen Publikum zugänglich gemacht.

1.3 Naturnahe Waldentwicklung im Zentrum der Forschung

Aus den bisherigen Kontakten der Partnerinstitutionen ist zu verschiedenen Themen eine enge wissenschaftliche Zusammenarbeit entstanden. Diese findet vorwiegend in gemeinsamen Forschungsprojekten statt:

- Seit 1994 laufen die Untersuchungen über die Auswirkungen von Stürmen und Windwürfen auf Wälder im Ural (siehe Kap. 2). Diese wurden bisher von der WSL, vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung in Deutschland und vom Bildungs-Ministerium in Moskau finanziert.

- Von 1994 bis 1998 führten Wissenschaftler der WSL, der UFA und des Instituts für Tier- und Pflanzenökologie in Jekaterinburg ein von INTAS in Brüssel gefördertes Projekt zum ökologischen Monitoring von Luft-Schadstoffen durch. In diesem wurden Flechten als Bioindikatoren verwendet (siehe Beitrag von Scheidegger und Mikhailova in diesem Tagungsband).
- Von 1997 bis 1998 unterstützte der Schweizerische Nationalfonds ein «Institutional Partnership Project» (siehe Beitrag von Glättli in diesem Tagungsband) an dem neben der UFA weitere Partner aus Jekaterinburg und Krasnojarsk teilnahmen. Die Projektmittel ermöglichten vor allem Weiterbildungs-Aufenthalte und gemeinsame Tagungsbesuche; darüber hinaus wurden Messgeräte, Personal-Computer und Literatur angeschafft und gemeinsame Publikationen hergestellt.
- Eine Zusammenarbeit entwickelte sich auch zu Biomassefragen in den Wäldern des Urals, Sibiriens und Kasachstans (siehe USOLTSEV und HOFFMANN 1997).
- 1999 begannen Untersuchungen über die Veränderung der Waldgrenze im Süd-Ural. Wissenschaftler der WSL und der UFA führen diese in Zusammenarbeit mit der Universität Wien durch. Teile dieses Projektes wurden dieses Jahr in einem EU-Projekt bewilligt.
- Ein Projekt über waldbauliche Massnahmen in naturnahen Wäldern im

Ural und in den Alpen wird zur Zeit vorbereitet. Wissenschaftler beider Seiten werten zur Zeit die Messungen einer Pilotstudie aus, die sie in Mischwäldern beider Länder durchgeführt haben.

2 Zwei Projekte über Stürme und ihre Folgen

2.1 Untersuchung der Häufigkeit und des Ausmasses von Stürmen und Windwürfen

2.1.1 Zunahme von Stürmen und Windwürfen befürchtet

In den letzten 30 Jahren hat die Zahl extremer Naturereignisse, einschliesslich der Stürme, weltweit zugenommen. Die Schadensumme ist in diesem Zeitraum stark angestiegen, was vor allem auf den vermehrten Umfang versicherter Güter zurückzuführen ist (BERZ 1993). Wenn in Europa im Zusammenhang mit den Klimaveränderungen katastrophenträchtige Wetterextreme wie Starkniederschläge und Stürme zunehmen, wie es KRAPFENBAUER und HOLTERRMANN (2000) sowie FISCHER (1998) vermuten, dann dürfte auch das Schadenrisiko für die Wälder ansteigen. Wissenschaftliche Untersuchungen hierzu sind allerdings rar.

Aus der Schweiz und Skandinavien liegen Untersuchungen vor, die diese Vermutung nicht bestätigen (SCHIESER *et al.* 1997; ALEXANDERSSON *et al.* 2000). Die Anzahl der Sturmtage pro

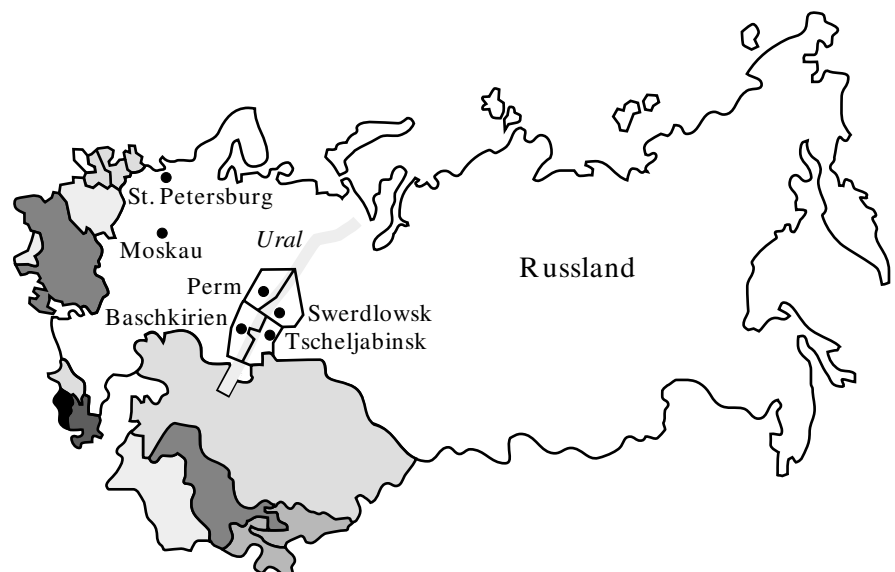


Abb. 2. Karte Russlands mit den vier untersuchten Gebieten (skizziert) in der Ural-Region

