



**REAKTION VON WALDBESTÄNDEN AM RANDE DER SÜDLICHEN  
TAIGA AUF KLIMAFAKTOREN,  
NATÜRLICHE UND WALDBAULICHE STÖRUNGEN**

Dissertation

zur Erlangung des Grades Doctor of Philosophy (Ph.D.)

der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie

der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von

Master of Science (Agriculture and Forestry),

Master of Science / Master of International Nature Conservation

**Alexander Marc-André Gradel**

geboren in Bielefeld

Göttingen, November 2017

1. Gutachter: Prof. Dr. Christian Ammer

Abteilung Waldbau und Waldökologie der gemäßigten Zonen  
Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie  
Georg-August Universität Göttingen

2. Gutachter: Prof. Dr. Sven Wagner

Professur für Waldbau  
Institut für Waldbau und Waldschutz  
Technische Universität Dresden

Tag der mündlichen Prüfung: 04.08.2017

**Reaktion von Waldbeständen am Rande der südlichen Taiga auf  
Klimafaktoren, natürliche und waldbauliche Störungen**

**Response of forest stands at the edge of the southern taiga to climate  
factors, natural and silvicultural disturbances**

**Реакция древостоев, расположенных на краю южной тайги, на  
климатические факторы, природные и лесоводственные воздействия**

**Mitglieder des Betreuungsausschusses (Thesis Committee, Диссертационный комитет):**

1. Prof. Dr. Christian Ammer, Abteilung für Waldbau und Waldökologie der gemäßigten Zonen, Georg-August-Universität Göttingen
2. Prof. Dr. Sven Wagner, Professur für Waldbau, Technische Universität Dresden
3. Prof. Dr. Enkhtuya Bazarradnaa, Bodenforscherin (Agrochemie), Agrarökologie und Wirtschaft, Mongolische Universität für Lebenswissenschaften in Darchan
4. Prof. Dr. Noov Bayarsukh, Agarökologie und Wirtschaft, Mongolische Universität für Lebenswissenschaften in Darchan und Direktor des Instituts für Pflanzen- und Agrarwissenschaften
5. Prof. Dr. Wladimir N. Petrov, Abteilung für Forstpolitik, Wirtschaft und Verwaltung, Sankt Petersburger Staatliche Forsttechnische Universität benannt nach S.M. Kirov
6. Prof. Dr. Aleksandr S. Alekseev, Abteilung für Forstinventur, Forsteinrichtung und Geoinformationssysteme, Sankt Petersburger Staatliche Forsttechnische Universität benannt nach S.M. Kirov
7. Dr. Aleksandr A. Altaev, Waldbau und Forsteinrichtung, Burjatische Staatliche Landwirtschaftsakademie benannt nach W.R. Philippov
8. Prof. Dr. Michael Mühlenberg, Arbeitsgruppe zum Schutz gefährdeter Arten, Georg-August-Universität Göttingen

Meinen Eltern

# INHALT

<b>Institutioneller Rahmen dieser Forschungsarbeit</b> .....	<b>IV</b>
<b>Institutional framework of this research work</b> .....	<b>V</b>
<b>Институциональные рамки этой исследовательской работы</b> .....	<b>VI</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>VII</b>
<b>Summary</b> .....	<b>XII</b>
<b>Резюме</b> .....	<b>XVI</b>
<b>Kapitel I</b> .....	<b>1</b>
<b>Einführung</b> .....	<b>1</b>
<b>I.1 Einleitung</b> .....	<b>2</b>
Die Mongolei.....	2
Die forstpolitische Entwicklung der Mongolei.....	4
Waldbedeckung in der Mongolei.....	6
Taigazone und Gebirgswaldsteppenzone in der Mongolei.....	8
Einfluss von Klimafaktoren und Klimawandel auf die Wälder der südlichen Taiga und Gebirgswaldsteppe.....	11
Störungsdynamik in den Wäldern der südlichen Taiga und Gebirgswaldsteppe.....	13
Studienziele und Forschungsfragen.....	20
<b>I.2 Untersuchungskonzepte und Forschungsgebiete</b> .....	<b>22</b>
Beobachtungsstudien und Durchforstungsversuche.....	22
Einrichtung von Referenzflächen und Durchforstungsversuchen in der Mongolei.....	27
Einrichtung von Durchforstungsversuchen mit der MULS im entwicklungspolitischen Rahmen eines UNFAO-Projektes.....	30
Übersicht über die eingerichteten Flächen in den Forschungsgebieten Altansumber und Bugant.....	38
Überblick zu den wichtigsten Konzepten für die Auswertung.....	42
<b>Kapitel II</b> .....	<b>47</b>
<b>Spatial distribution of trees on light taiga plots before selective thinning ....</b>	<b>47</b>
Abstract.....	48
Zusammenfassung.....	49
Резюме.....	50
Introduction.....	51
Materials and Methods.....	52
Results.....	55
Discussion.....	56
Conclusion.....	58
Acknowledgements.....	58
References.....	58

**Kapitel III ..... 61**

**Response of white birch (*Betula platyphylla* Sukaczew) to temperature and precipitation in the mountain forest steppe and taiga of northern Mongolia ...61**

Abstract .....	62
Zusammenfassung .....	63
Резюме .....	64
Introduction .....	65
Materials and Methods .....	66
Results .....	71
Discussion .....	77
Conclusions .....	81
Acknowledgements .....	82
References .....	83

**Kapitel IV ..... 87**

**Climate-growth relationships and pointer year analysis of a Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) chronology from the Mongolian mountain forest-steppe compared to white birch (*Betula platyphylla* Sukaczew).....87**

Abstract .....	88
Zusammenfassung .....	89
Резюме .....	90
Background .....	91
Materials and Methods .....	93
Results .....	96
Discussion .....	99
Conclusions .....	106
Acknowledgements .....	107
References .....	108

**Kapitel V ..... 111**

**On the effects on tree growth and stand structure of white birch (*Betula platyphylla* Sukaczew) and Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in Mongolia111**

Abstract .....	112
Zusammenfassung .....	113
Резюме .....	114
Introduction .....	115
Materials and Methods .....	116
Results .....	120
Discussion .....	131
Conclusions .....	133
Acknowledgements .....	133
Appendix A. (Pictures from the RA Altansumber).....	134
Supplementary.....	136
References .....	137

<b>Kapitel VI .....</b>	<b>141</b>
<b>Die Verjüngungsschicht in den Durchforstungsversuchen und Referenzflächen der Forschungsgebiete Altansumber und Bugant.....</b>	<b>141</b>
Die Anzahl der Verjüngungsschicht variiert stark zwischen den Beständen .....	144
Die Verteilung der Verjüngungspflanzen innerhalb der Waldbestände ist zumeist unregelmäßig .....	145
Künstliche Verjüngung durch Unterpflanzen und Aufforstung .....	151
Diskussion .....	152
<b>Kapitel VII.....</b>	<b>154</b>
<b>Synthese.....</b>	<b>154</b>
Beobachtete Reaktion der Waldbestände auf Klimafaktoren und Störungen .....	155
Capacity Development auf den Flächen.....	167
Entwicklung eines mongolischen Waldbaus .....	170
Abschließende Empfehlungen.....	174
<b>Verzeichnisse .....</b>	<b>177</b>
<b>Literaturverzeichnis der Kapitel I, VI und VII.....</b>	<b>178</b>
<b>Weitere Verzeichnisse-Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>186</b>
<b>Weitere Verzeichnisse-Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>187</b>
<b>Weitere Verzeichnisse-Abkürzungsverzeichnis der Kapitel I,VI und VII .....</b>	<b>189</b>
<b>Danksagung.....</b>	<b>190</b>
<b>Eidesstattliche Erklärung .....</b>	<b>191</b>

## **Institutioneller Rahmen dieser Forschungsarbeit**

Referenzflächen und Durchforstungsversuche wurden von der Mongolischen Universität für Lebenswissenschaften in Darchan eingerichtet.

Diese Forschungs-, Aufbau- und Trainingsinitiative wurde ursprünglich von internationalen Entwicklungsorganisationen unterstützt: von der Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen (UNFAO) und der Deutschen Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit (GIZ). Die Hauptaktivitäten für die Einrichtung von Versuchsflächen im Forschungsgebiet Altansumber wurden im Jahr 2009 im Rahmen des UNFAO-Projektes „*Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia*“ (GCP / MON / 002 / NET) gestartet und von der Regierung der Niederlande finanziert.

Alle Flächen wurden im erweiterten Bereich der mongolischen „Nord-Süd-Verbindung“ eingerichtet, die die Haupt-Transportroute innerhalb des Landes und zwischen Russland und China darstellt. Die Flächen wurden in zwei Forschungsgebieten etabliert: Altansumber liegt westlich von Darchan. Bugant liegt östlich von Darchan.

Die Einrichtung und Erfassung auf den Flächen sowie die Auswertung wurde innerhalb des Forschungsprojektes „*Reaktion von Waldbeständen am Rande der südlichen Taiga auf Klimafaktoren, natürliche und waldbauliche Störungen*“ (RForStand) fortgesetzt. Dieses Projekt wurde von der Abteilung Waldbau und Waldökologie der gemäßigten Zonen der Universität Göttingen und dem Lehrstuhl für Waldbau an den Technischen Universität Dresden in enger Zusammenarbeit mit der Mongolischen Universität für Lebenswissenschaften in Darchan betreut und finanziell vom Deutschen Akademischen Austauschdienst DAAD unterstützt (Forschungsstipendium D / 11/42667 und D / 12 / 41577).

Während des Projektverlaufs fand eine Zusammenarbeit mit Partnern weiterer Institutionen statt: Mongolische Akademie der Wissenschaften, Burjatische Staatliche Landwirtschaftsakademie, Institut für Forstnutzung und Forsttechnik der Technischen Universität Dresden, Sankt Petersburger Staatliche Forsttechnische Universität, Universität Hohenheim und Mendel-Universität Brunn.

Diese wissenschaftliche Arbeit ist ein Ergebnis dieser Zusammenarbeit.



## **Institutional framework of this research work**

Reference plots and experimental thinning trials were established by the Mongolian University of Life Sciences in Darkhan.

This research and capacity-building initiative was initially supported by international development organizations: the United Nation's Food and Agriculture Organization (UNFAO) and the German Society of International Cooperation (GIZ). The main activities for the establishment of research plots in the research area Altansumber started in 2009 within the UNFAO project „*Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia*” (GCP/MON/002/NET), financed by the government of the Netherlands.

All plots were established within the enhanced sphere of the Mongolian “north-south connection”, which is the main transportation route within the country and between Russia and China. The plots were established in two research areas: Altansumber is situated west of Darkhan. Bugant is situated east of Darkhan.

The establishment and assessment of plots and data analyses in the research areas continued in the research project “*Response of forest stands at the edge of the southern taiga to climate factors, natural and silvicultural disturbances*” (RForStand), supervised by the Department of Silviculture and Forest Ecology of the Temperate Zones at Universität Göttingen and the Chair of Silviculture at Technische Universität Dresden in close cooperation with the Mongolian University of Life Sciences in Darkhan and financially supported by the German Academic Exchange Service DAAD (research grant D/11/42667 and D/12/41577).

In the course of the project, cooperation with partners from other institutions took place: Mongolian Academy of Sciences, Buryat State Academy of Agriculture, Institute of Forest Utilization and Forest Technology at Technische Universität Dresden, Saint-Petersburg State Forest Technical University, University of Hohenheim and Mendel University in Brno.

This scientific work is an output of this cooperation.

## **Институциональные рамки этой исследовательской работы**

Исследуемые площади и эксперименты выборочной рубки были созданы Монгольским Университетом естественных наук в Дархане.

Эта инициатива в области исследований и развитие компетенций участников финансировалась международными организациями в рамках помощи развивающимся странам: «Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций» (ФАО) и «Германское общество международного сотрудничества» (GIZ). Основные мероприятия по созданию исследовательских площадей были начаты в рамках проекта ФАО *«Укрепление потенциала и институциональное развитие для совместного управления природными ресурсами и сохранения лесов в лесных районах Монголии»* (GCP / MON / 002 / NET), финансируемого правительством Нидерланды.

Все площади были созданы в обширной области Монголии соединения «Север - Юг», которое является основным транспортным маршрутом внутри страны, а также между Россией и Китаем. Площади были созданы в двух исследовательских районах: Алтансумбэр, расположенный к западу от Дархана; Бугант, расположенный к востоку от Дархана.

Создание исследуемых площадей, сбор и анализ данных продолжили в рамках исследовательского проекта *«Реакция лесных древостоев, расположенных на краю южной тайги, на климатические факторы, природные и лесоводственные воздействия»* (R-ForStand). Проект был осуществлен под руководством Департамента лесоводства и лесной экологии умеренных зон Университета Геттингена и кафедры лесоводства в Техническом университете Дрездена в тесном сотрудничестве с Монгольским университетом естественных наук в Дархане и при финансовой поддержке Германской службы академических обменов DAAD (исследовательский грант D/11/42667 и D/12/41577).

В ходе проекта было организовано сотрудничество с партнерами из других учреждений: Монгольская академия наук, Бурятская государственная сельскохозяйственная академия, Институт лесного хозяйства и лесной техники в Техническом университете Дрездена, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, университет Хоэнхайм и Университет Менделя в Брно.

Эта научная работа является результатом этого сотрудничества.

## Zusammenfassung

Die nordmongolische Gebirgswaldsteppe, die Übergangszone zwischen Taiga und offener Steppe, besitzt eine reiche Tier- und Pflanzenwelt. Für die Landwirtschaft ist diese Region der produktivste Landesteil und weist für die Mongolei eine überdurchschnittlich hohe Siedlungsdichte auf. Helle Taigabestände, die von Lärche (*Larix sibirica* Ledeb.) dominiert werden, stellen das Rückgrat der mongolischen Wirtschaftswälder dar und sind zunehmend einer wachsenden Nachfrage an Industrie- und Brennholz ausgesetzt. Die borealen Wälder der mongolischen Gebirgswaldsteppenzone und der Taigazone sind, vor allem seit dem Ende des letzten Jahrhunderts, sichtbar zurückgegangen. Die hauptsächlichen Triebkräfte dieser Vegetationsverschiebung sind Änderungen in Bezug auf Landnutzung, Waldbrandhäufigkeit und das Auftreten von Schädlingen und Klimawandel. Artenzusammensetzung, Zuwachs und Bestandesstruktur werden stark von den verschiedenen natürlichen und anthropogenen Störungsregimen und auch Klimafaktoren beeinflusst. Ein Verständnis zum Einfluss von Klimafaktoren auf diese Störungen und den ökologischen Einfluss von Störungen auf Waldbestände und ihre Reaktion in Bezug auf Struktur, Zuwachs und Verjüngung ist essentiell für die Entwicklung von ökologisch und regional angepassten Waldbewirtschaftungsprogrammen. Häufigere intensive großflächige Störungen, vor allem Holzeinschlag und Waldbrände, förderten das Auftreten von Sukzessionswäldern, die oft von Birken (*Betula platyphylla* Sukaczew) dominiert werden. Trotz laufender Bemühungen zur Etablierung alternativer Waldbewirtschaftungsansätze in der Mongolei, fehlt es an Wissen über die Auswirkungen der wichtigsten Einflussfaktoren und Störungen auf Waldstruktur und Waldwachstum und an ausreichenden Kapazitäten.

Eine der Provinzen mit traditionell intensiver Landnutzung ist der Selenge Aimag, nördlich von Ulaanbaatar. Im Jahr 2009 wurden von der Mongolischen Universität für Lebenswissenschaften in Darchan und der Waldnutzergruppe Altansumber Referenzflächen und experimentelle Durchforstungsversuche eingerichtet. Die Mehrzahl der Forschungsflächen weist eine Größe von jeweils 2500m<sup>2</sup> auf. Diese Initiative wurde durch das UNFAO-Projekt " *Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia*" (GCP / MON / 002 / NET) unterstützt, welches durch die niederländische Regierung finanziert wurde. Das Forschungsgebiet Altansumber liegt westlich von Darchan und ist ein Paradebeispiel für die

mongolische Gebirgswaldsteppenzone. Das Forschungsgebiet Bugant liegt östlich von Darchan im westlichen Khentii-Gebirge und ist Teil der dicht bewaldeten Taigazone.

Die Auswirkungen von Klimafaktoren und selektiver Holznutzung auf Waldstruktur und Wachstum von Birke und Lärche wurden in feuergestörten Beständen der hellen Taiga des Forschungsgebietes Altansumber (Gebirgswaldsteppenzone, Nordhänge) untersucht. Im Forschungsgebiet Bugant (Taigazone, Süd- und Osthänge) wurde der Einfluss von Klimafaktoren auf den Zuwachs der Birke untersucht und mit den Ergebnissen von Altansumber verglichen. Unterschiede in Bezug auf Brandschäden zwischen Birke und Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) wurden separat in einer kleinen Fallstudie erfasst. In allen untersuchten Beständen beider Forschungsgebiete wurden Anzeichen von Waldbränden gefunden, und die meisten Bestände zeigten auch Spuren von ehemaliger, kleinräumiger Holznutzung. Mittels dendrochronologischer Methoden wurden die Klima-Wachstums-Beziehungen untersucht und Weiserjahrenanalysen durchgeführt. Im Forschungsgebiet Altansumber wurde die nicht-räumliche und räumliche Waldstruktur sowohl vor, als auch direkt nach der Durchforstung und drei Jahre später analysiert. Die Analysen wurden in Form von Eingriffsanalysen unter Verwendung von L-funktionen und Paarkorrelationsfunktionen durchgeführt. Die Auswirkung von Konkurrenzverringern auf den Zuwachs der verbleibenden Bäume wurde mittels linear gemischter Modelle beschrieben und analysiert. Die Verjüngungsschicht wurde auf allen Flächen in Altansumber 2012 und in Bugant 2011 aufgenommen und auf einigen Flächen in Bugant 2013 wiederaufgenommen.