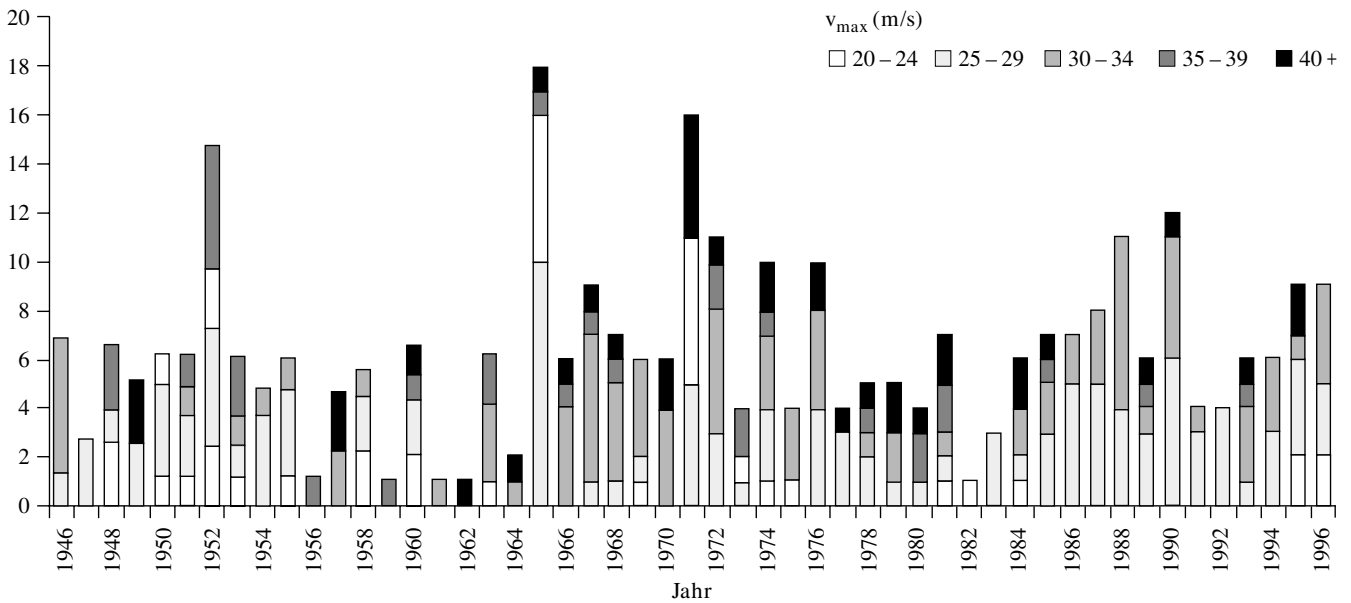


Abb. 3. Anzahl der Sturmereignisse pro Jahr nach Windgeschwindigkeit.

Jahr und die durchschnittliche Länge eines Sturmereignisses haben in den letzten Jahrzehnten sogar geringfügig abgenommen. Aus den Ländern der ehemaligen Sowjetunion liegen nur wenige Berichte über Sturmereignisse vor. Über Windwürfe hingegen wird aus verschiedenen Regionen Russlands, aus den baltischen Staaten und aus der Ukraine berichtet (KROGERTAS 1976; STOJKO 1965; BELOV 1976; MEZIBOVSKIJ 1970; ŠIŠKOV 1947; SKVORZOVA *et al.* 1983; TIMOFEEV 1957). Die wahrscheinlich grössten dokumentierten Sturmschäden in den Wäldern der Ural-Region ereigneten sich 1975 im nördlichen Perm-Gebiet, wo ein Sturm innerhalb von nur 40 Minuten 261 350 ha Waldfläche verwüstete (ROŽKOV und KOZAK 1989). Aus dem mittleren Ural sind aus den Jahren 1799, 1859 und 1892 Windwürfe katastrophalen Ausmasses bekannt (TURKOV 1979).

An zahlreichen meteorologischen Messstationen West-Russlands und West-Sibiriens (BRADLEY *et al.* 1985) sowie der Ural-Region (LÄSSIG und MOTSCHALOW 1999) sind die mittleren Monatstemperaturen im 20. Jahrhundert deutlich angestiegen. Viele Forstleute im Ural befürchten, dass sich Sturmereignisse und Windwürfe aufgrund der Klimaveränderungen immer häufiger ereignen und zu einem destabilisierenden Faktor für die Forstwirtschaft werden. Sie haben vor allem im vergangenen Jahrzehnt zahlreiche Sturmschäden im Wald beobachtet, z.B. die katastrophalen Windwürfe vom

Juni 1995, die im Swerdlowsk-Gebiet mehr als 14 Millionen m³ zu Boden warfen.

Diese Befürchtungen liessen sich unter anderem mit meteorologischen Daten über Stürme sowie mit detaillierten Angaben über Windwurfereignisse erhärten bzw. entkräften. Diese Daten sind bei verschiedenen russischen Institutionen zwar vorhanden, wurden bislang jedoch nur ansatzweise ausgewertet (TURKOV 1979). Die Studie von WSL und UFA in der Ural-Region hatte daher zum Ziel

- die Entwicklung der Anzahl und Intensität starker Sturmereignisse zu überprüfen,
- die Häufigkeit und die Ausdehnung der Sturmschäden im Wald zu erfassen und
- Veränderungen der Waldstrukturen, die durch Stürme verursacht werden, darzustellen.

2.1.2 Über 1000 Sturmereignisse analysiert

Im Rahmen der Untersuchung wurden umfangreiche meteorologische Daten von Messstationen aus den in Abbildung 2 dargestellten, westlich des Ural-Hauptkammes gelegenen Gebieten Perm und Baschkortostan sowie aus den östlich angrenzenden Gebieten Swerdlowsk und Tscheljabinsk zusammengestellt (siehe LÄSSIG und MOTSCHALOW 1999). Diese vier Gebiete weisen eine Waldfläche von ca. 27 Mil-

lionen ha mit einem Holzvorrat von 3,7 Milliarden m³ Holz auf. Die über das ganze Untersuchungsgebiet verteilten 165 Meteo-Stationen registrierten zwischen 1946 und 1996 insgesamt 1084 Stürme mit Windgeschwindigkeiten von mindestens 20 m/s. Sie wurden 317 verschiedenen Sturmereignissen zugeordnet.

Die Anzahl der Sturmereignisse pro Jahr ist sehr unterschiedlich (Abb. 3). Ein über den gesamten Zeitraum zunehmender Trend ist nicht erkennbar. Kurzfristig betrachtet, z.B. seit 1992, kann die Sturmhäufigkeit zwar zunehmen. Über den ganzen Zeitraum von 51 Jahren gesehen – auch diese Zeitspanne ist für eine Klimauntersuchung immer noch verhältnismässig kurz – trifft dies jedoch nicht zu. Auch die Häufigkeit von starken Stürmen mit Geschwindigkeiten von über 30, 35 oder 40 m/s, variiert von Jahr zu Jahr stark; es ist jedoch kein zunehmender Trend erkennbar. Die Mehrzahl der Stürme ereignete sich in den Sommermonaten, dauerte weniger als 30 Minuten und war mit Gewittern verbunden. Während dieser kurzen Zeit traten häufig schnell aufeinanderfolgende Böen auf, so dass sich für die kurze Sturmdauer eine grosse mittlere Windgeschwindigkeit ergibt. Die absolute Häufigkeit starker Stürme mit Geschwindigkeiten über 30 m/s (108 km/h) war im Sommer grösser als im Winter. In den Wintermonaten hingegen dauerten die meisten Stürme länger als im Sommer, im Maximum bis zu 45 Stunden.

2.1.3 Stürme verändern die Waldentwicklung

Zusätzlich zu den Klimadaten wurden zwischen 1965 und 1995 terrestrisch erhobene Daten von Windwürfen ausgewertet. Es zeigte sich, dass ein Forstbetrieb in der Ural-Region im Durchschnitt etwa alle neun Jahre damit rechnen muss, dass sich ein Windwurf in der Grössenordnung von 10 bis 200 Hektaren ereignet. Grössere Ereignisse sind selten. Die Aufteilung der Windwürfe nach den Altersklassen der betroffenen Wälder zeigt, dass vor allem mittelalte Bestände vom Wind geworfen wurden: zwischen 64 und 75% aller von Stürmen geworfenen Wälder waren zwischen 81 und 140 Jahre alt. Verglichen mit der Altersklassenverteilung aller Wälder des Perm- bzw. Swerdlowsk-Gebietes werden die bis zu 40jährigen Jungbestände deutlich weniger von Stürmen geworfen als es dem Anteil dieser Altersstufe entspricht (Abb. 4). Bei den 41- bis 80jährigen und den über 140jährigen Altbeständen entspricht der Anteil der geworfenen Bestände etwa jenem am Gesamtwald. Die – nach russischer Terminologie – heranreifenden und reifen 81- bis 140jährigen Bestände werden hingegen überproportional häufig von Windwürfen betroffen.