Für beide Arten, Lärche und Birke, war Niederschlag während der Zeit des Spätsommers und Frühherbstes des Vorjahres und direkt vor der Vegetationsperiode des laufenden Jahres, ein entscheidender Klimafaktor und bestimmend für das Baumwachstum. Die Weiserjahrenanalyse zeigte eine weitgehend gute Übereinstimmung zwischen beiden Arten. Ausreichend Niederschlag vor dem Beginn der Vegetationsperiode war für das Wachstum junger Birken wichtiger als für ältere. Die Beziehung zwischen Niederschlag und Zuwachs der Birke war in der trockeneren und hochkontinentalen Gebirgswaldsteppenzone (Altansumber), im Vergleich zu der feuchteren Taigazone (Bugant), ausgeprägter. Anzeichen für Insektenschäden konnten nur in Bugant (Taigazone) gefunden werden. Alle Birkenchronologien zeigten eine hohe Empfindlichkeit gegenüber höheren Temperaturen, typischerweise im Frühjahr, sowie eine Beziehung zwischen dem zeitlichen Auftreten der negativen Temperatur-Wachstums-Beziehung und Hangexposition. Auf den Nordhängen in Altansumber trat eine signifikante

negative Korrelation zwischen Temperatur und Zuwachs der Birke im Mai auf. Auf den Südhängen in Bugant trat diese negative Korrelation zeitlich früher, im April, auf. Diese signifikant negative Temperatur-Wachstums-Beziehung konnte für die Lärchen-Chronologie in Altansumber nicht bestätigt werden. In beiden Forschungsgebieten war die durchschnittliche jährliche Zuwachsleistung der Nadelbäume höher als die der Birke. Die beobachtete Differenz, bezüglich der Zuwachsleistung und der Empfindlichkeit gegenüber der Frühjahrstemperatur, könnte zu einem gewissen Grad mit unterschiedlichen Schutzmechanismen von Birken- und Nadelbäumen, gegenüber den sehr häufig auftretenden niedrig intensiven Bodenfeuer zusammenhängen, welche im Frühjahr ihre Hauptsaison haben und teilweise durch Klimafaktoren gesteuert werden. Die Anzahl von sichtbar feuergeschädigten Bäumen war in Bugant für die dünnborkigen Birken bis über achtmal so hoch wie die für die dickborkigen Kiefern aus dem gleichen Bestand. In aus Birken und Nadelbäumen gemischten Beständen hat ein niedrig intensives Bodenfeuerregime einen negativeren und länger anhaltenden Einfluss auf das Wachstum der Birke als auf das Wachstum von dickborkigen Nadelbäumen. Auf der anderen Seite fördern intensive Brände oder intensiver Einschlag oder Kahlschlag die Dominanz von Birkensukzession aufgrund ihrer Fähigkeit zum Stockausschlag. Charakteristika der Waldstruktur und Störungsreaktion wurden ausschließlich im Forschungsgebiet Altansumber untersucht und konnten mit Sukzessionsprozessen, Waldbränden und unregelmäßigem Holzeinschlag in Verbindung gebracht werden. Eine signifikant unregelmäßige („geklumpte“) Baumverteilung konnte für alle Lärchen- und die meisten Birkenbestände in Altansumber vor der Durchforstung bestätigt werden. Aufgrund von Stockausschlag traten junge Birken häufig in sehr engen, kleinen Trupps auf. Lärchen hingegen tauchten in lockereren Clustern verteilt über größere Distanzen auf. Da Birken geringere Lebensspannen aufweisen und intensiver untereinander konkurrieren, könnten sie in reinen Beständen eine zufällige räumliche Verteilung früher als die Lärche erreichen. Konkurrenz spielte eine signifikante Rolle in den untersuchten hellen Taigabeständen. Im Forschungsgebiet Altansumber wurde die Beziehung zwischen Konkurrenz und Zuwachs vor, direkt nach und drei Jahre nach der Durchforstung ausgewertet. Die Eingriffe wurden in verschiedenen Durchforstungsstärken durchgeführt (5,4% - 52,4% G). Hauptkriterien für die Auswahl von zu entfernenden Bäumen waren relativ niedrigerer Gesundheitszustand und Wachstumspotenzial, angedeutet durch Stammschäden, Kronenentwicklung und Stammform sowie Abstand zwischen den einzelnen Bäumen. Diese Auswahl führte weitgehend zu Niederdurchforstungen. Wie erwartet förderte Durchforstung

eine regelmäßige Baumverteilung. Allerdings führte das Einwachsen von neuen Stämmen die Waldstruktur zurück in Richtung geklumpfter Baumverteilung. Der Zuwachs wurde signifikant durch die, von der Durchforstung ausgelösten, Konkurrenzverringering gesteuert und die Zuwachsreaktion war in absoluter und relativer Betrachtung gültig. Die relative Zuwachssteigerung gegenüber der Periode vor der Durchforstung war für die Birke etwas höher als für die Lärche, trotz der relativ hohen durchschnittlichen Bestandesalter zum Zeitpunkt der Durchforstung im Jahr 2009, insbesondere für die Birken. Die Daten wurden aus Jahrringanalysen abgeleitet (mittleres Alter der Lärchenbestände: ca. 22 und 61 Jahre; Birkenbestände: ca. 44 und 68 Jahre). Basierend auf den regionalen Daten aus der aktuellen nationalen Waldinventur (MPNFI) als Referenzwert, ist die Anzahl in der Verjüngungsschicht in Altansumber in allen Beständen nach der Durchforstung relativ niedrig, wohingegen die Anzahl in der Verjüngungsschicht in Bugant überdurchschnittlich ist.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass eine mehr methodisch fundierte Waldbewirtschaftungsstrategie möglich ist. Jedoch müssen die örtlichen waldbaulichen Maßnahmen den multifunktionalen regionalen Waldbewirtschaftungszielen dienen. Die Kapazität der Wälder weiterhin Ökosystemleistungen, wie Wasser- und Bodenschutz, kontinuierliche Vegetationsabdeckung und Biodiversität zur Verfügung zu stellen, und zur Minderung von negativen Effekten durch den Klimawandel beizutragen, muss gesichert werden. Dies ist angesichts des anhaltenden Klimawandels, der zunehmenden Häufigkeit von Störungen und der Entwicklung gesellschaftlicher Bedürfnisse besonders schwierig. Das wichtigste waldbauliche Ziel sollte die Verbesserung der Stabilität und Resilienz der Waldökosysteme gegenüber unterschiedlichen Störungen sein und dabei simultan die Nutzung einiger Bestände ermöglichen. Zwei Nutzungsmodelle könnten möglich sein: Industrieholzproduktion (hauptsächlich Lärche und Kiefer) oder Energieholzproduktion (hauptsächlich Birke). Dichte helle Taigabestände, die als Wirtschaftswälder ausgewiesen sind, könnten in den ersten 50-60 Jahren ein bis zwei Mal, entsprechend den oben genannten Kriterien, durchforstet oder selektiv eingeschlagen werden. Zu einem späteren Zeitpunkt könnten diese Bestände dann in Femelschlagsysteme zur Förderung der Verjüngung und zur endgültigen Nutzung überführt werden. Unterpflanzen von Jungwuchs sollte nur in Betracht gezogen werden, wenn die gewünschte Verjüngung nicht ausreicht oder wenn der Bestand in eine andere Baumartenzusammensetzung überführt werden soll. Ein Teil der Sukzessionsbirkenbestände in der Nähe von Siedlungen könnte als Niederwälder zur

Energieholzgewinnung bewirtschaftet werden. Waldbaurichtlinien müssen erarbeitet werden und die unterschiedlichen speziellen ökologischen und klimatischen Bedingungen verschiedener Bestandesalter, die waldbaulichen Ziele und realistische Bewirtschaftungsoptionen berücksichtigen. Kontrollmechanismen müssen von der nationalen und regionalen Forstverwaltung verstärkt werden. Es wird empfohlen, auch die ökonomische Effizienz von waldbaulichen Operationen, z. B. verschiedene Erntesysteme zu analysieren. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Projektes stammen aus einem relativ kurzen Beobachtungszeitraum. Die Langzeitwirkungen von verschiedenen selektiven Einschlagsintensitäten müssen untersucht werden, insbesondere in Bezug auf Bestandesstabilität, Boden und sporadischen Permafrost.

## Summary

The northern Mongolian mountain forest steppe, the transition zone between taiga and open steppe, is rich in plant and animal life. It is the most productive region in the country in terms of agriculture and, as a result, exhibits settlement density above average for Mongolia. Light taiga stands, dominated by larch (*Larix sibirica* Ledeb.), are the backbone of Mongolian production forests and become increasingly opened to the growing demand for timber and firewood. The boreal forests of the Mongolian mountain forest steppe and taiga zones have experienced a visible decline in forest area and quality, especially since the end of the last century. The main drivers of this vegetation shift are changes in land use, fire frequency, pest occurrence and climate change. Species composition, growth and stand structure are strongly affected by the different natural and anthropogenic disturbance regimes and climate factors. Understanding the impact of climate factors on these disturbances and the ecological impact of disturbances on forest stands and their response in terms of structure, growth and regeneration is essential for the development of ecologically and regionally adapted forest management programs. Increasingly intensive large-scale disturbances, especially logging and forest fires, have boosted the presence of succession forests, often dominated by birch (*Betula platyphylla* Sukaczew). Despite ongoing initiatives for the establishment of alternative forest management approaches in Mongolia, there is a lack of knowledge regarding the influence of the main impact factors and disturbances on forest structure and forest growth, as well as a lack of capacity.

One of the provinces with traditionally intense land use is the Selenge Aimag located to the north of Ulaanbaatar. Reference plots and experimental thinning trials were established in 2009 by the Mongolian University of Life Sciences in Darkhan and the forest user group Altansumber. The majority of the plots exhibit a size of 2500 m<sup>2</sup> each. This initiative was supported by the UNFAO-Project „*Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia*” (GCP/MON/002/NET), which was financed by the government of the Netherlands. The research area Altansumber is situated west of Darkhan and is a prime example of the Mongolian mountain forest steppe zone. The research area Bugant is situated east of Darkhan in the western Khentii Mountains and is part of the densely forested taiga zone.



The effects of climate factors and selective cutting on forest structure and growth of birch and larch were studied in the fire disturbed light taiga stands of the research area Altansumber (mountain forest steppe zone, north-facing slopes). In the research area Bugant (taiga zone, south- and east-facing slopes), the impact of climate factors on the growth of birch was studied and compared with the results from Altansumber. Differences concerning fire damage between birch and pine (*Pinus sylvestris* L.) were assessed separately in a small case study. Signs of fire were found in all researched stands in both research areas, and most stands also showed traces of previous small-scale logging activities. Using dendrochronological methods, the climate-growth relationships were examined and pointer year analyses conducted. In the research area Altansumber non-spatial and spatial forest structure was analysed before, directly after the thinning and three years later. The analyses were conducted in form of harvest event analyses and using L-functions and pair correlation functions. The effect of competition relief on the growth of the remaining trees was modelled with linear mixed-effects models. Regeneration was assessed in all plots in Altansumber in 2012 and in Bugant in 2011 and re-assessed in some plots in Bugant in 2013.

For both, larch and birch, precipitation during the late summer and early autumn of the previous year and directly before the growing season of the current year was a decisive climatic factor determining tree growth. Pointer year analysis showed good agreement between the two species. Sufficient precipitation prior to the start of the growing season was more relevant for the growth of younger birch trees than for older ones. The relationship between precipitation and the growth of birch was more pronounced in the drier and highly continental mountain forest steppe zone (Altansumber) than in the more humid taiga zone (Bugant). Indication of insect damage was found only in Bugant (taiga zone). All birch chronologies showed a strong sensitivity to higher temperatures, typically during spring, and a relationship between the timing of the negative temperature-growth relation and slope exposition. On the north-facing slopes in Altansumber, the significant negative correlation between temperature and growth of birch occurred in May. On the south-facing slopes in Bugant, this negative correlation occurred earlier, in April. This negative temperature-growth relation was not confirmed for the larch chronology in Altansumber. In both research areas, the average annual growth performance was higher for conifers than for birch. The observed difference concerning growth performance and sensitivity to spring temperature may be to some extent related to the different protection capacities of birch and conifers against the very common low-intensity surface fires, which peak during spring and are partly driven by

the climate factors. The number of obviously fire damaged trees in Bugant was up to over eight times higher for the thin-barked birches than for the thick-barked pine trees. In conifer-birch mixed stands, a low intensity surface fire regime has a more negative and longer-lasting influence on the growth of birch than on the growth of thick-barked conifers. However, intensive stand-replacing fires and repeated intensive cutting or clear cutting favour the dominance of birch succession due to their re-sprouting capacity. Forest structure characteristics and disturbance response were studied exclusively in Altansumber and could be linked to succession processes, fire and unregulated logging. A significantly irregular (“clumped”) tree distribution was confirmed for all larch stands and the majority of the birch stands in Altansumber before the thinning. Due to coppicing, young birch often occurred in very small, tight clusters. Larch, in contrast, occurred in looser clusters spread over greater distances. Because birches have shorter life spans and compete more intensely with one another, they may have the capacity to develop in pure stands a random spatial distribution sooner than larch. Competition played a significant role in the light taiga stands monitored in this study. In Altansumber, the relationship between competition and growth was evaluated before, directly after and three years after the thinning. The thinnings were carried out with different thinning intensities (removal: 5.4% - 52.4% G). The main criteria for selecting trees for removal were relatively lower health status and growth capacity, as indicated by damages at the stem and crown development, by stem shape, as well as spacing between trees. This selection largely led to thinnings from below. As expected, thinning promoted regular tree distribution. However, the ingrowth of new stems redirected stand structure towards clumped tree distribution. Growth was significantly triggered by the thinning-induced competition relief, and growth response was valid in absolute and relative terms. Compared to the period before the thinning, relative growth increase was slightly higher for birch than for larch despite the relatively late average stand age at the time of thinning in 2009, especially for the birch trees. Data were derived from tree-ring analyses (average age of the larch stands: ca. 22 and 61 years; birch stands: ca. 44 and 68 years). Based on the regional data of the recent national forest inventory (MPNFI) as reference values, regeneration in Altansumber was relatively low in all stands after thinning, whereas regeneration in Bugant was over average.

Overall, the results indicate that a more methodical forest management strategy is feasible. Local silvicultural actions, however, need to serve multifunctional regional forest management objectives. The capacity of the forests to provide ecosystem services such as water and soil protection, continuous vegetation cover, and biodiversity and to contribute to

the mitigation of negative effects of climate change has to be ensured. This is particularly challenging in the face of ongoing climate change, increasing disturbance frequency and the development of societal needs. The main silvicultural objectives should be to improve the stability and resilience of forest ecosystems against different disturbances while simultaneously enabling the utilization of some stands. Two utilization models may be possible: timber production (predominantly larch and pine) or energy wood production (predominantly birch). Dense light taiga stands designated as production forests could be thinned or selectively cut one to two times in the first 50-60 years of growth according to the criteria mentioned above. At a later stage, these stands could be transformed to shelterwood cutting systems for promotion of regeneration and for final utilization. Underplanting of regeneration should only be considered if the desired regeneration is not sufficient or if the stand shall be transformed to another tree species composition. Some of the succession birch stands close to settlements could be managed as coppice forests for energy wood production. Forest management guidelines need to be elaborated and take into account the special ecological and climatic conditions, different stand conditions, silvicultural objectives and realistic management options. Control mechanisms need to be reinforced by the national forest administration. It is recommended to analyze also the economic efficiency of silvicultural operations, e.g. different harvest systems. The results and conclusions of the project are derived from a relatively short study period. Long term effects of different selective cutting intensities need to be studied, especially with regard to stand stability, soil and sporadic permafrost.

## Резюме

Северо-Монгольская горная лесостепь, переходная зона между тайгой и открытой степью, имеет богатый животный и растительный мир. Для сельского хозяйства это самая продуктивная часть страны и имеет плотность населения выше средней по Монголии. Древостой светлой тайги, в которых преобладает лиственница (*Larix sibirica* Ledeb.), представляют основу монгольских продуктивных лесов и поставляются все больше в соответствии с растущим спросом на деловую древесину и дрова. В лесах Монгольской горной лесостепной зоны и таежной зоны наблюдается, особенно с конца прошлого века, заметное сокращение площади леса. Основными факторами этого сдвига растительности являются изменения в землепользовании, частота пожаров, появление вредителей и изменение климата. На видовой состав, прирост и структуру древостоев оказывают сильное влияние различные природные и антропогенные режимы воздействия и климатические факторы. Понимание влияния климатических факторов на эти воздействия и экологическое влияние от воздействий на древостой и их реакцию с точки зрения структуры, прироста и обновлений необходимо для развития экологически и регионально соответствующих программ ведения лесного хозяйства. Частые, интенсивные, обширные воздействия, прежде всего лесозаготовки и лесные пожары, способствовали появлению сукцессионных лесов (*Betula platyphylla* Sukaczew), в которых преобладает береза. Несмотря на предпринимаемые усилия по созданию альтернативных подходов к управлению лесами в Монголии существует недостаток знаний о влиянии основных факторов и воздействий на структуру лесов и лесной растительности и недостаточная мощность.

Одной из областей с традиционно сильным землепользованием является аймак Селенги, расположенный к северу от Улан-Батора. В 2009 году Монгольский Университет естественных наук в Дархане и группа лесопользователей в исследовательском районе Альтансумбэр создали исследуемые площади и провели экспериментальные опыты выборочной рубки. Эта инициатива в области была поддержана в рамках проекта UNFAO «Укрепление потенциала и институциональное развитие для совместного управления природными ресурсами и сохранения лесов в лесных районах Монголии» (GCP / MON / 002 / NET), финансируемого правительством Нидерланды. Большинство исследуемых площадей имеет размер 2500 м<sup>2</sup>.