Für die 31 Jahre betrug die Summe aller Windwurfflächen nur in wenigen Forstbetrieben mehr als 1% ihrer Waldfläche. Die Grösse der Forstbetriebe im Perm-Gebiet ist allerdings sehr unterschiedlich und beträgt zwischen 52'000 und 974'000 ha Waldfläche. Im

Mittel liegt sie bei 316'000 ha. Im Swerdlowsk-Gebiet streut sie zwischen 45'000 und 1'334'000 ha und liegt im Mittel bei 225'000 ha. Eine detaillierte Analyse der waldbaulichen Daten auf lokaler Ebene steht noch aus. Das Ausmass der Windwürfe in der gesamten Ural-Region liegt deutlich unter den Werten in Mitteleuropa.

Die untersuchte 31jährige Datenreihe der Windwürfe im Ural ist verhältnismässig kurz. Für Aussagen über die langfristige Zu- oder Abnahme von Windwürfen braucht es längere Datenreihen, wie sie z.B. DERUNGS (1999) für das schweizerische Simmental beschreibt. Für die Ural-Region sind solche derzeit nicht verfügbar.

Die Ergebnisse der ersten Untersuchungen zeigen, dass die globalen Klimaveränderungen, die sich in der Ural-Region durch ansteigende Temperaturen nachweisen liessen, bis jetzt offenbar nicht zu einer Zunahme der Sturmhäufigkeit und -geschwindigkeit geführt haben. Die kurzfristige Zunahme der Sturmhäufigkeit im Swerdlowsk-Gebiet zwischen 1988 und 1994, auf Grund derer die vorliegende Untersuchung begonnen wurde, dürfte im natürlichen Schwankungsbereich liegen.

Der Wind ist für die untersuchten Waldbestände im Ural offensichtlich ein Standortfaktor, der sich verhältnismässig selten katastrophal auswirkt. Die meisten der 317 analysierten Sturmereignisse hatten zwar lokal auf die Wälder einen Einfluss, veränderten die regionale Zusammensetzung und die flächige Struktur der Wälder jedoch nur wenig. Dieses Ergebnis deckt sich

mit den Untersuchungen von SYRJÄNEN *et al.* (1994) für die nördliche Ural-Region. Lediglich zwei Grossereignisse im Perm- bzw. im Swerdlowsk-Gebiet brachten für 11 Forstbetriebe einschneidende Veränderungen mit sich. Da die seit 1965 registrierten Windwürfe vor allem Waldbestände mittlerer Dimensionen geworfen haben, dürften sich in einigen Forstbetrieben die Altersklassenverteilung und die Baumartenzusammensetzung leicht verschieben.

2.2 Waldbaulich-ökologische Untersuchungen nach Windwurf

2.2.1 Nach Windwürfen stabile Wälder schaffen

Nach einem Windwurf vergehen in der Regel mehrere Jahrzehnte, bis sich der Wald regeneriert hat. In dieser Zeit sollen Waldbestände, die gegenüber Sturm- und Schnee-Einwirkung möglichst stabil sind, aufwachsen. Wer dieses Ziel erreichen will, muss ein klares waldbauliches Pflegekonzept vor Augen haben, das sich am Betriebsziel orientiert. Bis heute räumen die Forstdienste im Ural die Windwurfflächen in der Regel schnell und forsten diese vorwiegend, je nach Standort, mit Kiefer und/oder Fichte wieder auf. Mit dem Pflanzen der wirtschaftlich wertvolleren Nadelbaumarten soll der Anteil der Pionierbaumarten, die sonst während der ersten Jahrzehnte der natürlichen Waldentwicklung eine dominante Rolle spielen würden, möglichst klein gehalten werden. Bei grossflächigen Aufforstungen wachsen allerdings häufig einschichtige Bestände mit einem geringen Anteil von Laubbäumen heran. Diese Wälder können später ein grosses Sturmwurf- und Schneebruchrisiko aufweisen. Auf grösseren Windwurfflächen stellt sich darum die Frage, ob es nicht ökologisch wie ökonomisch sinnvoller wäre, diese vermehrt der natürlichen Wiederbewaldung zu überlassen. Dies geschieht heute vorwiegend in abgelegenen Gegenden. Dort entwickeln sich nach einem Windwurf baumartenreiche Waldbestände, in denen in den ersten Jahrzehnten vor allem die Birke und die Pappel dominieren; später werden diese von den Schlussbaumarten Fichte und Arve verdrängt (SYRJÄNEN *et al.* 1994). Diese naturnahen Wälder sind in der Regel

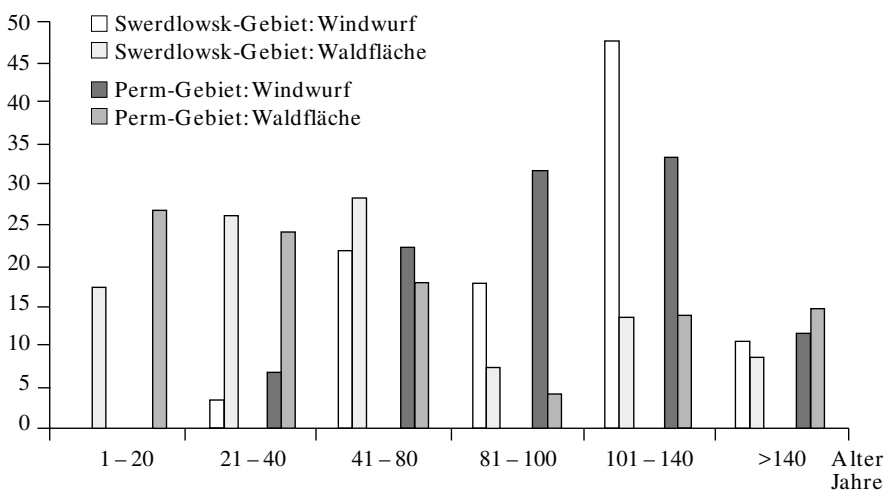


Abb. 4. Relative Häufigkeit der zwischen 1965 und 1996 entstandenen Windwurfflächen und der Waldfläche (Stand 1993) nach dem Bestandesalter (Einteilung nach Altersgruppen gemäss Zentraler Forstverwaltung des Perm- und des Swerdlowsk-Gebietes).

vorratsärmer und stufiger, weisen mehr innere Waldränder auf und sind gegenüber Sturm- und Schneewirkungen stabiler als homogene Aufforstungen (STOJKO 1965). Zudem minimiert sich in diesen Naturwäldern der Kostenaufwand bei der Wiederbewaldung, was für viele russische Forstbetriebe im Zuge der seit 1991 rückläufigen finanziellen Mittel immer bedeutsamer wird.