Исследовательский район Алтансумбэр расположен к западу от Дархана и является ярким примером монгольской горной лесостепной зоны. Исследовательский район Бугант расположен к востоку от Дархана в западных горах Хенти и является частью густой таежной зоны. Изучалось влияние климатических факторов и выборочной вырубки на рост и структуру поврежденных от пожара березовых и лиственничных древостоев светлой тайги в исследовательском районе Алтансумбэр (горная лесостепная зона, северные склоны). В исследовательском районе Бугант (таежная зона, южные и восточные склоны) изучено влияние климатических факторов на прирост березы и проведено сравнение с результатами Алтансумбэр. Различия в отношении повреждений от пожара между березой и сосной (*Pinus sylvestris* L.) оценивались отдельно. Во всех исследованных древостоях обоих исследуемых районов были обнаружены признаки лесных пожаров, и большинство древостоев также показали признаки предыдущих мелкомасштабных лесозаготовок. Посредством дендрохронологических методов были рассмотрены отношения климата и роста и проведен анализ экстремальных годов. В районе исследований Алтансумбэр непространственная и пространственная структура леса была проанализирована как до, так и непосредственно после прореживания и после трех лет. Анализы произведены в форме анализа прореживания с использованием L-функции и радиальной функции распределения. Влияние снижения конкуренции на прирост остальных деревьев было описано и проанализировано с помощью линейных смешанных моделей. Подрост был зафиксирован на всех площадях в Алтансумбэр в 2012 и в Бугант в 2011 году и возобновился на некоторых площадях в Бугант в 2013 году.

Для обоих видов, лиственницы и березы, осадки во время позднего лета и ранней осени предыдущего года и непосредственно перед началом вегетационного периода текущего года были решающим климатическим фактором, определяющим рост деревьев. Анализ экстремальных годов сильного и слабого роста показал значительное сходство между обоими видами. Достаточные осадки перед началом вегетационного периода были для роста молодых деревьев важнее, чем для старых. В более сухой и высококонтинентальной горной лесостепной зоне (Алтансумбэр) по сравнению с более влажной таежной зоной (Бугант) связь между осадками и ростом березы была более выраженной. Признаки повреждения насекомыми были найдены только в Бугант (таежная зона). Все хронологии берез показали высокую чувствительность к более

высоким температурам, как правило, весной, и взаимосвязь между временным возникновением негативного соотношения температуры и роста и направления склона. На северных склонах в Алтансумбэр статистические отрицательные соотношения температуры и роста березы произошли в мае. На южных склонах в Буганте это отрицательное соотношение возникло раньше по времени, в апреле. Это отрицательное соотношение температуры и роста в хронологии лиственницы в Алтансумбэр не было установлено. В обоих исследуемых районах среднегодовые показатели роста хвойных пород были выше, чем у березы. Наблюдаемое различие в отношении показателей роста и чувствительности к весенним температурам может быть связано с различной защитной способностью березы и хвойных пород от очень распространенных низкоинтенсивных поверхностных пожаров, которые имеют свой пиковый сезон весной и частично управляются климатическими факторами. Количество видимых поврежденных огнем берез с тонкой корой в Буганте было более, чем в восемь раз выше, чем сосны с толстой корой из того же древостоя. В древостоях, где береза смешана со светлыми хвойными породами, малоинтенсивный режим пожаров имеет более негативное и длительное влияние на рост берез, чем на рост хвойных пород с толстой корой. С другой стороны, разрушение древостоя интенсивными пожарами или сокращение площади вследствие повторяющейся интенсивной вырубki может благоприятствовать преобладанию березы из-за ее способности прорастания – поросль от пня. Характеристики структуры леса и реакции на воздействия изучались исключительно в исследовательском районе Алтансумбэр и могли быть связаны с процессами сукцессии, пожарами и нерегулируемыми рубками. Агрегированное размещение деревьев было подтверждено для всех лиственничных древостоев и большинства березовых древостоев в Алтансумбэр до выборочной рубки. Вследствие прорастания береза часто встречается агрегировано в очень узких, небольших группах. Лиственница, напротив, появилась в более свободных кластерах, где деревья распределены на более дальнем расстоянии. Вследствие того, что березы имеют меньшую продолжительность жизни и интенсивнее конкурируют друг с другом, у березовых древостоев имеется способность развиваться к случайному размещению деревьев раньше, чем у лиственничных древостоев. Конкуренция сыграла значительную роль в исследуемых древостоях светлой тайги. В исследовательском районе Алтансумбэр соотношение между конкуренцией и ростом оценивалось до, непосредственно после и через три года после прореживания. Прореживания

проводились с различной интенсивностью (5,4% - 52,4% площадь сечения). Основными критериями отбора деревьев для рубки были относительно низкое состояние здоровья и способность к росту, на что указывало повреждения ствола и развитие кроны, форма ствола, а также расстояние между отдельными деревьями. Этот отбор привел в значительной мере к низовому прореживанию. Как и ожидалось, прореживание способствовало регулярному размещению деревьев. Тем не менее, дальнейший рост новых стволов привело к тому, что распределение деревьев древостоя менялось обратно в направлении агрегированного. Прирост был в значительной степени вызван ослаблением конкуренции как результат прореживания, и ответ прироста был действительным в абсолютном и относительном выражении. Относительное увеличение прироста по сравнению с периодом до прореживания было немного выше для березы, чем для лиственницы, несмотря на сравнительно поздний средний возраст древостоев на момент прореживания в 2009 году, особенно для березы. Данные были получены из анализа годичных колец деревьев (средний возраст лиственница: 22-61 год, березы - 44-68 лет). Основываясь на региональных данных недавней национальной инвентаризации лесов (MPNFI) как норме, количество подроста во всех древостоях в Алтансумбэр относительно низко, тогда как число подроста в Бугант выше среднего.

В целом результаты показали, что более методическая стратегия управления лесами является возможной с научной точки зрения. Вместе с тем местное управление лесами должно служить многофункциональным целям регионального лесопользования. Потенциал лесов обеспечивать такие экосистемные услуги, как защита водного режима и почвы, постоянный растительный покров, биоразнообразие, внесение вклада в снижение негативных последствий изменения климата должен быть гарантирован. Это, принимая во внимание длительное изменение климата, усиление воздействий и развитие требований общества, особенно сложно. Основная цель лесоводства должна заключаться в повышении устойчивости и жизнестойкости лесных экосистем к различным воздействиям и одновременно делать возможным использование древостоев. Две модели использования представляются возможными: промышленное производство изделий из дерева (в основном из лиственницы и сосны) или производство энергии на базе древесины (в основном береза), заготовка дров. Плотные древостои светлой тайги, отведенные под производственные леса, могут быть подвергнуты прореживанию или выборочной рубке от одного до двух раз в первые 50-

60 лет. в соответствии с вышеназванными критериями. При выборочной рубке в форме небольших групп (Femel) в этих древостоях происходит способствование регенерации и переход в окончательное пользование. Подсадка подроста должна рассматриваться только в том случае, если желаемая регенерация недостаточна или если древостой должен быть изменен на другой древесный состав. Часть сукцессивных березовых древостоев рядом с поселениями могла бы управляться как низкоствольный лес для получения дров. Директивы лесоводства должны принимать во внимание различные специфические экологические и климатические условия, различный возраст древостоев, цели в области лесоводства и реалистические варианты управления. Управленческие меры должны быть усилены путем национального и регионального управления лесами. Рекомендуется также анализировать экономическую эффективность лесохозяйственных операций, таких, как различные системы заготовки древесины. Результаты и выводы проекта охватывают лишь относительно короткие временные рамки. Необходимо продолжить наблюдение долгосрочного влияния выборочной рубки, особенно с точки зрения стабильности древостоя, почвы и спорадической вечной мерзлоты.



**KAPITEL 1**

**EINFÜHRUNG**

---

## I.1 EINLEITUNG

### Die Mongolei

Die Mongolei ist der zweitgrößte Binnenstaat der Welt und liegt, zwischen der Russischen Föderation und der Volksrepublik China, in Nordasien. Das Land hat eine Fläche von 1564100 km<sup>2</sup> und bei einer Einwohnerzahl von 3057800 Menschen eine durchschnittliche Bevölkerungsdichte von etwa 2 Menschen pro km<sup>2</sup>. Die Mongolei ist von Gebirgen und Hochländern geprägt, welche mit dem Pik Khuiten maximal 4374 m. ü. NN erreichen (MnStat 2015). Nach Klima und Vegetation lässt sich das Land von Norden nach Süden einteilen: in den nördlichen Regionen dominieren Gebirgswälder, Waldsteppe und Steppe, die weiter südlich in einen ausgedehnten Steppengürtel übergehen und dem sich im Süden Halbwüsten und die Wüste Gobi anschließen. Die Flüsse des Landes entspringen vor allem in den bewaldeten Gebirgsregionen des Nordens. Die Mongolei ist im weltweiten Vergleich sehr reich an Bodenschätzen: Kupfer, Kohle, Gold, Zink, Uran, seltene Metalle und Erden, sowie Erdöl (AA 2017).

Traditionell konzentrierte sich das Leben der Mongolen als Nomaden auf die Viehwirtschaft. Dabei war das Zusammenleben der mongolischen Stämme von alten, überlieferten mongolischen Regeln, dem Leben im Klan, dem Schamanismus und seit dem 16. Jhd. auch vom Buddhismus geprägt. Diese Strukturen blieben teilweise auch unter den veränderten Bedingungen zu Zeiten des Sozialismus bestehen bzw. lebten nach der Wende in angepasster Form wieder auf (Hartwig 2006, Plach 2012). Industrialisierung und Verstädterung fanden vor allem ab der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts statt. Städtische Ansiedlungen wurden ausgebaut, wie z.B. Ulaanbaatar bzw. durch Unterstützung der Sowjetunion neu gegründet, wie beispielsweise die Stadt Darchan 1961 (Darchan-Uul 2017). Inzwischen leben etwa 60% der Bevölkerung in städtischen Gebieten, hauptsächlich in den Zentren Erdenet, Darchan und der Hauptstadt Ulaanbaatar (Otguntuya et al. 2009). Im Landesvergleich zeigt sich, dass ein starkes Wohlstandsgefälle, insbesondere zwischen der Westmongolei und der Hauptstadt herrscht, während sich in der Zentralmongolei die ausgeglichene Wohlstandsverteilung vorfinden lässt (Gradel 2011).

Die Zeit des Zusammenbruches der kommunistisch geprägten Volksrepublik Mongolei Anfang der 1990er Jahre, war vom ökonomischen Niedergang und Verlust von administrativer Staatsmacht geprägt. Der ländliche Raum war besonders hart betroffen (Hartwig 2006), was ein Grund für weitere Wanderbewegungen in Richtung Zentralmongolei

war. Das nach der Jahrtausendwende folgende starke relative Wirtschaftswachstum hängt mit dem Aufschwung im Bergbausektor und damit einhergehend mit den umfangreichen ausländischen Investitionen zusammen; es hat seit etwa 2013 aber stark nachgelassen (MNStat 2015, AA 2017). Innenpolitisch sind die gerechte Verteilung von Mehreinnahmen und ein angemessenes Gleichgewicht zwischen den Interessen des mongolischen Staates und denen der ausländischen Investoren vorrangig (AA 2017). Trotz eines gewinnbringenden Wirtschaftswachstums und der Landflucht verstärkte sich die ökologische Degradierung nach der Jahrtausendwende in den dichter besiedelten Bereichen des ländlichen Raumes: Übermäßige Beweidung durch Viehherden, mangelnde Sozial- und Umweltstandards beim Abbau von Rohstoffen, unregelmäßige Holznutzung und häufigere Waldbrände sind dabei augenscheinlich hervorgetreten (Hartwig 2006, Kondrashov et al. 2008, Gradel et al. 2010, Dulamsuren et al. 2014). Naturraum und Naturgüter sind durch diese Entwicklungen zwischen den unterschiedlich mächtigen Akteuren umkämpft (Hartwig 2006). *Landwirtschaft, Forst, Fischerei und Jagd* stellen mit 28,4 % nach wie vor den größten Beschäftigungssektor im Land dar (MnStat 2015). Damit ist der ländliche Raum auch im sozioökonomischen Kontext weiterhin von großer Bedeutung.

Die walddreichen Gebirge im Norden des Landes haben dabei als Rohstoffquelle für einen gestiegenen Industrieholzverbrauch, als Lebensraum und Rohstoffquelle für die lokale Bevölkerung, als Wasserreservoir des Landes und als Lebensraum einer besonderen Fauna und Flora eine enorme Bedeutung für eine stabile Entwicklung des Landes.

## Die forstpolitische Entwicklung der Mongolei

Nach der Gründung der sozialistischen Volksrepublik der Mongolei führten in den 1920-er Jahren gesetzliche und institutionelle Schritte zu einer ersten Institutionalisierung des Forstsektors. 1924 kam es zur Bildung einer ersten Forstabteilung im Wirtschaftsministerium. 1931 wurde das erste Forstgesetz verabschiedet (Tsogtbaatar 2008). 1926 wurden die ersten zwei Sägewerke nach sowjetrussischem Vorbild eingerichtet. Im Verlauf dieser Entwicklung wurde der Holzfällerort Bugant zu einem Zentrum der Holzindustrie. Als Zeitraum einer ersten landesweiten Forstinventur gelten die Jahre 1956-1957 (MET 2016). Hoheitliche Rechte über Forstwesen und Holzindustrie waren während der Zeit des Sozialismus in einem Ministerium zusammengefasst. Damals wurde die mongolische Holzindustrie von staatlichen Betrieben und joint-ventures mit RGW-Mitgliedern (Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe), insbesondere der UDSSR, zum Teil auch Polen und Rumänien dominiert. Land und Wald befanden sich im Staatsbesitz (Gradel und Petrow 2014). Der Höhepunkt der Holznutzung wurde in den achtziger Jahren mit insgesamt 60 Sägewerken erreicht, wobei das jährliche Gesamtvolumen an geschlagenem Holz Mitte der achtziger Jahre bei etwa 2,2 mio. m<sup>3</sup> lag (Tsogtbaatar 2008). Damals lag der Anteil am BIP etwa zwischen 4 und 14 % (Bastian 2000 zitiert nach Wyss 2007). Bis zum politischen Umbruch existierten 16 Holzkombinate mit bis zu 15000-20000 Beschäftigten, welche vor allem den nationalen Markt bedienten (Ammann 2002 zitiert nach Wyss 200).

Bereits 1987 wurden die Kompetenzen des Ministeriums für Forsten und Holzindustrie in ein Ministerium für Natur und Umwelt und ein Ministerium für Industriebelange geteilt. Mit den entstehenden Lieferungs- und Finanzierungsengpässen und Schwierigkeiten der RGW-Mitglieder kam es nach den politischen Umwälzungen 1990 zu einschneidenden Veränderungen im mongolischen Forstsektor, welche die Holzindustrie und insbesondere die Menschen in den bewaldeten Regionen durch geänderte Beschäftigungsverhältnisse hart traf. Regionale Forsteinheiten wurden zunächst aufgelöst bzw. in allgemeinere Umweltbehörden integriert (Gradel und Petrow 2014), Sägewerke entließen Arbeiter. Der offizielle jährliche Holzeinschlag sank deutlich (Tsogtbaatar 2008) und der nichtlizenzierte, illegale Einschlag stieg an. Forsthoheitliche Aufgaben wurden in das Umweltministerium integriert. 2007 schließlich wurde eine reformierte Auflage des Forstgesetzes herausgebracht und dann eine Forstagentur gegründet. Hierdurch sollte dem Forstsektor ein neuer Rahmen gegeben werden. Ziel war es die fortschreitende Walddegradierung und Anarchie im Holzgeschäft zu stoppen (Benneckendorf 2011). Auf regionaler und lokaler Ebene wurden Forsteinheiten

wiedergegründet. Nach den Parlamentswahlen 2012, als das Umweltministerium, welches zuvor von der Demokratischen Partei (MDP) geführt worden war, von der Partei „Bürgerwillen-Grüne“ übernommen wurde, wurde die Forstagentur aufgelöst und dafür eine entsprechende Abteilung in das Umweltministerium integriert (Gradel und Petrow 2014). Nach dem Erdrutschsieg der Mongolischen Volkspartei (MVP) bei den Parlamentswahlen 2016 wird das Ministerium für Umwelt und Tourismus aktuell durch die MVP geführt.

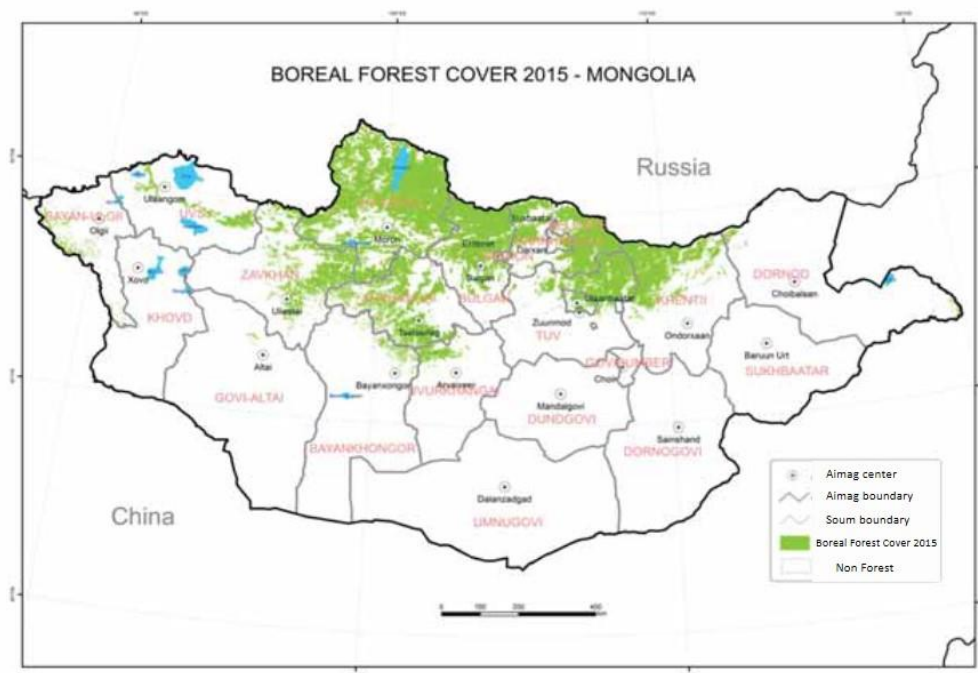
Bis heute befindet sich Waldland im Staatsbesitz, während die Nutzung im Rahmen verschiedener Modelle reformiert wurde. Die Einführung von Rechten und Pflichten im Rahmen eines partizipativen Waldmanagements durch sogenannte Waldnutzergruppen ist ein besonderer Reformansatz in der Mongolei. Seit dem neuen Forstgesetz 2007 können sogenannte Waldnutzergruppen („Nukhurlul“), zumeist Zusammenschlüsse lokaler Nomaden, Nutzungsrechte im Rahmen genehmigter Managementpläne erwerben. Hierbei geht es vor allem um Brennholz und Nichte-Holzprodukte. Für weitere Reformen und eine Capacity Development der WNGn sind hierzu international finanzierte Projekte zugeschnitten worden (siehe z.B. Evans 2008). Die Legalisierung der lokalen Nutzung ist mit Pflichten zum Schutz der Waldflächen, z.B. vor Feuer und externen illegalen Nutzern, verknüpft. Dieser Mechanismus soll also auf Grundlage von gemeinsamen Interessen von Staat und örtlicher Bevölkerung funktionieren. Die offizielle Industrieholznutzung wird weiterhin von Privatfirmen, im Rahmen der vom Staat erworbenen Konzessionen, durchgeführt (Gradel und Petrow 2014).

## Waldbedeckung in der Mongolei

Der Übergang von Taiga zur Steppe in der Mongolei weist, vor allem aufgrund der hohen Kontinentalität und des ausgeprägten Bergreliefs, einige Besonderheiten mit vergleichbaren Breitengraden Eurasiens auf. In Europa folgen auf die Nadelwälder von Norden nach Süden Laubwälder. Im klimatisch kontinental geprägten Teil Europas gehen die Laubwälder, teils auch mit Nadelbaumarten gemischt, in eine Waldsteppenzone und offene Steppe über. Diese Regionen befinden sich hauptsächlich in Westrussland und in der Ukraine. In den küstennahen Regionen des Fernen Osten Russlands, in Nordostchina und in Nordjapan schließt sich auf die boreale Zone - wie auch in Europa - eine Laubwaldzone an, welche einige Besonderheiten in Bezug auf die Klimamerkmale und einen sehr hohen Artenreichtum aufweist (Krillov 1960, Krestov 2003, Iwanow und Gradel 2015). In den hochkontinentalen Regionen des nördlichen Innerasiens fehlt hingegen eine echte Laubwaldzone, obgleich an Sonderstandorten angepasste Arten typischer Laubwaldgesellschaften auftreten können (Knapp 1989). Hier geht die von Nadelhölzern dominierte, boreale Gebirgstaiga über einen Gebirgswaldsteppengürtel in die offene Steppe über (Balandin et al. 2000). Diese Kontaktzone befindet sich vor allem in den südlichen Teilen Sibiriens und den nördlichen Gebieten Kasachstans, der Mongolei und teilweise auch Teilen des nördlichen Chinas. Im südlichen Ostsibirien und der Nordmongolei sind diese Wälder im Übergangsbereich zwischen Taiga- und Steppenklimate überwiegend auf die nordexponierten Hänge beschränkt. Eine, stark mit der Orografie (z.B. Luv und Leelagen), variierende Vegetation ist für diese Gebirgswaldsteppenzone charakteristisch (Dulamsuren 2004).

Einen allgemeinen Überblick über die Waldbestände der Mongolei erhält man aus den Daten der staatlichen mongolischen Forsteinrichtung, den Forstinventurdaten, die alle 10 Jahre (Tsogbaatar 2004) erneuert werden. Je nach Definition variieren die Angaben zur Bedeckung geschlossener Wälder (zumeist ohne Saxaulbuschland) und schwanken in der Literatur zumeist zwischen 7 und über 8 % (siehe z.B. Tsogbaatar 2004). Die aktuellste Quelle hierzu ist die nationale Forstinventur (MPNFI: multipurpose national forest inventory), welche zwischen 2014 und 2016 in der Nordmongolei durchgeführt wurde (MET 2016). Das in den südlichen Halbwüsten verbreitete Buschland, bestehend aus Saxaul (*Haloxylon ammodendron* Bunge), ist hierbei nicht als Wald mitberücksichtigt. Laut der MPNFI umfasst die boreale Waldfläche der Mongolei bei 90959,26 km<sup>2</sup>, was umgerechnet gut 5,82 % der Landesfläche entspricht. Der Flächenanteil von den als Lärchenwäldern klassifizierten

Beständen (>75% G Lärche) liegt bei etwa 62,4 % (MET 2016). Die Sibirische Lärche (*Larix sibirica* Ledeb.) ist die häufigste Baumart der Mongolei. Die zweithäufigste Baumart ist die Asiatische Weiß-Birke (*Betula platyphylla* Sukatchev). Diese Birke ist auch unter den Namen Japanische Weiß-Birke, Sibirische Weiß-Birke, Mandschurische Birke oder einfach Weiß-birke bekannt. Sie kommt häufig als Mischbaumart in den Lärchenwäldern vor und dominiert häufig in durch Waldbrände und Übernutzung gestörten Flächen, besonders im Westkhentii. Fast reine Birkenbestände (>75% G Birke) machen aktuell 5,9 % der mongolischen Waldfläche, von Espe oder anderen Laubbäumen (>75% G) dominierte Flächen insgesamt 0,7%, von Waldkiefern dominierte Wälder (>75% G Waldkiefer) 3,1 % aus (MET 2016). Nadelmischwälder und Mischwälder nehmen 9,9 bzw. 9,7 % ein. Gut 2,2% sind von einer Art der dunklen Taiga dominiert (>75% Grundflächenanteil Zirbelkiefer, Tanne oder Fichte). 6% der Waldfläche wurden als Regenerationsflächen mit Verjüngungspflanzen unterhalb der Kluppschwelle eingeordnet und damit keinem eigentlichen Typus zugeordnet. (MET 2016). Abbildung 1.1.1 gibt einen Überblick über die boreale Waldfläche der Mongolei (Taigazone und Gebirgswaldsteppenzone).



**Abbildung 1.1.1:** Karte der Waldbedeckung durch boreale Wälder (Taigazone und Gebirgswaldsteppenzone) der Mongolei (MET 2016).

**Figure 1.1.1:** Boreal forest cover map (taiga zone and mountain forest steppe zone) of Mongolia (MET 2016).

**Рисунок 1.1.1** - Карта boreального лесного покрова (таежная зона и зона горной лесостепи) в Монголии (MET 2016).

## Taigazone und Gebirgswaldsteppenzone in der Mongolei

In der Mongolei spielen die borealen Wälder, das heißt die südliche Taigazone (Dulamsuren 2004) und die angrenzende Gebirgswaldsteppe (Dulamsuren 2004), eine wichtige Rolle für die örtliche Bevölkerung, den Wasserhaushalt der Region und die Forst- und Landwirtschaft. Aufgrund unterschiedlicher Artenzusammensetzung, welche unter anderem mit mikroklimatischen und edaphischen Faktoren sowie dem Störungsregime zusammenhängen, und durch verschiedene Belaubung bzw. Benadelung unterschiedliche Lichtdurchlässigkeit aufweisen, wird allgemein in die Waldformationen helle und dunkle Taiga unterteilt (Balandin et al. 2000, Dulamsuren et al. 2005, Shorohova et al. 2009, Mühlenberg et al. 2012). Charakterbaumarten der dunklen Taiga sind insbesondere Sibirische Tanne (*Abies sibirica* Ledeb.), Sibirische Fichte (*Picea obovata* Ledeb.) und Sibirische Zirbelkiefer (*Pinus sibirica* Du Tour.). Charakterbaumarten der hellen Taiga sind vor allem Lärchenarten (*Larix ssp.*) und die Waldkiefer (*Pinus sylvestris* L.), sowie Birkenarten (*Betula ssp.*) und die Espe (*Populus tremula* L.). Die Grundeinteilung in die Waldformationen helle und dunkle Taiga wird bei einigen Autoren regional weiter ausdifferenziert bzw. anders benannt. So werden die Lärchenwälder des Altai bei Sommer (2000) als sogenannte Pseudotaiga, die helle Taiga des Khentiigebirges bei Dulamsuren (2004) als helle Subtaiga bezeichnet. Entsprechend der Baumartenzusammensetzung und auch Bodenvegetation können zudem verschiedene Waldtypen unterschieden werden (Savin et al. 1983, Dulamsuren 2004). Im Hinblick auf Forstwirtschaft und Naturschutz hat sich die Grundeinteilung der Wälder der Taigazone und der Gebirgswaldsteppenzone (Dulamsuren 2004) in helle und dunkle Taiga unter Nennung der Hauptbaumarten als praktikabel erwiesen (MET 2016). Die in den größeren nördlichen Gebirgen der Mongolei gelegenen, überwiegend geschlossenen Waldgebiete (insbesondere Teile des Khentiigebirges und Gebirge am Khovsgulsee) werden bereits zur Taigazone gezählt (Dulamsuren 2004). Diese Region weist für das Baumwachstum gute Bedingungen auf, und der Wald wächst und regeneriert sich an vielen Standorten über Sukzessionsstadien. Die Besiedlungsdichte ist in diesen Regionen niedrig und die Landschaft entspricht dem direkt angrenzenden Ostsibirien. In dieser Zone dominiert die helle Taiga, wobei an ungestörten, geeigneten Standorten, insbesondere in Lagen ab 1200 (1000) m. und darüber dann zunehmend (Dulamsuren 2004, Krasnoshekov 2013) auch dunkle Taigaarten in größeren Beständen auftreten können. Bodenstrukturen können den Waldtypen und Höhenlagen zugeordnet werden (Krasnoshekov 2013). Südlich dieser Region oder aber in Gebieten, die sich auf gleichem Breitengrad und ggf. sogar auf gleicher Höhenlage wie die Taigazone



befinden, aber für den Wald klimatisch schlechtere Bedingungen aufweisen, folgt die Gebirgswaldsteppenzone. In der Gebirgswaldsteppe wachsen ab etwa 800 m. über NN vor allem *Larix sibirica*, *Betula platyphylla* und regional die Waldkiefer (*Pinus sylvestris* L.) (Dulamsuren 2004). In dieser Übergangszone wächst der Wald fast nur noch an den Nordhängen. Die Steppe dominiert insbesondere an den Südhängen. Die Waldbestände dieser Zone werden von heller Taiga dominiert, die typischen Arten der dunklen Taiga sind deutlich weniger verbreitet als in der Taigazone oder fehlen ganz (z.B. Sibirische Tanne). Die Zone der Gebirgswaldsteppe, insbesondere der Einzugsbereich des Flusses Selenge, ist überdurchschnittlich stark besiedelt. Hier befinden sich auch die größten Städte des Landes.

### *Die Khangai- und Khentiiregion*

Im letzten Jahrhundert sind Unterschiede in Bezug auf die Waldbedeckung und örtlichen Klimamerkmale einzelner Regionen beschrieben worden. Diese Einteilung wird bis heute als Grundlage für eine weithin benutzte Einteilung der mongolischen Waldregionen genutzt. Die für diese Arbeit relevanten Regionen im westlichen und östlichen Teil des Selenge Aimag weisen deutliche Unterschiede auf. Große Gebiete des westlichen Teils des Selenge Aimag zählen zur nordöstlichen Khangairegion (Korotkov 1978, Krasnoshekov 2013). Die Khangairegion ist vor allem von Gebirgswaldsteppe geprägt und weist ein hochkontinentales und trockeneres Klima als die dichter bewaldeten Regionen auf (Korotkov 1978). Das mongolische Wort "Khangai" bezeichnet genau den Landschaftstyp der Gebirgswaldsteppe. Die nordöstlichen und weiter östlichen Teile des Selenge Aimag sind hingegen im Vergleich dazu von etwas feucht-temperierterem, aber ebenfalls noch sehr kontinentalem Klima geprägt, was sich auf russischer Seite so nach Norden fortsetzt (Korotkov 1978). Dieses hat deutlich dichtere Bewaldung zur Folge. Die Khentiiregion ist deshalb vor allem Teil der Taigazone. In der aktuellen Forstinventur der Mongolei ist die Khentiiregion als Inventurregion ausgewiesen, während Teile der nordöstlichen Khangairegion wohl aus praktischen Gründen mit Gebieten am Khovsgulsee zu einer Inventurregion Khovsgul zusammengelegt wurde (MET 2016), obgleich die Bewaldung und Waldvegetation auf großer Fläche recht unterschiedlich innerhalb dieser großen Inventurregion ist. Erst im letzten Jahrhundert entstanden wissenschaftliche Studien, die sich ausführlicher auch mit der Struktur der hellen Taigabestände in der Khangai- und Khentiiregion befassen. Diese führten zunächst im Wesentlichen sowjetische und mongolische Wissenschaftler durch, insbesondere in Verbindung mit den sowjetisch-mongolischen biologischen Expeditionen (z.B. Junatov 1950,

Savin et al. 1983, Savin et al. 1988). Die enge Kooperation mit deutschen Biologen und die bis heute dauernde Kooperation mongolischer Wissenschaftler mit der Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg begann in den 1960er Jahren (vgl. Hilbig und Mirkin 1983) mit Fokus auf verschiedene Pflanzengesellschaften, wobei ebenfalls Arbeiten zum Waldsteppenbereich entstanden (z.B. Hilbig und Knapp 1983). Nach der Wende folgten weitere Arbeiten deutscher und mongolischer Wissenschaftler, die sich zu einem großen Teil mit den Lärchenwäldern beschäftigen (z.B. Sommer 2000, Dulamsuren (2004) und Dulamsuren et al. 2005). Die beiden letztgenannten Quellen beschreiben ausführlich die Vegetation im knapp 400 km<sup>2</sup> großen Hauptuntersuchungsgebiet der deutsch-mongolischen Forschungsstation Khonin Nuga. Die Forschungsstation wurde 1997 gemeinsam von der Universität Göttingen und der Nationalen Universität der Mongolei im westlichen Khentiigebirge eingerichtet und unter anderem auch die umgebenden Waldbestände erforscht. Kirchhoff (2003), Dulamsuren 2004, Mühlenberg et al. (2004) und Mühlenberg et al. (2012) unterteilen die Wälder in verschiedene Waldtypen, welche sich jeweils der hellen und dunklen Taiga zuordnen lassen und beschreiben mit Hilfe von forstlichen Dichtemaßen exemplarisch wichtige Waldbestände im Gebiet um Khonin Nuga. Die Unterschiede zwischen dunkler und heller Taiga wurden exemplarisch anhand von Referenzflächen im Forschungsgebiet beschrieben (Gradel 2007, Gradel und Mühlenberg 2011). Im Rahmen der vorgelegten Arbeit sind die folgenden Waldbiotoptypen aus forstwirtschaftlicher Sicht von besonderer Bedeutung (Mühlenberg et al. 2004, Gradel und Mühlenberg 2011, Mühlenberg et al. 2012): *Larix sibirica*-*Betula platyphylla*-Wälder (helle Taiga) und mit Birken angereicherte *Pinus sylvestris*-Wälder (helle Taiga).

## **Einfluss von Klimafaktoren und Klimawandel auf die Wälder der südlichen Taiga und Gebirgswaldsteppe**

Klimafaktoren spielen eine wichtige Rolle für die Waldbedeckung, die Waldzusammensetzung und das Baumwachstum. Dieser Abschnitt gibt einen Überblick im Kontext der Nordmongolei.

Die mongolischen Wald- und Steppengebiete sind natürlicherweise von einem ultrakontinentalen Klima mit langen kalten und trockenen Wintern und kurzen heißen Sommern, in denen das jährliche Niederschlagsmaximum fällt, geprägt. Die Ausprägung bzw. Verteilung der Klimafaktoren Temperatur und Niederschlag variieren dabei im Jahresverlauf sehr stark. Die Aufzeichnungen der meteorologischen Messstation Eero (Selenge Aimag) ergeben, z.B. für den Zeitraum von 1961 bis 2009, eine mittlere jährliche Jahrestemperatur von  $-1.83\text{ °C}$  mit mittleren Monatstemperaturen von  $-27.1\pm 2.7\text{ °C}$  für Januar und  $18.8\pm 1.4\text{ °C}$  für Juli (eigene Berechnung auf Grundlage der Messdaten). Für die Ausprägung der Grenze zwischen Wald und Steppe gilt die Verfügbarkeit von Wasser während der Vegetationszeit als wichtigster begrenzender Faktor (Dulamsuren 2004, Dulamsuren et al. 2011). Neben dem ausgeprägt kontinentalen Großklima spielen standörtliche Aspekte (insbesondere die Exposition) und die Bedeckung durch Vegetation eine wichtige Rolle für die Wasserverfügbarkeit und die Intensität von z.B. extremen Temperaturen und Sonnenstrahlung auf die verschiedenen Organismen (Savin et al. 1988). So erhalten im jährlichen Durchschnitt nördlich ausgerichtete Hänge im Khangai etwa 15% weniger solare Wärmestrahlung als südlich ausgerichtete Hänge (Bannikova 1985 zitiert nach Wecking 2017). Das Auftreten von extremen Wetterereignissen und Wetterperioden (z.B. sehr heißen Sommern und Dürren) beeinflusst dabei das Baumwachstum (Khishigjargal et al. 2014). Seit dem Ende des letzten Jahrhunderts richtet sich die Aufmerksamkeit von Wissenschaft und Allgemeinheit auch auf die Klimaerwärmung und deren Auswirkungen (Dorjsuren 2014, Chuluunbaatar 1990 zitiert nach Dorjsuren 2014).