2.2.2 Russische Windwurf-Studien ergänzen weltweite Untersuchungen

Grossflächige Windwürfe sind ein Teil des Naturgeschehens (FISCHER 1998) und ein bedeutender Faktor für die zyklische Waldentwicklung (FOSTER 1988; SYRJÄNEN *et al.* 1994). Über die ökologischen Folgen von Windwürfen für europäische Wälder lag bis vor etwa 15 Jahren noch wenig Literatur vor; die meisten Veröffentlichungen widmen sich vorwiegend forstwirtschaftlichen Fragen (BELOV 1976; ROTTMANN 1986). Nur wenige Untersuchungen befassen sich mit den dynamischen Prozessen auf den vielen unterschiedlichen Kleinstandorten, die durch einen Windwurf entstehen. Vor allem durch liegende verrottende Stämme und aufgeklappte Wurzelteller ergibt sich eine grosse Standortvielfalt (SYRJÄNEN *et al.* 1994). Dies ist eine gute Ausgangssituation, damit sich im neu entstehenden Wald ein kleinflächig möglichst differenziertes Alters- und Baumhöhenpektrum entwickeln kann (FISCHER 1992; SKVORZOVA *et al.* 1983; TIMOFEEV 1957; TURKOV 1979). Aus diesen Entwicklungen resultieren mosaikartige Waldstrukturen (SYRJÄNEN *et al.* 1994), die oft den Übergang vom Schlusswald- zum Pionierwaldstadium beschleunigen (SERNANDER 1936; TURKOV 1979).

Liegendes wie stehendes Totholz ist für die Biodiversität im Wald sehr wichtig (SYRJÄNEN *et al.* 1994), weil es aufgrund seiner Substratvielfalt und des umfangreichen Nischenangebotes zahlreichen holzbewohnenden Pilz- und Insektenarten einen Lebensraum bietet und seine Nährstoffe langsam dem natürlichen Stoffkreislauf zurückgeführt werden (MAMAJEV 1974; STEPANOVA und MUHINA 1979; ČASTUHIN und NIKOLJEVSKAJA 1969).

Viele der erwähnten Publikationen stützen sich auf einmalige Beobachtungen, Erhebungen oder praktische Erfahrungen. Diese sind zweifelsohne

sehr bedeutsam, jedoch fehlten bis vor wenigen Jahren langfristig angelegte Untersuchungen, welche die dynamische Entwicklung auf geräumten und auf belassenen Windwurfflächen verfolgen. Zu den auf Windwurfflächen ablaufenden Prozessen sind noch viele Fragen offen. Deswegen haben mehrere Forschungsgruppen in Mitteleuropa und Nordamerika in den vergangenen zwei Jahrzehnten mit derartigen Untersuchungen begonnen (FISCHER 1992 und 1998; FOSTER 1988; LÄSSIG 2000; MITCHELL 1995; QUINE 1995; SCHÖNENBERGER *et al.* 1992; STÖCKLI 1993). Aus diesen lassen sich unterdessen Empfehlungen für die Forst- und Naturschutzpraxis ableiten (BUWAL 2000; FISCHER 1998; LÄSSIG 2000; LÄSSIG und SCHÖNENBERGER 2000). Über die Entwicklungsdynamik von Windwurfflächen in der borealen und gemässigten Zone Russlands sind bislang im Westen nur wenige Informationen bekannt geworden (SKVORZOVA *et al.* 1983; SYRJÄNEN *et al.* 1994).

Es ist daher Ziel der vorliegenden Untersuchung, anhand von zwei Fallbeispielen den Beginn des Wiederbewaldungsprozesses nach Windwurf darzustellen. Da sich viele Bestände im Ural seit der letzten Holznutzung ohne Pflege- und Durchforstungsmassnahmen entwickelt haben, befinden sich diese in einem naturnäheren Zustand als viele intensiv bewirtschaftete Wälder Mitteleuropas. Diese Studie ergänzt in diesem Punkt die bereits erwähnten Untersuchungen.

2.2.3 Start eines langfristigen Experiments in den Wäldern des Urals

Im Swerdlowsk-Gebiet (siehe Abb. 2) begannen Forscher der UFA und der WSL 1994 in zwei von Windwürfen betroffenen Forstbetrieben mit einem langfristigen Experiment. Ein Jahr zuvor hatte ein lokaler Gewittersturm bei *Schajtanka*, 500 km nördlich von Jekaterinburg, mehr als 300 ha naturnahen Kiefern-Mischwaldes zerstört. Dem Bild der totalen Waldverwüstung entsprechend (Abb. 5) dürften die Sturmböen in diesen östlichen Vorbergen des Nord-Urals eine Geschwindigkeit von mehr als 40 m/s gehabt haben. Auf einem 20 ha grossen Teil dieser Windwurffläche wurde eine waldbauliche Versuchsfläche eingerichtet. Der zerstörte Waldbestand war im Mittel etwa

65 Jahre alt, enthielt aber einige über 150jährige Kiefern.

Während auf dieser Fläche die Untersuchungen begannen, zerstörte im Juli 1994 in *Werchnije Sergi* (Mittel-Ural), 120 km westlich von Jekaterinburg, ebenfalls ein Gewittersturm etwa 150 ha Tannen-Fichten-Mischwald. Die maximale Böengeschwindigkeit erreichte dort etwa 30 m/s. Ein Teil der verwüsteten Wälder wurde ebenfalls in das Versuchsprogramm mit einbezogen. Die zwei Versuchsflächen unterscheiden sich bezüglich ihrer geographischen Lage, der Höhenlage und dem Klima (siehe MOTSCHALOW und LÄSSIG 1999). Dies drückt sich in unterschiedlichen Waldgesellschaften aus: im eher trockenen *Schajtanka* dominierten vor dem Windwurf vor allem die Kiefer und die Birke, im niederschlagsreicheren *Werchnije Sergi* hingegen die Tanne und die Fichte.

In Anlehnung an die seit 1990 in der Schweiz durchgeführten Untersuchungen (SCHÖNENBERGER *et al.* 1992) wurden im Ural zwei Untersuchungsflächen mit unterschiedlichen Wiederbewaldungsvarianten angelegt. Auf je einer Teilfläche blieben die vom Sturm geworfenen bzw. gebrochenen Bäume liegen. Auf zwei weiteren Teilflächen räumte man das Holz und setzte dann entweder auf die natürliche Verjüngung oder auf eine ortsübliche Pflanz-



Abb. 5. Im Juni 1993 warf ein Gewittersturm mit Spitzengeschwindigkeiten von über 100 km/Std. in *Schajtanka* (Nord-Ural) auf mehr als 300 Hektar Wald zu Boden. Auf 100 Hektaren blieb das Sturmholz liegen, die Wiederbewaldung erfolgt natürlich.

zung mit standortsheimischen Nadelbaumarten. Der vorliegende Bericht geht lediglich auf die Ergebnisse der Verjüngungsaufnahmen ein (weitere methodische Details in MOTSCHALOW und LÄSSIG 1999).

2.2.4 Arten- und individuenreiche Waldverjüngung

Die Anzahl der Verjüngungspflanzen, die 1994 im unversehrten, vergleichbar zusammengesetzten und strukturierten Nachbarbestand der Versuchsfläche in *Schajtanka* ermittelt wurde, ist als Vorrat aus der Zeit vor dem Windwurf anzusehen. Vergleicht man die Anzahl der mehr als 20 cm hohen Bäumchen auf der belassenen Windwurffläche (1825 N/ha) mit der des unversehrten Nachbarbestandes (3670N/ha), so wird deutlich, dass der Windwurf einen grossen Teil der Verjüngungspflanzen zerstört hat (Abb. 6). Dies betrifft vor allem die Schlussbaumarten *Fichte*, *Tanne* und *Föhre*. Die Räumungs- und Pflanzmassnahmen verringerten an beiden Versuchsorten die Verjüngungszahlen weiter.

In *Werchnije Sergi* hingegen wirkte sich der Windwurf nicht so zerstörerisch wie in *Schajtanka* aus, da 10–20% des Waldbestandes sowie der grösste Teil der Naturverjüngung überlebten (Bestand = 3756 N/ha, belassen = 2774 N/ha). In den vier Folgejahren hat die Anzahl der Nadelbäume nur wenig zugenommen, die der Laubbäume hinge-

gen stark. In *Schajtanka* hat die Zitterpappel, die sich bereits im ersten Sommer nach dem Windwurf in allen drei Varianten der Versuchsfläche in grosser Zahl ansamte, viele Standorte neu besiedelt und schnell Höhen von mehr als 50cm erreicht. Ähnliches trifft, wenn auch in geringerer Zahl, für die Birke zu. In *Werchnije Sergi* nahmen vor allem die Pflanzenzahlen von Vogelbeere, Birke und Weide zu. Die Zitterpappel hingegen kommt auf der belassenen Teilfläche kaum vor, auf den geräumten dafür umso häufiger. Der Grund hierfür dürfte der geringere Verwüstungsgrad der Bodenoberfläche auf der belassenen Teilfläche sein.

2.2.5 Nach Windwurf dominieren zunächst Pionierbaumarten

Die vom Sturm umgeworfenen Bäume haben einen Teil der vorhandenen Waldverjüngung, die sich bis zum Zeitpunkt der Windwürfe in den Wäldern etabliert hatte, unter sich begraben. Die Anzahl der Sämlinge und Jungpflanzen der Pionierbaumarten (Zitterpappel, Birke, Weide) hat fast überall stark zugenommen. Diese haben sich vor allem dort angesamt, wo der Mineralboden durch das Umklappen der Wurzelteller sowie durch die Holzerntearbeiten freigelegt wurde. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen SKVORZOVA *et al.* (1983) in verschiedenen Regionen der früheren Sowjetunion und SYRJÄNEN *et al.* 1994 in der nördlichen Ural-Region.

Im Vergleich zu *Schajtanka* unterscheidet sich die Anzahl und die Entwicklungsdynamik der verschiedenen Laubbäumarten auf den belassenen und den geräumten Teilflächen in *Werchnije Sergi*. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass der Sturm dort weniger Bäume umwarf, so dass weniger Waldverjüngung zerstört und weniger Mineralerde freigelegt wurde. Es konnten sich darum weniger Zitterpappeln ansamen als in *Schajtanka*. Es ist interessant, dass die Verjüngungszahlen in den angrenzenden Waldbeständen und in den ungeräumten Varianten trotz der Standortsunterschiede in beiden Windwurfflächen ähnlich hoch sind. Die Struktur und die räumliche Verteilung der Verjüngung hingegen unterscheiden sich stark.

Ein Vergleich der Ergebnisse aus dem Ural mit denen aus den Schweizer Alpen ist wegen der unterschiedlichen geographischen Breite, Höhenlage, Standortqualität und Wanderungsgeschichte der Baumarten sehr schwierig. Dennoch haben wir die Verjüngungsdaten ein bzw. fünf Jahre nach Windwurf im Ural und in der Schweiz einander gegenübergestellt. Dabei fällt vor allem der grosse Unterschied in der Anzahl der Verjüngungspflanzen auf (siehe Abb. 7). Die Verjüngungsdynamik nach einem Windwurf ist in den untersuchten Wäldern im Ural, die sich 65 bzw. 80 Jahre lang natürlich entwickelt haben, viel grösser als in den Versuchsflächen in der montanen und subalpinen Stufe der Schweiz (LÄSSIG *et al.* 1995). Dies ist

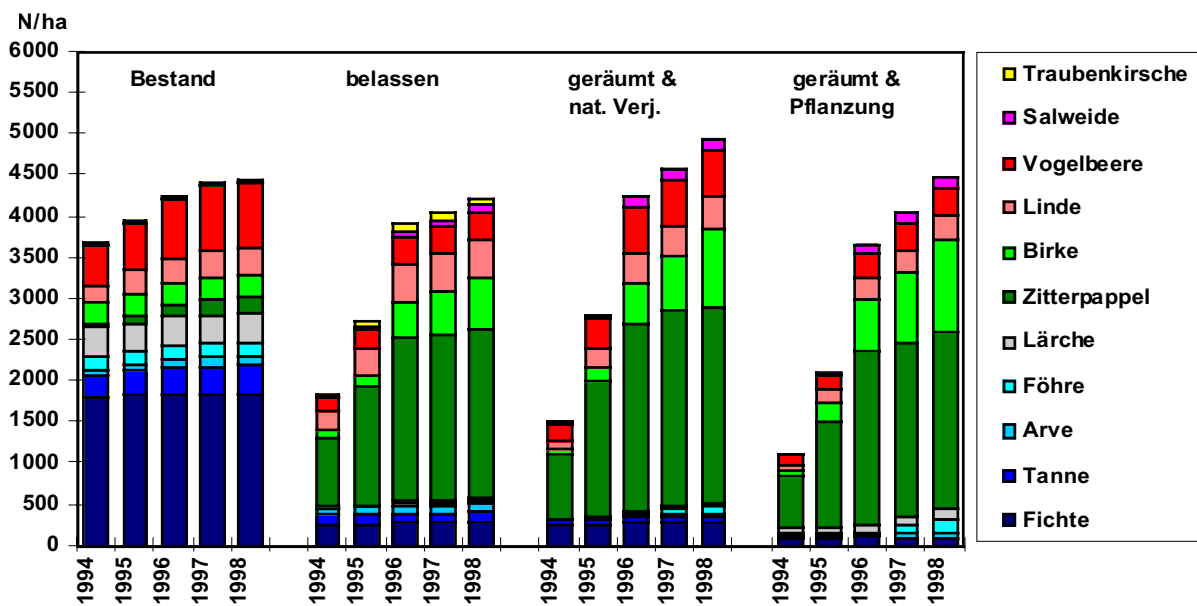


Abb. 6. Baumartenzusammensetzung in der natürlichen Verjüngung auf der Windwurffläche *Schajtanka* in den ersten fünf Jahren nach Windwurf.