Klimawandel ist weltweit eines der wichtigsten umweltpolitischen Herausforderungen für die Weltgemeinschaft geworden (UNFCCC (2015): COP 21 in Paris). Zwischen 1880 und 2012 betrug die Zunahme der global gemittelten, bodennahen Lufttemperaturen  $0,85\text{ °C}$  (zwischen  $0,65$  und  $1,06$ )  $\text{ °C}$  (IPCC 2013). Die Intensität der Klimaänderungen ist dabei unterschiedlich in den einzelnen Regionen. Klimaaufzeichnungen der letzten Jahrzehnte deuten darauf hin, dass die Klimaerwärmung im Inneren des asiatischen Kontinents schneller als in anderen

Regionen der Welt stattfindet. So betrug die Erwärmung in der Mongolei laut Oyuntuya et al. (2015) in den letzten 70 Jahren 2,14 °C. Trockenjahre sind in den letzten Jahrzehnten gehäuft aufgetreten (Dorjsuren 2014), was zu einer durchschnittlich längeren Feuersaison im Frühjahr geführt hat (Chuluunbaatar 1990 zitiert nach Dorjsuren 2014). Die Veränderung von Klimafaktoren im Jahresverlauf und damit einhergehende Änderungen der Evapotranspiration und der Wasserbilanz haben bereits sichtbare und messbare Auswirkungen auf Baumwachstum und Wälder. Während für die Waldgrenzen im hohen Norden Asiens und den Hochlagen der Gebirge aufgrund der Klimaerwärmung mit einer Verbesserung der Wachstumsbedingungen und Waldausdehnung zu rechnen ist, haben Studien von den südlichen, steppennahen Bereichen aber auch den Waldregionen im Khuvsgulgebiet gezeigt, dass Temperaturerhöhungen zumeist negative Einflüsse auf das Baumwachstum von Lärchen (Dulamsuren et al. 2011, James 2011, Khishighargal et al. 2014), Fichten (James 2011), Waldkiefern und Zirbelkiefern (De Grandpré et al. 2011) haben, und aufgrund von häufigen Trockenjahren, z.B. auch die Qualität von Lärchensamen seit 1980 abgenommen hat (Dorjsuren 2014). Die Auswertungen von Lärchenchronologien aus dem westlichen Khentiigebirge durch Oyunsanaa (2011) deuten ebenfalls auf einen negativen Trend hin. Für einige Standorte wurden außerdem Wachstumsrückgänge bei verschiedenen alten Individuen von *Abies sibirica* und *Pinus sibirica* dargelegt (Oyunsanaa 2011). Viele Studien gehen davon aus, dass durch den Klimawandel die Bedingungen in der Mongolei insgesamt noch arider werden könnten (Batima et al. 2005, Dulamsuren und Hauck 2008, IWRM 2009). Es wird erwartet, dass sich die Waldgrenze im Waldsteppenbereich aufgrund des Klimawandels tendenziell nach Norden verschieben wird (Dorjsuren 2014). Für die Erhaltung der mongolischen Wälder ist deshalb die Entwicklung eines klimaresilienten Waldbaus notwendig. Dafür sind die ökologischen Anforderungen der Baumarten in Bezug auf Klima und Exposition zu erforschen. Die südlichsten Vorposten der Wälder werden aktuell vor allem von Birken (z.B. im Khustai Nationalpark) gebildet. Über Birken lagen aus der Mongolei bis vor kurzem aber noch keine Klima-Wachstumsanalysen vor. Dieses ist erst im Rahmen dieser Forschungsarbeit gelungen (siehe Kapitel III; Gradel et al. 2017a).

## Störungsdynamik in den Wäldern der südlichen Taiga und Gebirgswaldsteppe

Die Artenzusammensetzung und die Produktivität der Wälder werden von einer Vielzahl von Faktoren und Einflüssen bestimmt, wie z.B. Bodenbedingungen, Niederschlag, Exposition oder Höhenlage. Als großflächig wirkender Einflussfaktor gilt das jeweils vorherrschende Störungsregime (Johnson 1992, Babintseva and Titova 1996, Pleshikov and Ryzhkova 1996, Ivanova und Ivanov 2005). Wagner und Fischer (2008) unterscheiden je nach Betrachtungsweise bei der Definition von Störungen anhand dessen, was sie zerstören, anhand dessen, was sie neu entstehen lassen oder anhand der Kräfte, durch die sie ausgelöst werden. Im Kontext des RForStand-Projekts werden Störungen anhand der Kräfte, die sie auslösen, benannt. In der Betrachtung und Analyse sind aber vor allem die Effekte der Störungen im Hinblick auf ihre Zerstörungskraft und die Sukzessionsreaktion von Interesse. In Anhalt an Wagner und Fischer (2008) und im Kontext des RForStand-Projektes werden Störungen wie folgt in einem Satz definiert: *Eine Störung ist ein Ereignis, das durch interne oder externe Kräfte hervorgerufen wird und Organismen oder wenigstens Teile von Organismen beseitigt bzw. tötet und dadurch eine Veränderung des Ressourcenangebotes für die verbliebenen oder sukzessiv folgenden Individuen ermöglicht.* Störungen unterbrechen die Entwicklung eines Waldes. Die Sukzession wird hierdurch in eine neue Richtung gelenkt oder wird in eine frühere Phase zurückgeworfen (Otto 1994 zitiert nach Altenkirch et al. 2002). Ein System wird als stabil (*stabile*) bezeichnet, wenn es keine oder nur marginale Schwankungen erkennen lässt. Störeinflüsse können aber auch so stark sein, dass sie den Zustand eines Systems zeitweilig oder auch dauerhaft verändern können. Wenn ein System in der Lage ist wieder in den Ausgangszustand zurückzukehren, wird es als elastisch bezeichnet (*elastic*) (Altenkirch et al. 2002). Langzeitig elastische Systeme, die sich ggf. über Sukzessionsstadien mit Baumartenwandel wieder in den Ausgangszustand entwickeln, werden als resilient (*resilient*) bezeichnet (Ulrich 1987). Stabilität bezieht sich somit auf die Widerstandsfähigkeit (*resistance*) und die Resilienz eines Ökosystems oder - im forstwirtschaftlichen Bezug - auf einzelne Bestände (Kräuchi et al. 2000, Dorren et al. 2004). Störungen können natürlichen oder anthropogenen Ursprungs sein. Störungen, wie z.B. Stürme, Insektenbefall (Winter 2016) oder auch Feuer (Goldammer and Furyaev 1996), sind Bestandteil von natürlichen Waldökosystemen.

*Störungsregime*

Störungen (*disturbances*) und damit zusammenhängende Störungsregime (*disturbance regimes*) lassen sich anhand von vier Kriterien generell beschreiben (Thomasius 1988, Otto 1994, Puettmann und Ammer 2007): Ausdehnung (*scale or magnitude*), Intensität oder Stärke (*intensity or severity*), Häufigkeit (*frequency*) und (jahres)zeitliches Auftreten (*seasonality*). Die Ausdehnung einer Störung kann kleinräumig (z.B. Zusammenbruch einer kleinen Baumgruppe) oder aber großräumig sein, wenn ganze Gebiete betroffen sind, z.B. bei großflächigen Waldbränden, extremen Dürren oder Insektenkalamitäten. Hierdurch können ganz andere Bedingungen entstehen, die das Auftreten von Pionierbaumarten fördern. Mit der Intensität (*severity*) einer Störung ist zumeist der Grad der Stammzahlreduktion in der Oberschicht eines Bestandes gemeint. Der Einfluss variiert allerdings immer auch mit der Bestandesstruktur (Puettmann und Ammer 2007). Auch hier können je nach Intensität bestimmte Arten unterdrückt bzw. gefördert werden. Die Häufigkeit (*frequency*) von Störungen variiert je nach Störungsart und Störungsregime. So gibt es regelmäßig wiederkehrende Störungen oder aber eher selten auftretende Störereignisse. Das zeitliche Auftreten (*seasonality*) bezieht sich auf die Wahrscheinlichkeit, dass eine Störung (z.B. wiederkehrende Brände) während einer bestimmten Jahreszeit gehäuft auftritt (Sagwal 1991). Das zeitliche Auftreten einer Störung kann wichtige Implikationen für die Ökosystemreaktion haben, z.B. ob Samen für eine Folgegeneration bereits da sind oder noch nicht (Puettmann und Ammer 2007). Von den Störungen zu unterscheiden sind sogenannte Hemmungen (*handicaps*). Hemmungen können Sukzessionsprozesse zeitweilig behindern, allerdings ohne den eigentlichen Waldzustand zu ändern. Beispiele hierfür sind Konkurrenzeffekte auf die Verjüngungspflanzen durch dichte Grasdecken oder Farne (Altenkirch et al., 2002).

Die Mongolei zählt im weltweiten Vergleich zu den Regionen mit erhöhten Waldverlusten (Hansen et al. 2013). So wurden für die jährliche Abnahme der mongolischen Waldfläche im ersten Jahrzehnt des neuen Millenniums, je nach Quelle und Methodik, Werte zwischen 0,21 und 0,7 % angegeben (FAO 2011, Dorjsuren 2014). In einer durch die GTZ finanzierten Studie wurde der Anteil der degradierten Waldfläche auf 25 % geschätzt (Kondrashov et al. 2008). Dieses wird auf den mannigfaltig gestiegenen Störungseinfluss durch häufigere Waldbrände, sich verändernde Klimabedingungen und gestiegene, teils unregulierte Nutzung, die mit weitestgehend mangelhafter waldbaulicher Planung einhergeht, zurückgeführt.

In der südlichen Taiga und Gebirgswaldsteppenzone sind vor allem folgende Einflussfaktoren vorherrschend: Feuer in Form von verschiedenen starken Waldbränden (Goldammer und Furyaev 1996, Kondrashov et al. 2008, Goldammer et al. 2013, Moltshanov et al. 2014), Insektenkalamitäten (Dulamsuren et al. 2011, Khishigjargal et al. 2014) und Holzeinschlag, der teilweise unreguliert stattfindet (Ykhanbai 2010, Dulamsuren et al. 2014), sowie sich ändernde Klimafaktoren und klimatische Extremereignisse (Dulamsuren et al. 2011, Dulamsuren et al. 2014, Natsagdorj 2014). Zudem stellt die Beweidung durch die Viehherden einen wichtigen Einflussfaktor dar (MET 2016). In vielen Beständen der hellen Taiga kommen dichte Grasbestände vor (Gradel et al. 2010), die ein Hemmnis für die Verjüngung darstellen können.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollen insbesondere die Einflüsse von selektiver Holznutzung in den feuergestörten *Larix sibirica*-*Betula platyphylla*-Wäldern näher beleuchtet werden. Hierzu werden die relevanten Störfaktoren (Waldbrand, und Holznutzung) im Kontext der Nordmongolei zunächst kurz im Einzelnen vorgestellt.

### *Waldbrände (forest fires)*

Zunehmende Waldbrände sind der am schwersten zu kontrollierende, direkte Störungseinfluss und vor allem in den zugänglicheren und für die Forstwirtschaft relevanteren Regionen (z.B. Selenge Aimag) der Nordmongolei verbreitet. Zwischen 2011 und 2013 waren, z.B. jährlich durchschnittlich etwa zwischen 337000 ha und 1107000 ha, von Waldbränden betroffen (UIF 2014). Feuer ist die wichtigste Störkraft in borealen Ökosystemen (Goldammer und Furyaev 1996). Die Ausdehnung von Waldbränden lässt sie tendenziell zumeist als großflächige Störung charakterisieren, während die Intensität sehr unterschiedlich sein kann. Bei Waldbränden kann grundsätzlich zwischen Bodenfeuern und Kronenfeuern unterschieden werden. Viele Waldbestände sind regelmäßig von Bodenfeuern betroffen. Eine hohe Waldbrandintensität mit Kronenfeuern kann dazu führen, dass ein Großteil der Bäume eines Bestandes abstirbt. Hingegen fördern Feuer niedriger Intensität feuertolerante Baumarten (Goldammer und Furyaev 1996). Umgekehrt erlaubt der verbleibende Baumbestand eine Beurteilung der Feueraktivität (Melekhov 1996). Die Häufigkeit von Waldbränden ist in den borealen Waldregionen hoch (Furyaev 1996). Für Westsibirien z.B. werden je nach örtlichen Bedingungen Abstände von 10 bis 33 Jahren angegeben (Furyaev 1996). Die Waldbrandhäufigkeit ist ein bestimmender Parameter für die Vegetationszusammensetzung,

auch weil die Sukzession zu bestimmten Waldtypen Pionierwaldphasen durchläuft. Ein Waldbrandregime mit kurzen Feuerintervallen kann das dauerhafte Auftreten von Pionierwaldstadien fördern (Makoto et al. 2007). In der Mongolei können verschiedene Feuerregime unterschiedlich auf die Artenzusammensetzung wirken. Typ und Intensität des Waldbrandes hängen von einer Vielzahl von Faktoren ab, insbesondere von Feuchtigkeit und Windgeschwindigkeit, der Waldstruktur und von Zeit und Typ des letzten Feuerereignisses (Furyaev, 1996). Die häufigste natürliche Waldbrandursache ist Blitzschlag (Goldammer und Furyaev 1996, Altenkirch et al. 2002, Ivanova und Ivanov 2005). Die meisten Waldbrände sind heute durch den Menschen verursacht (Goldammer und Furyaev 1996), insbesondere durch Unachtsamkeit (Altenkirch et al. 2002). Dieses trifft auch auf die Mongolei zu (Tsogtbaatar 2004, Schmidt-Corsitto 2014). Deshalb treten in der Mongolei Waldbrände in den erschlosseneren Waldgebieten häufiger auf. In der Mongolei werden Sukzessionsprozesse an vielen Standorten also wiederholt von Störungen beeinflusst bzw. unterbrochen. Im Frühjahr ist die Waldbrandwahrscheinlichkeit in der Mongolei am höchsten. Feuergestörte Wälder sind in der Mongolei weit verbreitet, vor allem im Selenge Aimag (Abbildung 1.1.2).



**Abbildung 1.1.2:** Feuerdynamik in der hellen Taiga. Die geschwärzten Stämme zeugen davon, dass dieser Birkenwald am oberen Erofluss (Selenge Aimag) in den letzten Jahren von einem Bodenfeuer betroffen war. Foto: A. Gradel

**Figure 1.1.2:** Fire dynamics in the light taiga. The blackened stems testify that this birch forest on the upper Ero River (Selenge Aimag) was affected by a surface fire in the last years. Photo: A. Gradel

**Рисунок 1.1.2 -** Динамика пожаров в светлой тайге. Почерненные стволы свидетельствуют о том, что этот березовый лес в верхней части реки Эро (Сэлэнгэ аймаг) подвергся воздействию низового пожара в последние годы. Фото: А. Gradel



*Selektiver Holzeinschlag*

Störungen verändern die Waldstruktur. Der Einfluss von Waldbewirtschaftung und insbesondere Holznutzung lässt sich oft noch Jahrzehnte und manchmal noch Jahrhunderte nach dem Eingriff in der Struktur von Wäldern ablesen. Waldstruktur gilt als eine wichtige Einflussgröße auf die Biodiversität, die ökologische Stabilität, die Konkurrenz und hydrologische Prozesse (Wohlrab et al. 1996, Larsson et al. 2001, Zirlewagen und Wilpert 2001, Gadow 2005a, Gadow et al. 2012). Dem Mehrpfadprinzip (Gadow 2005b) entsprechend bedeutet jeder Eingriff eine neue Weichenstellung in der Entwicklung eines Bestandes. Je nach Ausdehnung können die Störungen von Holznutzung eher kleinräumigen Charakter haben (z.B. selektive Nutzung mit Rückepferden) oder auch großflächig (Kahlschlag) erfolgen. Eine Durchforstung ist somit als lenkender Eingriff zu verstehen. Die üblichen Primärziele sind Holzernte und die Konkurrenz zwischen einzelnen Bäumen so zu verringern, dass Zuwachs und Bestandesqualität verbessert werden. Entsprechend dem Forstgesetz werden die mongolischen Wälder in zwei unterschiedliche Kategorien unterteilt. Die Schutzwälder (z.B. Schutzgebiete, streng geschützte Gebiete, Nationalparks, Kulturdenkmäler, wo begrenzte Nutzung für die lokale Nutzung von Brennholz und NHWPen gestattet ist und weitere Waldgebiete z.B. entlang von Flüssen) machen etwa 31 % der Waldfläche aus. In den Nutzwäldern steht die Bewirtschaftung im Vordergrund. Diese Nutzwälder werden von privaten Holzfirmen und WNGen bewirtschaftet, wobei der eigentliche Holzeinschlag von den Privatunternehmen durchgeführt wird (MET 2016). Siehe Tabelle 1.1.1.