vor allem auf die zahlreiche Verjüngung der Pionierbaumarten zurückzuführen. Im Vergleich zu vielen homogen strukturierten Wäldern Mitteleuropas weisen die untersuchten Wälder im Ural ein grösseres Baumartenspektrum auf. Die Verjüngung ist sehr zahlreich, wobei die Nadelbaumarten des Schlusswaldes bereits vor dem Sturm in grosser Zahl vorhanden waren (Abb. 8). Dies ist nicht verwunderlich, denn diese lichten, strukturreichen Wälder enthalten im Durchschnitt nur etwa 50% der Holzmasse, die sich in Schweizer Wäldern akkumuliert hat. Ausserdem spielt im Ural der Wildverbiss eine untergeordnete Rolle, da die Wilddichte im Gegensatz zu den Alpen sehr niedrig ist.

Auch das Artenspektrum der Laubholzpioniere ist im Ural vollzählig vertreten. Dies ist typisch für boreale Nadelmischwälder, denn sie enthalten in nahezu allen Entwicklungsstufen alte, samenproduzierende Laubbäume (SYRJÄNEN *et al.* 1994). Das Samenangebot ist daher für eine schnelle Besiedelung der Windwurfflächen in den meisten Fällen gross genug. Die zahlreichen jungen Zitterpappeln, Birken und Vogelbeeren auf den Versuchsflächen konnten die veränderten Standortbedingungen nach der Störung des Ökosystems Wald direkt in schnelles Wachstum umsetzen. In vielen Wäldern Mitteleuropas hingegen sind Pionierbaumarten seltener, vermutlich weil sie durch die Waldvernichtung in früheren Jahrhunderten, durch die Waldweide sowie durch die Bewirtschaftung im letzten Jahrhundert zugunsten der Schlussbaumarten zurückgedrängt bzw. entfernt wurden. Nach einem Windwurf in den höheren Lagen der Alpen gibt es darum nur wenige samenproduzierende Laubbäume, so dass die Anzahl der sich ansammelnden Pionierbäumchen auch nur langsam zunehmen kann (siehe Abb. 7).

2.2.6 Folgerungen für die Waldbewirtschaftung

Auf den Versuchsflächen im Ural wird fünf Jahre nach dem Beginn der Untersuchungen der Anfänge einer sehr dynamischen Entwicklung deutlich. Aus dem umfangreichen, erst ansatzweise ausgewerteten Datenmaterial können jedoch noch keine Folgerungen im generalisierenden Sinne gezogen werden. Die ersten Ergebnisse lassen folgende Schlüsse zu:

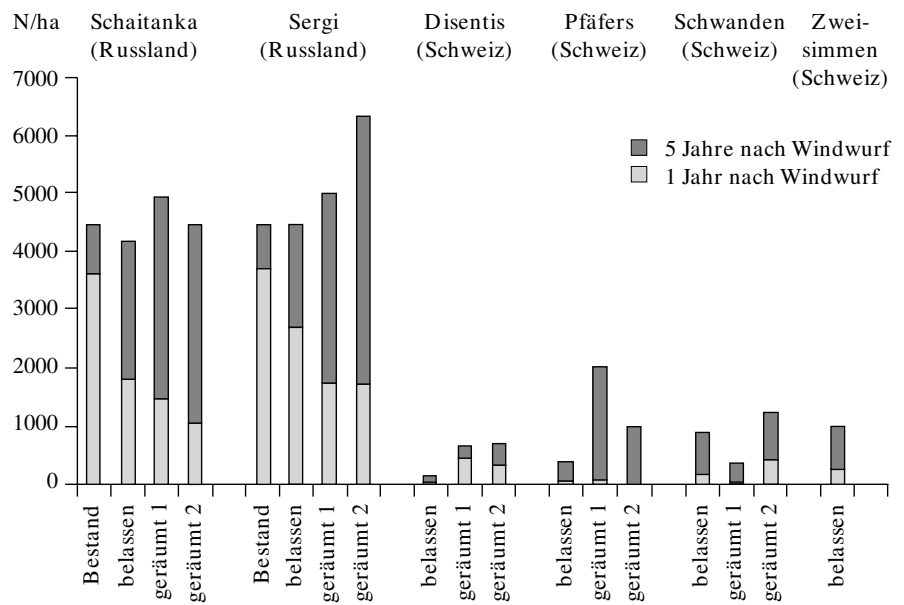


Abb. 7. Mittlere Anzahl natürlich verjüngter Bäume auf Windwurfflächen ein bzw. fünf Jahre nach Windwurf im Ural und in den Alpen.

- Einerseits wird durch die Flächenräumung und Pflanzung die Zahl der Verjüngungspflanzen weiter dezimiert, andererseits sammeln sich um so mehr Pioniergehölze an, je mehr Mineralboden beim Räumen freigelegt wird. Die Art und die Intensität der Flächenräumung hat also einen entscheidenden Einfluss auf die Anzahl der verbleibenden Verjüngung und auf deren Artenzusammensetzung.
- Die Verjüngung der naturnahen, ungestörten entwickelnden Wälder im Ural ist offensichtlich viel dynamischer als diejenige mitteleuropäischer Bergwälder, die regelmässig bewirtschaftet wurden. Naturnahe Wälder wie jene im Ural weisen ausserdem eine grössere Artenzahl auf als über lange Zeiträume bewirtschaftete, verhältnismässig homogene Bergwälder in den Alpen. Zudem ist das Schalenwild im Ural kein begrenzender Faktor für das Aufkommen der natürlichen Waldverjüngung. Vertiefte Kenntnisse über natürliche Entwicklungsprozesse wären für die Entwicklung naturnaher Waldbau- und Landnutzungs-konzepte auch in Westeuropa hilfreich.
- Nach den vorliegenden Ergebnissen erscheint es im Ural angebracht, das Wissen über naturnahe Entwick-

lungsprozesse vermehrt in die konventionellen Praktiken der Waldwirtschaft zu integrieren. Es ist anzunehmen, dass die ökologischen und finanziellen Auswirkungen von Sturmereignissen auf die Wälder der Ural-Region auf diese Weise in vertretbaren Grenzen gehalten würden.