**Tabelle 1.1.1:** Unterteilung borealer Wälder in Schutz- und Nutzwälder (MET 2016).

**Table 1.1.1:** Division of boreal forests in protected and production forests (MET 2016).

**Таблица 1.1.1 -** Распределение boreальных лесов в защитных лесах и деловых лесах (MET 2016).

<b>Designation of boreal forest areas</b>			
	<b>Designation</b>	<b>Forest area (ha)</b>	<b>percentage (%)</b>
Protected	State Protected Area (SPA)	2 799 567	31
	915 forest user groups	1 528 343	17
Production	76 forest concessions	369 263	4
	"Undesignated"	not yet officially assigned	4 135 375
Total		9 095 925	100

Der Nutzungsdruck auf die mongolischen Wälder ist gestiegen (Tsogtbaatar 2004) und findet zu einem beträchtlichen Teil unkontrolliert statt. Ausdehnung, Intensität und Häufigkeit des Holzeinschlages sind in der Umgebung der besiedelten und erschlossenen Regionen deutlich höher. Diese Wälder bestehen zumeist ausschließlich aus Baumarten der hellen Taiga und

sind zugleich die hauptsächlichen Regionen, wo die Holznutzung für Brenn- und auch Bauholz stattfindet. Die Nutzung fand bisher besonders in den dichter besiedelten Regionen nördlich von Ulaanbaatar, vor allem im Selenge Aimag statt (Gradel und Petrow 2014). Lokale Übernutzung ist einer der Gründe, warum hier besonders viele Waldbestände von birkenreichen Sukzessionswäldern mit relativ geringen Vorräten wachsen, wie beispielsweise um den Holzfällerort Tunkhel. Die in höheren und abgelegenen Lagen wachsende dunkle Taiga ist schwieriger zu erreichen, aber auch störungsempfindlicher (Gradel et al. 2010). Holznutzung findet also vor allem in den zugänglicheren Waldgebieten statt, die mit den Baumarten der hellen Taiga bestockt sind. Verschiedene Formen der Holznutzung und Bestandespflege sind auch im Kontext der aktuellen Bemühungen zur Festigung der Waldnutzerguppen, sowie für die Ausbildung praktischer Arbeitskräfte, von besonderer Bedeutung. Dieses fällt somit in die Zielvorgaben aktueller Entwicklungshilfeprojekte. Bisher ist Waldbau aber in Initiativen zur partizipativen Waldbewirtschaftung (Community forestry) immer stiefmütterlich behandelt worden (Gilmour 2016). Verschiedene alternative Modelle zur Holznutzung und auch waldbauliche Möglichkeiten werden in der Mongolei seit einigen Jahren intensiv diskutiert (z.B. Schmidt-Corsitto 2014, FAO 2014). Die Angaben zum Holzeinschlag schwanken stark und können aufgrund unlizenzierter Fällungen nur schwer geschätzt werden. Die FAO ging seit dem neuen Millennium von einer geschätzten jährlichen Produktion an Brennholz-, industriellem Rund- und Schnittholz von etwa 974000m<sup>3</sup> aus (FAO 2011). Die Auswertung weiterer Quellen lassen auf einen jährlich schwankenden Rahmen von 1 bis 4 Millionen m<sup>3</sup> inklusive eines nichtlizenzierten Einschlags, der zwischen 345000 und 2 Millionen m<sup>3</sup> liegt, schließen (Gradel und Petrow 2014). Siehe Abbildung 1.1.3 und 1.1.4.

Erste Versuchsflächen zur Beurteilung von verschiedenen Arten des Holzeinschlages wurden im Rahmen der sowjetisch-mongolischen biologischen Expeditionen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts z.B. in nordexponierten Lärchenwäldern in der Nähe von Mungen-Mort angelegt, wobei die Auswirkungen des selektiven Holzeinschlages ökologisch positiver als die von Kahlschlägen bewertet wurden (Savin et al. 1988). Sonst gibt es bisher kaum Untersuchungen zum Einfluss von Durchforstungen und selektiver Nutzung auf Waldstruktur, Zuwachs und Verjüngung, die zeigen könnten, ob und inwieweit die Bewirtschaftung nachhaltig erfolgt. Trotz regional intensiver Nutzung, schwierigen ökologischen und klimatischen Bedingungen und einer beträchtlichen Waldfläche, existieren immer noch keine detaillierten wissenschaftlichen Studien, die den Einfluss von selektiver Holznutzung auf das

Wachstum des verbleibenden Bestandes erforschen und insbesondere die räumliche Struktur und Konkurrenzverhältnisse berücksichtigen. Es wurden Instrumentarien zur Nachhaltigkeitskontrolle, z.B. in Form von angepassten waldbaulichen Richtlinien gefordert (Benneckendorf 2011). Hierzu sind zunächst betreute Durchforstungsversuche notwendig. Anfänge für den Aufbau langfristiger Versuchsflächen (im Sinne einer kontinuierlichen Versuchsführung nach Pretzsch (2002) und Gadow (2012)) wurden vor allem nach den Gesetzesreformen 2007/2008 zusammen mit mongolischen Universitäten im Rahmen internationaler Entwicklungsprojekte gefördert.



**Abbildung 1.1.3:** Ein Transporter mit Kiefernstämmen einer Holzfirma in Bugant im KhentiiGebirge. **Abbildung 1.1.4:** Ein Inspektor der Umweltbehörde kontrolliert die Genehmigung eines Holztransporters mit einer kleinen Lärchenholzladung im westlichen Selenge Aimag (Gradel et al. 2016). Fotos: A.Gradel.

**Figure 1.1.3:** A transporter with pine logs of a timber company in Bugant in the Khentey Mountains. **Figure 1.1.4:** An inspector of the environmental agency controls the approval of a transporter with a small load of larch trees in the western Selenge Aimag (Gradel et al. 2016). Photos: A.Gradel.

**Рисунок 1.1.3** - Транспортировщик сосновых бревен лесозаготовительного предприятия в Бугант в Хэнтэйских горах. **Рисунок 1.1.4** - Инспектор природоохранного ведомства контролирует одобрение транспортировки небольшого объема деревьев лиственницы в западной Сэлэнгэ аймаке (Gradel et al. 2016). Фото: A.Gradel.

## Studienziele und Forschungsfragen

Im Rahmen des ökologischen und sozioökonomischen Kontexts und auf der Basis einer Pilotstudie zur Waldstruktur im westlichen Khentiigebirge (Gradel und Mühlenberg 2011), widmet sich diese Arbeit den folgenden Themenschwerpunkten:

Waldstruktur in feuergestörten Waldbeständen der hellen Taiga getrennt nach den zwei wichtigsten Baumarten Lärche und Birke (insbesondere relevant in Kapitel II und V); der Beziehung zwischen Klimafaktoren und Baumwachstum (Kapitel III und IV) und schließlich dem Bewirtschaftungseinfluss durch selektiven Holzeinschlag in Form von Durchforstungen auf Waldstruktur und Baumwachstum (Kapitel V). In Kapitel VI findet zusätzlich eine Beurteilung von Aufnahmen der Verjüngungsschicht aus den betreffenden Wäldbeständen statt. Die bisherigen Kenntnislücken sollen auf der Grundlage des im Folgenden zusammengestellten Arbeitsprogramms insbesondere für Waldbestände der hellen Taiga geschlossen werden. Leitfragen hierbei sind:

*Fragenkomplex 1 (Waldstruktur in feuergestörter heller Taiga):* Beziehung zwischen dem dominanten natürlichen Störungsregime und den spezifischen Strukturmerkmalen in Waldbeständen der hellen Taiga für die Lärche und die Birke:

Was sind die Unterschiede zwischen Lärche und Birke in Bezug auf die räumliche Verteilung der Baumindividuen in feuergestörten hellen Taigabeständen der Gebirgswaldsteppe? *Kapitel II und V*

Gibt es eine Beziehung zwischen dem dominierenden natürlichen Störungsregime und den strukturellen Charakteristika in diesen Wäldern? *Kapitel II*

*Fragenkomplex 2 (Einfluss von Klimafaktoren):* Klima-Wachstums-Beziehungen von Birke und Lärche:

Welchen Einfluss haben Klimafaktoren auf das Wachstum? *Kapitel III und IV*

Welche Klimafaktoren limitieren und welche fördern das Wachstum zu welchen Abschnitten des Jahresverlaufs? *Kapitel III und IV*

Gibt es Anhaltspunkte für die Verbindung zwischen Baumwachstum und weiteren, indirekt von Klimafaktoren geförderten Störungseinflüssen? *Kapitel III und IV*

Was sind die Unterschiede bzgl. der Klima-Wachstums-Beziehungen zwischen Birke und Lärche? *Kapitel IV*

Wenn es Unterschiede zwischen Birke und Lärche gibt, was könnten die Gründe dafür sein?

*Kapitel IV*

*Fragenkomplex 3 (Einschlag):* Einfluss von Durchforstung bzw. selektiven Einschlag auf Waldstruktur und Zuwachs:

In welcher Art und Weise ändert Durchforstung bzw. selektiver Holzeinschlag entsprechend bestimmter Kriterien die Waldstruktur? *Kapitel V*

Wie resilient ist das System? Findet kurzfristig keine „strukturelle Erholung“ statt, bleiben also die von der Durchforstung geschaffenen Strukturveränderungen erhalten oder ist das System so elastisch, dass die typischen Strukturmerkmale vor der Durchforstung in relativ kurzer Zeit (z.B. wenigen Jahren) regeneriert werden? *Kapitel V*

Wie reagiert der Zuwachs der verbleibenden Bäume nach der Durchforstung bzw. selektivem Holzeinschlag in Abhängigkeit zur Konkurrentenentnahme? Studien aus anderen Regionen der Welt lassen auf eine signifikante Zuwachssteigerung des verbleibenden Bestandes schließen. *Kapitel V*

Da die Verjüngung eine wichtige Rolle für die waldbauliche Entscheidungen spielt soll in einem gesonderten Abschnitt zusätzlich der Zustand der Verjüngungsschicht nach den Durchforstungen kurz beleuchtet werden.

*Fragenkomplex 4 (Verjüngungsschicht):* Ergebnisse aus der Aufnahme der Verjüngungsschicht:

Wie ist die Anzahl und Verteilung (in den Höhenklassen und räumlich) in der Verjüngungsschicht nach der Durchforstung in den untersuchten Beständen? *Kapitel VI*

Gibt es Unterschiede bzgl. der Verjüngungsschicht in Wäldern der hellen Taiga zwischen Gebirgswaldsteppenzone und Taigazone? *Kapitel VI*

Schließlich möchte ich die Ergebnisse zusammenführen und unter Berücksichtigung aktueller potentieller Managementkonzepte, Capacity Development und dem Aufbau eines mongolischen Waldbaus diskutieren.

## I.2 UNTERSUCHUNGSKONZEPTE UND FORSCHUNGSGEBIETE

Alle Daten, die im Rahmen dieser Forschungsarbeit ausgewertet wurden, stammen von Forschungsflächen in der Nordmongolei, die zusammen mit mongolischen Partnern eingerichtet wurden. Hier sollen zunächst die grundlegenden thematischen Aspekte relevanter Forschungsflächen dargestellt werden. Dann wird auf die Forschungsgebiete, das Flächen- und Aufnahmedesign und die Konzepte zur Auswertung, entsprechend den in Kapitel I.1 dargestellten Studienzielen und Fragestellungen eingegangen.

### **Beobachtungsstudien und Durchforstungsversuche**

Nach Angaben von Pretzsch (2002) ist die zu beantwortende Fragestellung bestimmend für die Flächenanlage. Je nach Aufnahmeziel und Anlage der Flächen wird dabei vielfältig unterschieden (Pretzsch 2002). Zur Beantwortung detaillierterer Fragestellungen unter Einbeziehung der Einzelbaumebene, findet die Aufnahme zumeist in großen festinstallierten, rechteckigen Flächen statt. Gadow (2012) unterscheidet bei der Flächenanlage allgemein zwischen *Beobachtungsstudien* und *manipulierten Experimenten*. Bei Beobachtungsstudien werden eine oder zumeist mehrere Flächen für zumindest einen Zeitintervall beobachtet. Durch ein Monitoring von Flächen unter verschiedenen Voraussetzungen (z.B. verschiedene Standorte, unterschiedliche Altersklassen usw.) kann im Vergleich z.B. das unterschiedliche Wachstum beobachtet werden. Diesbezüglich kann durch die Auswahl der Örtlichkeiten (z.B. feuergestört gegenüber feuerungsgestört) eine Voraussetzung für das Testen einer Hypothese und somit ein Quasi-Experiment geschaffen werden. Allgemein können Beobachtungsstudien auch als natürliche Experimente betrachtet werden (Meyer 1995 zitiert nach Gadow 2012). Das Monitoring auf Versuchsflächen in Naturwäldern ist ein typisches Beispiel für solche Beobachtungsstudien (bei Pretzsch 2002 als Erhebungen bezeichnet). Im Vergleich mit bewirtschafteten Flächen können hieraus dann wichtige Erkenntnisse und Referenzdaten für Forstwirtschaft und Forstwissenschaft gewonnen werden (Pretzsch 2002). Im Gegensatz zu reinen Beobachtungsstudien ist bei manipulierten Experimenten ein Eingreifen, durch welches z.B. bestimmte Voraussetzungen geändert werden, notwendig. Damit soll zumeist eine bestimmte Hypothese getestet oder eine bestimmte Frage beantwortet werden. Klassische forstwissenschaftliche Beispiele sind z.B. Düngungs- oder Durchforstungsversuche (Pretzsch 2002, Gadow 2012). Eine weitere wichtige Größe bei forstlichen Aufnahmen ist der Faktor Zeit. Für vergleichende Aufnahmen kann entweder über Intervallaufnahmen (mindestens zwei Aufnahmen) bzw. über Langzeitstudien bzw. langfristig beobachtete Dauerversuche (echte

Zeitreihen bei langen Zeiträumen und mehreren Aufnahmeintervallen) und dem Konzept der unechten Zeitreihe (*chronosequence*) unterschieden werden. Das Konzept der unechten Zeitreihe basiert darauf, dass zu einem Aufnahmezeitpunkt verschiedene Entwicklungsstadien aufgenommen werden, die unter ähnlichen Bedingungen entstanden sind und im Laufe der Entwicklung vergleichbaren Einflussgrößen unterlagen (Gadow 2005a). In der Mongolei gibt es bisher kaum detaillierte Monitoringdaten von Versuchsflächen. Die ersten Versuchsflächen zur Beurteilung von Bewirtschaftungseinflüssen und Waldbränden in den Lärchen- und Birkenwäldern wurden teilweise im Rahmen der sowjetisch-mongolischen Expeditionen gemacht, durch die auch Langzeitbeobachtungen entstanden (Savin et al. 1983, Savin et al. 1988).

#### *Beobachtungsstudien auf repräsentativen Referenzflächen bei geringen Kapazitäten und unter schwierigen Verhältnissen*

Bei geringen Kapazitäten oder besonders schwierigen Geländebedingungen sowie mangelhafter Informationslage, und wenn sich Bestandesstruktur und Artenzusammensetzung auf großer Fläche offenbar sehr ähneln, sind praktikable Lösungen gefordert. Hierbei ist es ratsam, möglichst repräsentative Waldbestände auszuwählen und z.B. größere quadratische Flächen als erste Referenzen aufzunehmen. Dieses wird zumeist als Weiser- bzw. Referenzsystem bezeichnet (Gadow et al. 2000). Hierzu wird zunächst ein repräsentativer Bestand gutachterlich ausgewählt, in welchem dann nach weiterer Expertenbegutachtung der Standort für die Errichtung der Fläche ausgewählt wird. Beschreibungen für die Einrichtung solcher Flächen lassen sich z.B. bei Petri und Michel (1959), Hawk et al. (1978), Gadow et al. (2000), Andreeva et al. (2002) und Gradel (2010) finden. Die Flächen können in Form von Beobachtungsstudien mehrmalig aufgenommen werden (Gadow 2012). Solche *Weiser-* bzw. *Referenzflächen* sind, neben Aufnahmen in Stichprobeninventuren, in vielen deutschen Bundesländern auch ein Instrument des Naturwaldmonitorings geworden (z.B. kürzlich erst in Sachsen eingerichtet: Gradel et al. 2013, Gradel et al. 2014).

#### *Durchforstungsversuche*

Zur Beantwortung einer bestimmten Frage bzw. Überprüfung einer bestimmten Hypothese werden unter kontrollierten Bedingungen manipulierte Experimente eingerichtet. Diese weisen ebenfalls zumeist rechteckige, oft quadratische Aufnahmeflächen auf (Pretzsch 2002, Gadow 2012). Um die Reaktionen auf die unterschiedlichen Behandlungen beurteilen zu

können, werden verschiedene Flächen - einem Versuchsprotokoll entsprechend - verschiedenen Behandlungen bei zunächst gleichen Ausgangsbedingungen unterworfen. Andere störende Einflüsse sollen dabei weitestgehend ausgeschlossen werden. Bei Durchforstungsversuchen steht vor allem das Verfolgen der Wachstumsreaktion auf unterschiedliche Durchforstungsart, und - stärke im Vordergrund (Pretzsch 2002). Frühe Beispiele von manipulierten waldbaulichen Experimenten, insbesondere zu Durchforstungen, gibt es in Mitteleuropa bereits seit dem 19. Jahrhundert, z.B. aus Baden, Bayern, Preussen, Sachsen und Württemberg (Pretzsch 2002, Gadow 2012).

### *Allgemeines zu Durchforstungen*

Durchforstungen sind gezielte Pflegeeingriffe zur Standraumerweiterung ausgewählter Bäume, die vor allem im Stadium des Stangenholzes und schwachen bis teils mittleren Baumholzes stattfinden (Röhrig et al. 2006, Wagner und Fischer 2008). Eingriffe im Jungbestand werden Läuterung genannt, wobei hier keine besondere Ansprache von Einzelbäumen erfolgt (Bartsch und Röhrig 2016). Die Ziele einer Durchforstung können unterschiedlich sein: z.B. Wertholzproduktion, Produktion von Massensortimenten (durchschnittliches Stammholz mit Mindestdimensionen), maximale Volumenleistung oder langfristig die Erhöhung der Bestandesstabilität. Die Auswahl, ob ein Baum bei einer Durchforstung entfernt wird oder verbleiben darf, findet anhand von Kriterien statt. Dafür ist es nötig, Bäume in verschiedenen Klassen ansprechen zu können. Beim Eingriff können in Bezug auf die soziologische Baumklasse zwei klassische Durchforstungsarten unterschieden werden, die unterschiedlich auf den Bestand wirken:

*Hochdurchforstungen (thinning from above):* Hierbei wird vor allem in den herrschenden Bestand eingegriffen. Zumeist werden qualitativ vielversprechende Zukunftsbäume von Bedrängern freigestellt. Hochdurchforstungen haben einen zwei- oder mehrschichtigen Bestandaufbau zum Ziel. Mit Hochdurchforstungen strebt man vor allem höchste Wertleistung ausgelesener Einzelbäume an (Wagner und Fischer 2008, Rittershofer 2013).

*Niederdurchforstungen (thinning from below):* Hierbei werden vor allem relativ schwächere, beherrschte Bestandesmitglieder entfernt, was Einschichtigkeit fördert. Generell setzen Niederdurchforstungen stärker auf flächenbezogene Volumenleistung und kollektive Stabilität (Wagner und Fischer 2008).