Abb. 8. Natürliche Verjüngung der sibirischen Tanne auf einer Windwurffläche im mittleren Ural. Wegen der niedrigen Wilddichte wird die aus dem Vorbestand stammende Verjüngung kaum verbissen.

3 Fazit achtjähriger Forschungszusammenarbeit

Die skizzierte partnerschaftliche Zusammenarbeit zu einzelnen Forschungsthemen, wie in Kapitel 2 aufgezeigt, hat beiden Seiten bereits verschiedene Vorteile gebracht. Die Projektpartner haben

- ihre Kenntnisse über die Dynamik unterschiedlich stark bewirtschafteter Wälder vertieft. Sie können die Waldentwicklung im jeweiligen Heimatland mit jener des Gastlandes vergleichen und Schlüsse bezüglich der Waldbewirtschaftung ziehen,
- gemeinsam neue Erkenntnisse über die Entwicklung der Sturmhäufigkeit und über das Ausmass von Windwürfen erarbeitet,
- neben den fachlichen Erkenntnissen auch interkulturelle Erfahrungen gesammelt. Beides ist eine gute Grundlage für die weitere gemeinsame Forschungsarbeit. Es kann aber auch für die zukünftige internationale Forschungszusammenarbeit generell sehr nützlich sein. Vor allem in der Laufzeit des vom Schweizerischen Nationalfonds geförderten «Institutional Partnership Projects» haben sich zahlreiche Kontakte gefestigt und neue Kontakte sind hinzugekommen.

Die WSL und ihre Ostpartner haben durch ihre Zusammenarbeit ihre Position in weltweiten Forschungsnetzwerken gefestigt. Dies zeigten die Ergebnisse zweier Tagungen:

- 1997 in Krasnojarsk (Russland), wo die Bedeutung der hemisphärischen Jahrringdaten für die weltweite Klimadebatte herausgestrichen wurde, sowie
- 2000 in Kuhmo (Finnland), wo die Bedeutung detaillierter Sukzessionsdaten für die naturnahe Bewirtschaftung von borealen Wäldern, die durch Windwürfe oder Waldbrände zerstört wurden, hervorgehoben wurde.

Die bis 1990 von der westlichen Forschungsgemeinschaft nahezu abgeschnittenen russischen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen haben sich durch die Partnerschaft mit der WSL neue Forschungsmethoden und -ergebnisse erschlossen und Zugang zu weiteren Forschungs- und Naturschutzinstitutionen bekommen. Während die russischen Gäste Neues über schweize-

rische bzw. mitteleuropäische Eigenheiten der Waldforschung und -bewirtschaftung erfahren, ergänzen die Wissenschaftler der WSL ihre Erfahrungen vor allem im Bereich der Naturwald- und Klimaforschung. Russland besitzt mit den weitläufigen naturnahen Waldregionen ein Kapital von weltweiter Bedeutung. In den weiten Wäldern der russischen Taiga lassen sich noch verhältnismässig natürliche Prozesse untersuchen, die Aussagen über die räumliche und über die zeitliche Entwicklung der Biodiversität erlauben (SYRJÄNEN *et al.* 1994).

Die acht Jahre der partnerschaftlichen Zusammenarbeit haben sich sowohl für die UFA als auch für die WSL bezahlt gemacht. Der Nutzen dürfte in Zukunft weiter zunehmen, denn einerseits ist die UFA dabei, sich im Westen neue Möglichkeiten der Zusammenarbeit aufzubauen; andererseits hat die WSL, wie auch andere westliche Forschungsinstitutionen (SYRJÄNEN *et al.* 1994), Zugang zu weitläufigen Naturräumen mit wertvollen Forschungsmöglichkeiten erhalten und neue Forschungspartner kennengelernt. Es ergibt sich also eine «Win-Win-Situation». In Zukunft sollen neue Forschungspartner aus West- und Osteuropa in die partnerschaftlichen Aktivitäten verstärkt eingebunden werden. Die Kontakte zum Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, zum Institut für Ökologie und Naturschutz der Universität Wien sowie zum Forstdienst des Fürstentums Liechtenstein sind erste Schritte in diese Richtung.

Dank

Teile der in Abschnitt 2 dargestellten Untersuchungen konnten nur dank der Unterstützung des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung, des Schweizerischen Nationalfonds (Institutional Partnership Project 1997/1998 in Zusammenarbeit mit der Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit) sowie des Russischen Ministeriums für Bildung durchgeführt werden. Für die grosszügige Unterstützung danken wir den beteiligten Institutionen. Die Datenerhebung und -aufbereitung war nur möglich durch die tatkräftige Mithilfe von Konstantin A. Zotov und Dmitrij Gribaschow, Doktoranden des Lehrstuhls für Meliorationen und Forstkulturen der UFA, mehreren Diplomanden desselben Lehrstuhls sowie zahl-

reichen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Gebietsforstverwaltungen Swerdlowsk, Perm und Tscheljabinsk sowie der Uralischen Regionalverwaltung für Hydrometeorologie in Jekaterinburg. Ihnen allen, sowie unseren Übersetzerinnen Aldona Bacher und Brigitte Steiger (beide WSL), die uns bei der Übersetzung der russisch- bzw. englischsprachigen Literatur ins Deutsche bzw. Russische unterstützten, gilt unser herzlichster Dank.

4 Literatur

- ALEXANDERSSON, H.; TUOMENVIRTA, H.; SCHMITH, T.; IDEN, K., 2000: Trends of storms in NW Europe derived from an updated pressure data set. *Clim. Res.* 14: 71–73.
- BELOV, S.V., 1976: Vozdejstvie vetra na les [Einwirkung des Windes auf den Wald; in Russisch]. In: *Lesovodstvo lesnye kultury i počvovedenie, Leningradskaja ordena Lenina, Lesotekhnicheskaja akademija, Leningrad*, 103–108.
- BERZ, G., 1993: Global Warming and the Insurance Industry. *Interdisciplinary Sci. Rev.* 18, 2: 120–125.
- BRADLEY, R.S.; KELLY, P.M.; JONES, P.D.; GOODNESS, C.M.; DIAZ, H.F., 1985: A Climatic Data Bank for Northern Hemisphere Land Areas, 1851–1980. TR= 17, DOE/EV/10739-2, Carbon Dioxide Research Division, U.S. Dept. of Energy, Washington, D.C. 335 S.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft) (Hrsg.) 2000: Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald. BUWAL, Bern. 100 S.
- ČASTUHIN, W.J., NIKOLJEVSKAJA, M.A., 1969: Biologičeskij raspad i resintez organičeskich veščestv v prirode [Biologische Zersetzung und Resynthese der organischen Stoffe in der Natur; in Russisch]. *Nauka, Leningrad*, 326 S.
- DERUNGS, R., 1999: Windwürfe und Bestandesentwicklung – ursächliche Zusammenhänge und Auswirkungen. Diplomarbeit ETH Zürich. 51 S.
- FISCHER, A., 1992: Long Term Vegetation Development in Bavarian Mountain Forest Ecosystems Following Natural Destruction. *Vegetatio* 103: 93–104.
- FISCHER, A. (Hrsg.) 1998: Die Waldentwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf. *Umweltforschung in Baden-Württemberg*. Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsberg. 436 S.
- FOSTER, D.R., 1988: Disturbance History, Community Organization and Vegetation Dynamics of the Old-growth Pisgah Forest, South-Western New Hampshire, U.S.A. *J. Ecol.* 76: 105–134.