Durchforstungen können als waldbauliche Störung eingeordnet werden. Sie können deshalb anhand der bereits zuvor genannten Kriterien zur Beschreibung von Störungen beschrieben werden (Kapitel I.1). In der Forstwirtschaft haben sich, insbesondere im Hinblick auf die Störungsintensität und -häufigkeit, analoge Beschreibungsmuster entwickelt. So gilt die Eingriffsstärke als Maß für die Intensität des Eingriffes (gering, mäßig, stark). Diese orientiert sich quantitativ für gewöhnlich an der verbleibenden Grundfläche (Röhrig et al. 2006). Auf der Bestandesebene ist die Grundflächenhaltung, entsprechend dem Bestockungsgrad, somit eine Orientierung für die Eingriffsstärke. Die kritische Grundflächenhaltung ist ein Weiser für Eingriffsstärken um gerade noch 95% des maximalen Volumenzuwachses auf der Fläche zu gewährleisten (Wagner und Fischer 2008). Hierzu müssen aber verlässliche Ertragstabellen und ausreichende Grundinformationen zur Einordnung des Bestandes vorliegen. Der Eingriffsturnus bezieht sich auf die Häufigkeit des Eingriffes (Röhrig et al. 2006). Eingriffszeitpunkt und Eingriffsturnus müssen die Reaktionsfähigkeit der Baumart berücksichtigen. Hierzu wird in der Forstwirtschaft zumeist zwischen verschiedenen Stadien unterschieden (z.B. Jungwuchsstadium, Differenzierungsstadium, Auslesestadium, Ausreifungsstadium, Reifestadium). Bei Lichtbaumarten wie Birke und Lärche, deren Höhenzuwachs schon in vergleichsweise jungen Jahren kumuliert, werden vergleichsweise frühere, stärkere und häufigere Eingriffe, oft bereits in der frühen Stangenholzphase, empfohlen. Diese Baumarten benötigen für die Entwicklung einer ausreichend großen Krone genügend Platz und Licht, weshalb hier für Wertholzproduktion auch schon früher eine Auswahl der Bestveranlagten erfolgen kann (Wagner und Fischer 2008).

Häufig angewandte Kriterien zur Einteilung und Auswahl sind Standraum, soziale Stellung, Qualität, Vitalität und in gemischten Beständen die Baumart. Grundlegend kann zwischen einer Positivauslese (für Zukunftsbäume) oder eine Negativauslese (Entfernung qualitativ schlechterer Phänotypen) unterschieden werden.

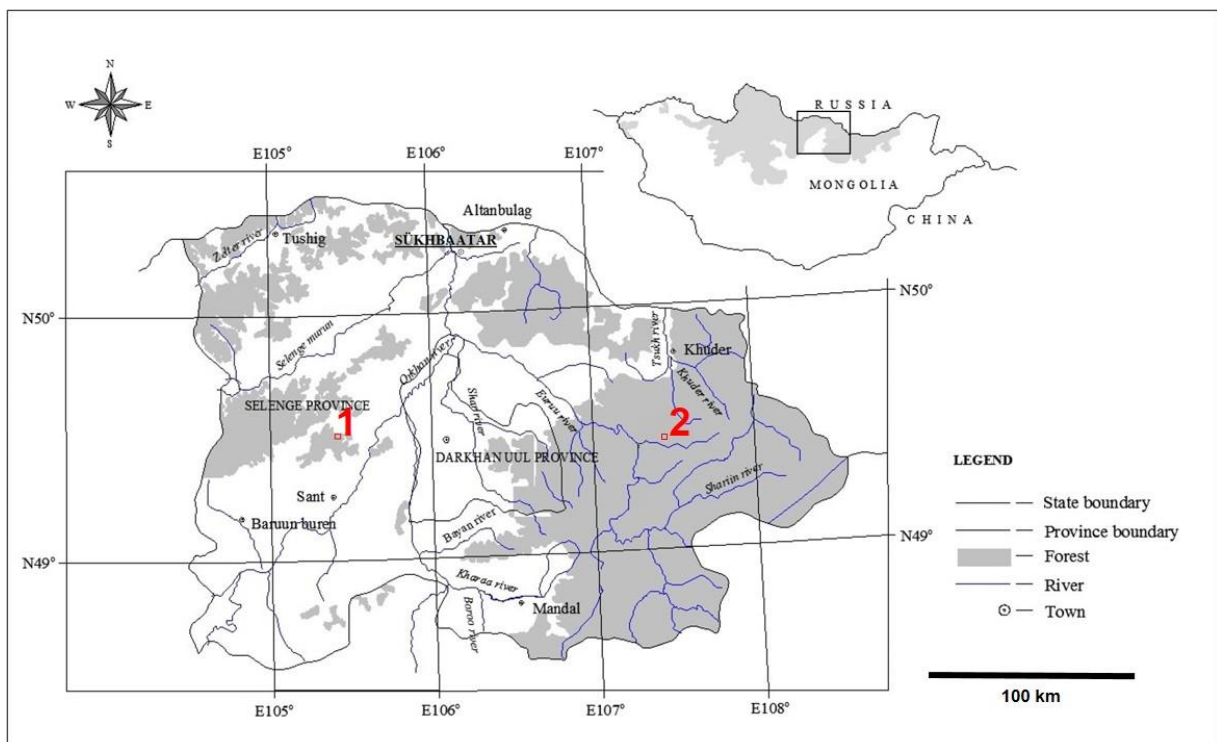
### *Durchforstungen im Rahmen dieser Forschungsarbeit*

In der Mongolei gibt es bisher keinerlei wissenschaftlichen Studien zu Durchforstungen. Zum Zeitpunkt der Durchforstungen im Rahmen dieser Forschungsarbeit im Jahre 2009 waren kurzfristig keine Informationen in Form von Ertragstabellen oder gar zur kritischen Grundflächenhaltung verfügbar. Die Auswahl der zu entfernenden Bäume in den ausgewählten Naturwaldbeständen fand anhand folgender Kriterien statt: niedriger Gesundheitszustand und niedriges Wachstumspotenzial, angedeutet durch Stammschäden und

Kronenentwicklung und Stammform sowie Abstand zwischen den einzelnen Bäumen. Vor dem Hintergrund der hauptsächlichen Zielsetzung des FAO-Projektes stellte die Durchforstung zudem eine waldbauliche Trainingsmaßnahme für die beteiligten WNG-mitglieder, die Mitarbeiter der Umweltbehörde sowie Studenten und Lehrkräfte statt. Als Orientierung für die Eingriffsstärke konnte aus Zeitgründen im Rahmen des FAO-Projektes vor Ort nur näherungsweise die Stammzahl während der gutachterlichen Auslese durch Forstexperten herangezogen werden. Die Eingriffe wurden im Rahmen dieser Arbeit analysiert (Kapitel V; Gradel et al. 2017c).

## Einrichtung von Referenzflächen und Durchforstungsversuchen in der Mongolei

Referenzflächen und Durchforstungsversuche wurden in den Forschungsgebieten Altansumber (1) und Bugant (2) angelegt. Bugant ist als Zentrum für Holzindustrie und Goldabbau bekannt (Gradel und Petrow 2014) (siehe Abbildung 1.2.1; bereitgestellt durch MAS). Das Forschungsgebiet Altansumber liegt in der Gebirgswaldsteppenzone (mongolisch Khangai); das Gebiet Bugant befindet sich im westlichen Khentiigebirge und wird zur Taigazone gerechnet.



**Abbildung 1.2.1:** Überblick über die relevanten Forschungsgebiete in der Mongolei. 1= Forschungsgebiet Altansumber; 2= Forschungsgebiet Bugant. Das Hauptforschungsgebiet des Projektes (RForStand) ist Altansumber.

**Figure 1.2.1:** Overview of relevant research areas in Mongolia. 1= research area Altansumber; 2= research area Bugant. The main research area of the project (RForStand) is Altansumber.

**Рисунок 1.2.1:** Обзор соответствующих районов исследований в Монголии. 1= район исследования Алтансумбер; 2= район исследования Бугант. Главный район исследования проекта (RForStand) является Алтансумбер.

Tabelle 1.2.1 gibt einen Überblick über die Einordnung der Forschungsgebiete in Klassifikationen z.B. bzgl. Vegetations- oder Wald- oder Inventurzonen verschiedener Autoren, die im Rahmen dieser Dissertation genutzt wurden. Administrativ befinden sich alle drei Regionen im Selenge Aimag.

**Tabelle 1.2.1:** Einordnung der Forschungsgebiete im Bezug auf verschiedene Landschaften, Vegetationsgebiete und die nationale Forstinventur (MPNFI) der Mongolei.

**Table 1.2.1:** Classification of the research areas into various regional mapping and vegetation classifications and the national forest inventory (MPNFI) of Mongolia.

**Таблица 1.2.1** - Классификация район исследования по видам ландшафта, растительности и национальной инвентарисации (MPNFI) в Монголии.

Purpose / Thematic focus	Source	research area	
		Altansumber	Bugant
landscape / vegetation	Krasnoshekov 2013	Khangai region	Khentii region
(forest) vegetation zones	Dulamsuren 2004, Dulamsuren et al. 2005, Junatov 1950	Mountain forest steppe zone	largely taiga zone
national forest inventory	MPNFI (MET 2016)	Khovsgul inventory region	Khentii inventory region
dominant forest formation	Mühlenberg 2012, MET 2016	light taiga	light taiga (and dark taiga)
dominant forest habitat type	Mühlenberg et al. 2004	<i>Larix sibirica</i> - <i>Betula platyphylla</i> - forest habitat	<i>Pinus sylvestris</i> forest habitat

Im Folgenden soll die Einrichtung von Referenzflächen und Durchforstungsversuchen in den zwei Forschungsgebieten dargestellt werden. Da der Hauptteil dieser Dissertation sich mit dem Forschungsgebiet Altansumber beschäftigt, und dies im Rahmen einer größeren internationalen Kooperation unter Einbeziehung vieler Partner in einem partizipativen Prozess stattgefunden hat, wird das dazugehörige Unterkapitel ausführlicher dargestellt.

### *Methodische Vorarbeiten in der Mongolei*

Für eine detaillierte Erstbeschreibung der Struktur eines mongolischen Taigawaldes habe ich mit Herrn Jonas Krause im Rahmen eines Forschungsaufenthaltes im Jahre 2002 eine erste Referenzfläche im Gebiet der deutsch-mongolischen Forschungsstation Khonin Nuga, in der dunklen Taiga am Berg Sangstai angelegt. In den Folgejahren wurden um Khonin Nuga weitere Flächen in der hellen und dunklen Taiga in Kooperation mit mongolischen Studenten der Nationalen Universität der Mongolei (NUM) und deutschen Studenten der Universität Göttingen angelegt (Gradel 2007). Bei allen Flächen handelte es sich um nicht dauerhaft markierte Aufnahmeeinheiten. Auf allen Flächen wurden dabei die Stammkoordinaten, die Baumart und der BHD ab 5cm (Bestand Sangstai ab 7cm) erfasst (siehe Gradel 2007). Leider fielen alle Flächen zwischen 2007 und 2009 intensiven Waldbränden zum Opfer (siehe Weltbank 2009). Da die Referenzflächen in Khonin Nuga vor den großen Bränden aufgenommen worden sind bot eine Auswertung die Möglichkeit erstmalig Unterschiede bzgl. der Raumstruktur in der dunklen Taiga und der feurgestörten hellen Taiga zu analysieren.

Diese Daten waren insofern wertvoll, da damals unweit der Forschungsstation noch feuergestörte helle Taiga und ungestörte dunkle Taiga in erreichbarer Nähe zueinander existierten. Zu diesem Zeitpunkt gab es zwei unterschiedliche Meinungen in Bezug auf die Gründe der Verbreitung von heller und dunkler Taiga in der Nordmongolei. Eine Seite argumentierte, dass helle Taiga und dunkle Taiga aufgrund von edaphischen Bedingungen und Wasserverfügbarkeit die natürlichen Pflanzengesellschaften (helle Taiga-Hypothese) auf dem jeweiligen Standort darstellten, während andere Wissenschaftler der Meinung waren, dass auf vielen Standorten das Störungsregime eine entscheidende Rolle spielen würde, die aktuellen Pflanzengesellschaften eher Sukzessionsstadien glichen und die helle Taiga oft eine Entwicklungsstufe zur dunklen Taiga darstellen würde (dunkle Taiga-Hypothese) (Gradel 2007). Dieses war für viele Gebiete in nördlicheren Regionen bereits teilweise bestätigt (Shorohova et al. 2009). Bei der Auswertung zeigte sich, dass die Referenzflächen der dunklen Taiga eine zufällige Baumverteilung aufweisen und, verglichen mit den Flächen der hellen Taiga, zu größerer räumlicher Durchmischung tendierten. Außerdem konnte geschlussfolgert werden, dass einige Standorte der lichten Taiga Entwicklungspotential zur Beimischung von Sibirischer Zirbelkiefer und somit Potential zur Weiterentwicklung zur dunklen Taiga haben (Gradel 2007). Die wenigen, oft sehr großen Lärchen in der dunklen Taiga, welche größtenteils zu Nachbarbäumen waren, wurden ebenfalls als Hinweis auf Sukzessions- und Verdrängungsprozesse bei langfristig ungestörter Entwicklung interpretiert. Sie wurden als Relikte aus Zeiten mit intensiven Störungen gedeutet (Gradel 2007). Ich schlussfolgerte, dass die beobachteten Strukturcharakteristika vor allem aus der Störungshistorie und endogenen Walddynamik resultieren. Für Khonin Nuga deuteten die Ergebnisse an, dass im Verlauf einer ungestörten Sukzession die Taiga mit irregulärer Baumverteilung, niedriger Grundfläche und niedriger Baumartenzahl beginnt, und sich spätere Sukzessionsstadien durch zufällige Verteilungsmuster sowie höhere Grundfläche und höherer Baumartenzahl auszeichnen und zu höherer räumlicher Baumartenmischung tendierten (Gradel und Mühlenberg 2011).

## **Einrichtung von Durchforstungsversuchen mit der MULS im entwicklungspolitischen Rahmen eines UNFAO-Projektes**

Der Großteil dieser kumulativen Dissertation basiert auf Daten aus dem Forschungsgebiet Altansumber. Die Flächen wurden dort 2009 im Rahmen eines internationalen Kooperationsprojektes unter Leitung der UNFAO eingerichtet. Im Folgenden werde ich das Projekt und den entwicklungspolitischen Kontext sowie die Flächeneinrichtung in einzelnen Schritten vorstellen.

### *UNFAO-Projekt zur partizipativen Waldbewirtschaftung*

Das Projekt „*Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas in Mongolia*“ (GCP/MON/002/NET) wurde von den Niederlanden durch ODA-Mittel finanziert und durch die Welternährungsorganisation der Vereinten Nationen (*Food and Agriculture Organization of the United Nations; UNFAO*) und dem damaligen Mongolischen Ministerium für Natur und Umwelt implementiert. Das Hauptziel war es dabei, die Förderung von verantwortlicher, produktiver und nachhaltiger Bewirtschaftung der Waldressourcen durch lokale Nutzergruppen zu unterstützen. Das Projekt war in fünf Outputs unterteilt (Evans 2008 Annex 7):

- 1. Functional local organizations/entities (Nukhurlul) for forest management established in pilot sites.*
- 2. Adapted management planning for local sustainable forest use, reforestation and conservation.*
- 3. Adequate legislation and regulations for local level forest resources use, reforestation and conservation.*
- 4. Adequate institutional frame-work at national level for local forest resources use and conservation.*
- 5. Improved knowledge on integrated and sustainable natural resources utilization and conservation.*

Dieses Projekt (GCP/MON/002/NET) wurde durch die FAO-TCP-finanzierte Initiative „*Support to the Development of Participatory Forestry*“ 2004 bis 2005 vorbereitet, 2007 genehmigt und gestartet (Evans 2008). Die Laufzeit endete Anfang 2012. Generell verfolgte dieses FAO-Projekt einen Mehrebenenansatz: Das Zentralbüro in Ulaanbataar arbeitete in

erster Linie auf der Makroebene, indem es Politikberatung, Lobbying und Kapazitätsbildung in der nationalen Forstagentur und dem Ministerium betrieb. Zur Verstärkung des Zentralbüros arbeitete ab 2009 noch eine niederländische FAO-Juniorfachkraft in Ulaanbaatar. Für den Kontakt zur Meso- und Mikroebene wurden vier Regionalbüros für die Arbeit in fünf nördlichen Provinzen (Khentii, Khuvsgul, Darchan Uul, Selenge und Bulgan) eingerichtet. Diese Regionalbüros befanden sich in den Provinzhauptstädten und arbeiteten vor Ort mit den örtlichen Umweltbehörden der Provinzen zusammen. Die Büros waren mit Computer, Auto mit Fahrer und einem monatlichen Budget ausgestattet und wurden von einem mongolischen Facilitator geleitet. Hauptaufgaben waren die Betreuung und das Training ausgewählter WNGn sowie die Vermittlung der Projektinhalte in die örtliche Umweltbehörde. Sowohl im Zentralbüro des Projektes in Ulaanbaatar als auch in den Regionalbüros in Mörön (für Khentii) und in Darchan (für Darchan-Uul und den Selenge Aimag) wurden ab 2008 insgesamt drei Berater des Deutschen Entwicklungsdienstes (DED, heute Teil der GIZ) eingesetzt, um den Wissenstransfer von deutscher Seite in das Projekt zu erleichtern. Diese Maßnahme leistete einen Beitrag zum Schwerpunkt Umweltpolitik mit der DED-Fachkraft in der deutsch-mongolischen Entwicklungszusammenarbeit (Gradel 2010a). Mein Einsatzbereich als DED-Fachkraft war im Regionalbüro in Darchan angesiedelt. Der räumliche Einsatzbereich unseres Büros war insbesondere die westliche Selengeprovinz, im östlichen Teil war die GIZ bereits seit den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts mit einem eigenen Projekt aktiv. Teilweise unterstützte unser Büro auch Initiativen in Darchan-Uul und Bulgan Aimag (siehe Abbildung 1.2.2).