- KRAPFENBAUER, A.; HOLTERMANN, C., 2000: Weltwetterküche erhöht Risiko von Sturmkatastrophen. Österr. Forstztg. 111, 6: 25–27.
- KROGERTAS, R.B., 1976: Vetroustojčivost nasaždenij severo-zapadnoj časti Litovskoj SSR [Windresistenz der Waldbäume im nordwestlichen Teil der Republik Litauen; in Russisch]. In: Usoveršenstvovanie ustrojstva lesov na počvennotipologičeskoj osnove. Mokslas, Vilnius: 182–187.
- LÄSSIG, R., 1999: Forschungspartnerschaften nützen auch dem Westen. Der Bund 149, 2: 2.
- LÄSSIG, R., 2000: Windwürfe – Chancen für artenreiche Wälder nutzen. Wald Holz 81, 3: 56–60.
- LÄSSIG, R.; EGLI, S.; ODERMATT, O.; SCHÖNENBERGER, W.; STÖCKLI, B.; WOHLGEMUTH, T., 1995: Beginn der Wiederbewaldung auf Windwurfflächen. Schweiz. Z. Forstwes. 146: 893–911.
- LÄSSIG, R.; MOTSCHALOW, S.A., 1999: Die Häufigkeit starker Stürme und ihre Auswirkungen auf die Wälder der Ural-Region. Forstl. Forsch.ber. Münch. 176: 30–41.
- LÄSSIG, R.; SCHÖNENBERGER, W., 2000: Nach «Lothar» von «Vivian»-Erfahrungen profitieren. Wald Holz 81, 2: 31–35.
- MAMAĖV, V.M., 1974: Bespozvonočnye kak indikatory stadij estestvennogo razrušenija drevesiny [Wirbellose Tiere als Indikatoren der Stufen natürlicher Zersetzung des Holzes; in Russisch]. In: Voprosy ekologičeskoj fiziologii bespozvonočnyh. Moskva: 198–212.
- MEŽIBOVSKIJ, A.M., 1970: Issledovanie faktorov, vlijajuščih na vetroval i burelom eli [Untersuchung der Faktoren, die den Windwurf und Windbruch bei der Fichte beeinflussen; in Russisch]. Lesnoj žurnal, 4: 141–145.
- MITCHELL, S.J., 1995: A synopsis of windthrow in British Columbia: occurrence, implications, assessment and management. In: COUTTS, M.P.; GRACE, J. (eds) Wind and trees. Cambridge University Press: 448–459.
- MOTSCHALOW, S.A.; LÄSSIG, R., 1999: Der Beginn der Wiederbewaldung von belassenen und geräumten Sturmwurfflächen im Mittel-Ural. Forstl. Forsch.ber. Münch. 176: 111–119.
- QUINE, C.P., 1995: Assessing the risk of wind damage to forests: practice and pitfalls. In: COUTTS, M.P.; GRACE, J. (eds) Wind and trees. Cambridge University Press: 379–403.
- ROŽKOV, A.A.; KOZAK, B.T., 1989: Ustojčivost lesov [Stabilität der Wälder; in Russisch]. Agropromizdat, Moskva, 239 S.
- ROTMANN, M., 1986: Wind- und Sturmschäden im Wald. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a/M. 128 S.
- SCHIESSER, H.H.; PFISTER, C.; BADER, J., 1997: Winter Storms in Switzerland North of the Alps 1864/1865–1993/1994. Theor. Appl. Climatol. 58: 1–19.
- ŠIŠKOV, I.I., 1947: Vetrovol v Ohtenskom leshoze [Windwurf im Ohta-Forstbetrieb; in Russisch]. Trudy Lesotehničeskaja akademija, Leningrad, 61: 155–171.
- SCHÖNENBERGER, W.; KASPER, H.; LÄSSIG, R., 1992: Forschungsprojekte zur Wiederbewaldung von Sturmschadenflächen. Schweiz. Z. Forstwes. 143: 829–847.
- SERNANDER, R., 1936: Granskär och Fiby urskog [in Swedish with English abstract]. Acta Phytogeogr. Suec. 8: 232 S.
- SKVORZOVA, E.B.; ULANOVA, N.G.; BASEVIČ, V.F., 1983: Ekologičeskaja rol vetrovalov [Ökologische Rolle von Windwürfen; in Russisch]. Lesnaja promyšlennost, Moskva, 192 S.
- STEPANOVA, N.T.; MUHINA, V.A., 1979: Osnovy ekologii derevorazrušajuščih gribov [Grundlagen der Ökologie von holzabbauenden Pilzen; in Russisch]. Nauka, Moskva: 100 S.
- STÖCKLI, B., 1993: Ruhe nach dem Sturm? Ökosystemforschung auf Sturmschadenflächen. Argumente aus der Forschung 5: 13–21.
- STOJKO, S.M., 1965: Pričiny vetrovalov i burelomov v Karpatskih elnikah i mery borby s nimi [Ursachen der Windwürfe und Windbrüche in den Karpaten-Fichtenwäldern und die Bekämpfungsmassnahmen; auf Ukrainisch]. Lesnoje hosjažstvo, 9: 12–15.
- SYRJÄNEN, K.; KALLIOLA, R.; PUOLASMAA, A.; MATTSSON, J., 1994: Landscape structure and forest dynamics in subcontinental Russian European taiga. Ann. Zool. Fennici 31: 19–34.
- TIMOFEEV, V.P., 1957: Vlijanie počvenno-gruntovyh uslovij na vetroval i bureval [Einfluss der Bodenverhältnisse auf Windwurf und Windbruch; in Russisch]. Izvestija Timirjazevskoj s.-h. akademii, Moskva 6: 125–146.
- TURKOV, V.G., 1979: O vyvale derevev v etrom v pervobytnom lesu kak biogeocenotičeskom javlenii (na primere gornyh pihtovo-elovyh lesov Srednego Urala) [Windwurf im Urwald als eine biogeozotische Erscheinung (am Beispiel der Fichten-Tannen-Gebirgswälder des Mittelurals); in Russisch]. In: Temnohvojnye lesa Srednego Urala/Trudy In-ta ekologii rastenij i životnyh. Sverdlovsk 128: 121–140.
- USOLTSEV, V.A.; HOFFMANN, C.W., 1997: A preliminary crown biomass table for even-aged *Picea abies* stands in Switzerland. Forestry 70, 2: 103–112.