**Abb. 1.2.2:** Im Forschungsgebiet Altansumber während des UNFAO-Projektes (September 2010).

**Fig. 1.2.2:** In the research area Altansumber during the UNFAO project (September 2010).

**Рисунок 1.2.2** - В районе исследования Алтансумбэр в рамках проекта ФАО (сентябрь 2010 г.).

*Auswahl des Forschungsgebietes, der Bestände und Flächen für die Einrichtung von Referenzflächen und Durchforstungsversuchen im Gebiet einer Waldnutzerguppe*

Im Folgenden beschreibe ich schrittweise, wie wir im Projekt für die Flächeneinrichtung im Gebiet einer Waldnutzerguppe vorgegangen sind. Nach der Auswahl von den Pilot-Waldnutzerguppen (Schritt 1), die im Rahmen des Projektes generell von uns in ihrem Aufbauprozess betreut werden sollten, wurde ein geeignetes Forschungsgebiet für die Flächeneinrichtung ausgesucht (Schritt 2), parallel die Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern abgestimmt (Schritt 3), und die Flächen schließlich unter Einbindung verschiedener Partner eingerichtet (Schritt 4).

**Schritt 1:** *Auswahl von Pilot-Waldnutzerguppen*

Anfang 2009 erhielt jedes Regionalbüro den Auftrag, seine Kapazitäten auf drei besonders vielversprechende Pilot-Waldnutzerguppen zu konzentrieren. Es stellte sich die Frage, wie die vom Zentralbüro erhaltenen Kriterien in der Auswahl möglichst nachvollziehbar praktisch umgesetzt werden könnten. Im Regionalbüro in Darchan haben wir eine Erfassungsmethode entwickelt, durch die sich im Rahmen eines Waldnutzerguppentreffens die verschiedenen Kriterien über partizipative Methoden abfragen ließen. Wir erarbeiteten dabei Erfassungsprozeduren und Indikatoren und bewerteten die Waldnutzerguppen, insbesondere durch die Anwendung von partizipativen Instrumenten (Lynam et al. 2007), während der Workshops mit den betreffenden WNGn-Mitgliedern. Die Gruppen waren davon unterrichtet, dass wir uns ein besseres Bild von ihnen im Rahmen eines Auswahlprozesses machen mussten. Die Resultate zu den Einzelkriterien wurden im Büro nach einem Punktschema von 0 (Kriterium nicht erfüllt) bis drei (Kriterium voll erfüllt) in Schritten von 0,5 Punkten bewertet. Schließlich wurden die Punkte jeder Gruppe summiert und durch die maximal mögliche Summe an Punkten geteilt, um daraus ein numerisches Maß als Indikator für das Potential der jeweiligen Gruppe zu erhalten. Nach diesem Schema erreichten die folgenden WNGn schließlich die höchsten Bewertungen: Altansumber (84.2 %), Khargistai Bayanburd (Tsagaanuur) (76.5%) und Dalt (75%). Dieses Verfahren wurde von uns später auch in Darchan-Uul und von den Projektbüros im Khentii Aimag und im Bulgan Aimag für die Auswahl ihrer Ziel-WNG angewandt (Gradel und Fontein 2009).



**Schritt 2:** *Auswahl der Waldnutzergruppe Altansumber (forest user group Altansumber) und des Forschungsgebietes Altansumber (research area Altansumber)*

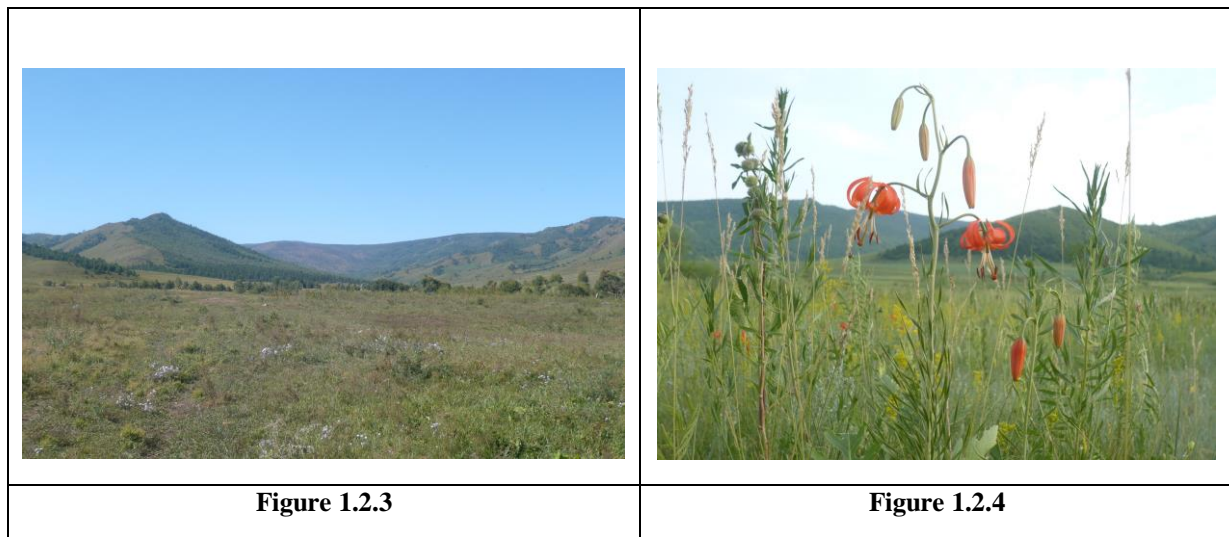
Nach Auswertung unserer WNG-Erfassung und in Absprache mit der mongolischen Seite, wurde das Gebiet Altansumber für die Einrichtung vorgeschlagen. Altansumber - lässt sich auf Deutsch in *Goldspitze* übersetzen - liegt westlich von Darchan in der Gebirgswaldsteppenzone. Das Gebiet weist ein vielfältiges Relief mit gut erreichbaren Waldbeständen auf, die vor allem mit Lärchen und Birken bestockt sind. Zudem gibt es in den höheren Lagen einige, durch Waldbrandeinflüsse offensichtlich in Schrumpfung begriffene, Reliktstandorte der dunklen Taiga ab etwa 1400 m. ü. NN.

*Die Waldnutzergruppe Altansumber*

Die lokalen Nomaden haben sich zu der WNG Altansumber zusammengeschlossen. Die Mitglieder der WNG Altansumber unterstützten die Idee, die Flächeneinrichtung gemeinschaftlich durchzuführen. Das Gebiet Altansumber liegt im Einzugsgebiet des Orchonflusses und wird von Hügeln, Bergen und zahlreichen kleinen Tälern geprägt. Die Höhenlage variiert zwischen ca. 850 und knapp 1600 m. über NN. In den niedrigen und leichter erreichbaren Lagen herrscht Steppenvegetation vor. An steinigen Hangsohlen wachsen Gruppen Sibirischer Ulmen (*Ulmus pumila* L.). Die Grundeinteilung der Wälder um Khonin Nuga (Mühlenberg et al. 2004, Mühlenberg et al. 2012) kann auch für die Einteilung im Untersuchungsgebiet genutzt werden. Die Flora und Fauna im Gebiet Altansumber ist im Bericht zur partizipativen Maßnahme (GCP /MON/ 002/NET) wie folgt beschrieben (Gradel 2010, S.5-6):

*„...Ueberwiegend an den Nordhaengen herrschen Laerchen- und Birkenwaelder vor (Larix sibirica-Betula platyphylla-wald), waehrend Suedhaenge zumeist von Steppenvegetation beherrscht werden. An feuchteren Senken leicht suedlich exponierter Haenge wachsen Zitterpappeln (Populus tremula). In den hoeheren Lagen, teilweise auch im Quellbereich von Baechen gesellen sich Sibirische Fichten und Sibirische Zirbelkiefern hinzu (potentieller Pinus sibirica-wald). Auf feuerungestoerten Hochplateaus dominieren die letztgenannten Baumarten. Im Fruehjahr sind die Taeler mit weissgelben und violetten Kuechenschellen (Pulsatilla sp.) uebersaeht, im Wald bluehen Trollblumen (Trollius sp.). Im Juni/Juli machen verschiedene Arten von Lilien auf sich aufmerksam ..... Auch die Tierwelt ist trotz der sehr kalten Winter mannigfaltig. Nach starken Sommerregenfaellen sammeln sich abends Mongolische Kroeten (Bufo raddai) in den entstandenen Pfuetzen. Bei den Voegeln kommt z.B. das Steinauerhuhn (Tetrao parvirostris) vor. Wildschwein (Sus scrofa), Elch (Alces alces) und Braunbaer (Ursus arctos) sind selten und zum Teil nur Gaeste aus Nachbarregionen, waehrend Wolf (Canis lupus) und Vielfrass (Gulo gulo) den Spuren und Berichten nach zu urteilen staendig im Gebiet anzutreffen sind. Traditionell leben die Menschen als*

*Viehnomaden und praktisch alle mongolischen Staemme - mit Ausnahme der im Norden und in Sibirien lebenden Buryaten - sind an ein Leben in der offenen Steppe angepasst... “*



**Abbildung 1.2.3:** Gebirgswaldsteppe im Gebiet Altansumber (Foto: A. Gradel). **Abbildung 1.2.4:** Lilium pumilum DC. wird von den Mongolen als Heilpflanze geschätzt und ist weit verbreitet im Gebiet Altansumber (Foto: A. Gradel).

**Figure 1.2.3:** Mountain forest steppe in the Altansumber area (Photo: A. Gradel). **Figure 1.2.4:** Lilium pumilum DC. is valued by the Mongols as a medicinal plant and is widely distributed in the Altansumber area (photo: A. Gradel).

**Рисунок 1.2.3** - Горная лесостепь в районе Алтансумбер (Фото: А. Gradel). **Рисунок 1.2.4** - Lilium pumilum DC. ценится монголами как лекарственное растение и широко распространена в районе Алтансумбер (фото: А. Gradel).

### **Schritt 3: Kooperationsvereinbarung mit der MULS Darchan**

*Forstausbildung und Kooperation mit der Mongolischen Universität für Lebenswissenschaften (Mongolian University of Life Sciences in Darkhan)*

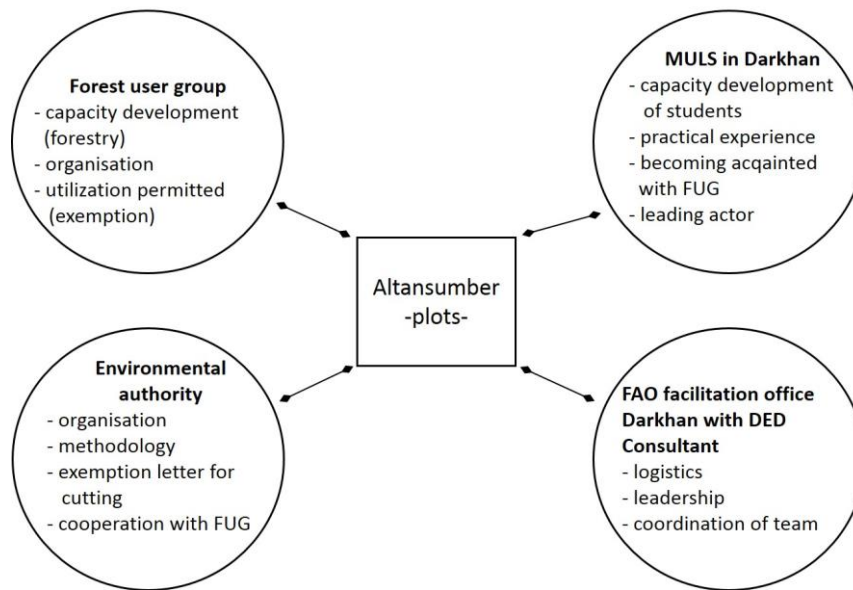
Erste forstliche Forschungen fanden in der Mongolei bereits in der ersten Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts statt (Batkhuu et al. 2011). Die erste universitäre Abteilung zur Forstausbildung gab es in den 1960er Jahren in der Mongolischen Landwirtschaftsuniversität (heute Mongolische Universität für Lebenswissenschaften; MULS). Ende der 1980er Jahre wurde diese Abteilung an die Mongolische Universität der Wissenschaften und Technologie verlegt, dann Anfang der 1990er Jahre an die Nationale Universität der Mongolei (NUM) (Batkhuu et al. 2011). Neben dieser wichtigsten Ausbildungsstätte an der NUM gibt es forstlich relevante Ausbildungen weiterhin an der MULS und der Mongolischen Universität der Wissenschaften und Technologie in Ulaanbaatar.

*Aufnahme der MULS Darchan in die Planung für die Flächeneinrichtung im Rahmen des UNFAO-Projektes*

Das Institut für Pflanzenwissenschaftliche Landwirtschaftliche Forschung und Training (allgemein gebräuchliche Abkürzung PSARTI) formt in Darchan in Verbindung mit der Außenstelle der MULS, landläufig damals auch als „*Darkhan University*“ bezeichnet, den größten agrarwirtschaftlichen Ausbildungs- und Forschungskomplex der Nordmongolei. PSARTI bekundete Interesse, die unter dem UNFAO-Projekt-Output 5 (*Improved knowledge on integrated and sustainable natural resources utilization and conservation*) vorgesehene Einrichtung von Durchforstungsversuchen kooperativ durchzuführen. Im Rahmen des Projektes konnte das Regionalbüro Darchan die Zusammenarbeit auch als Capacity Development-Maßnahme einordnen und ein *Memorandum of Understanding* (MoU) zwischen UNFAO und PSARTI vermitteln. Die Kooperation wurde auf dem FAO-Projekttreffen in Ulaanbaatar im Sommer 2009 akzeptiert und offiziell in den Arbeitsplan aufgenommen. Eine genaue Vorgabe für die Einrichtung und Anzahl der Flächen und Örtlichkeit gab es nicht. Die einzige Auflage durch das Projekt war, dass die Flächen im Gebiet einer WNG eingerichtet werden mussten.

**Schritt 4:** *Partizipative Flächeneinrichtung durch die Mongolische Universität für Lebenswissenschaften in Darchan und der Waldnutzergruppe im Forschungsgebiet Altansumber*

Die Auswahl der Bestände für die Flächeneinrichtung erfolgte nach folgenden Kriterien: typisches Gebiet nordmongolischer Waldnutzergruppen (Topographie, Baumarten, Bestandesmerkmale), relativ gute Erreichbarkeit, Intention zur Holznutzung durch die lokalen Bewohner (insbesondere WNG). Für die Auswahl der Standorte der einzelnen Flächen wurden sich möglichst ähnelnde, repräsentative Bereiche innerhalb eines Bestandes ausgesucht. Da die Bäume in der Gebirgswaldsteppe unregelmäßig und lückenhaft verteilt sind, ist es bei geringen Zeitressourcen schwierig, Flächen innerhalb eines Bestandes so einzurichten, dass alle möglichst ähnliche Stammzahlen aufweisen. Besonders wichtig waren Logistik, Aufteilung und Betreuung von Verantwortlichkeiten. Die Einrichtung erfolgte als partizipativer Prozess unter Beteiligung folgender Akteure: MULS Darchan (Studenten und Lehrkräfte), Umweltbehörde des Selenge Aimag, WNG Altansumber, FAO-Regionalbüro Darchan (siehe Abbildung 1.2.5).



**Abbildung 1.2.5:** Rollen und Verantwortlichkeiten der wichtigsten Teilnehmer während dem Prozess der Flächeneinrichtung im Forschungsgebiet Altansumber (nach Gradel 2010).

**Figure 1.2.5:** Roles and responsibilities of the main participants during the process of the plot establishment in the RA Altansumber (based on Gradel 2010).

**Рисунок 1.2.5** – Роль и обязанности важных участников в процессе создания площадей в районе исследования Алтансумбер (на основе Gradel 2010).

Studenten und Lehrkräfte der MULS führten zusammen die Einrichtung und Aufnahme auf den Flächen sowie die ersten Schritte der Datendigitalisierung durch. Während der Flächeneinrichtung mussten legale Aspekte berücksichtigt werden. So war für die Durchführung der Durchforstung durch die örtliche WNG eine Sondergenehmigung der örtlichen Umweltbehörde nötig. Der örtliche Ranger half bei allen weiteren Koordinationsschritten vor Ort tatkräftig mit. Die WNG führte die Durchforstung durch und unterstützte die Flächeneinrichtung durch die Bereitstellung von Holzpfählen und das Anfertigen von Aluminiumplaketten für die Baumnummern. Wichtige Materialien konnten auf dem Markt in Darchan gekauft werden. Planung und Koordination wurden vom FAO-Regionalbüro Darchan mit mir als DED-Fachkraft übernommen. Der Planungsprozess wurde außerdem durch jeweils einen zweiwöchigen Aufenthalt der Beratungsfirma Teusan Forestry Consulting International im Frühjahr und im Spätsommer unterstützt.

### *Weiterführung der Aufnahmen im Rahmen eines partizipativen Projektes zwischen deutschen und mongolischen Forschungseinrichtungen*

Um die Nachhaltigkeit der Maßnahme und Kooperation abzusichern, habe ich damals eine Kooperation mit ausländischen Universitäten, speziell im deutschsprachigen Raum, vorgeschlagen (Gradel 2010). Um Partner zu finden erhielt ich hierzu ein Empfehlungsschreiben der MULS Darchan. Als potentielle Partner in Deutschland kamen Institute in Göttingen, Dresden und Heidelberg in Frage. Schließlich konnte ich die mit Darchan gestartete Kooperation im Rahmen des Projektes *“Reaktion von Waldbeständen am Rande der südlichen Taiga auf Klimafaktoren, natürliche und waldbauliche Störungen“* (RForStand), welches an der Abteilung für Waldbau und Waldökologie der gemäßigten Zonen der Universität Göttingen in enger Kooperation mit der TU Dresden betreut wurde, weiterführen.

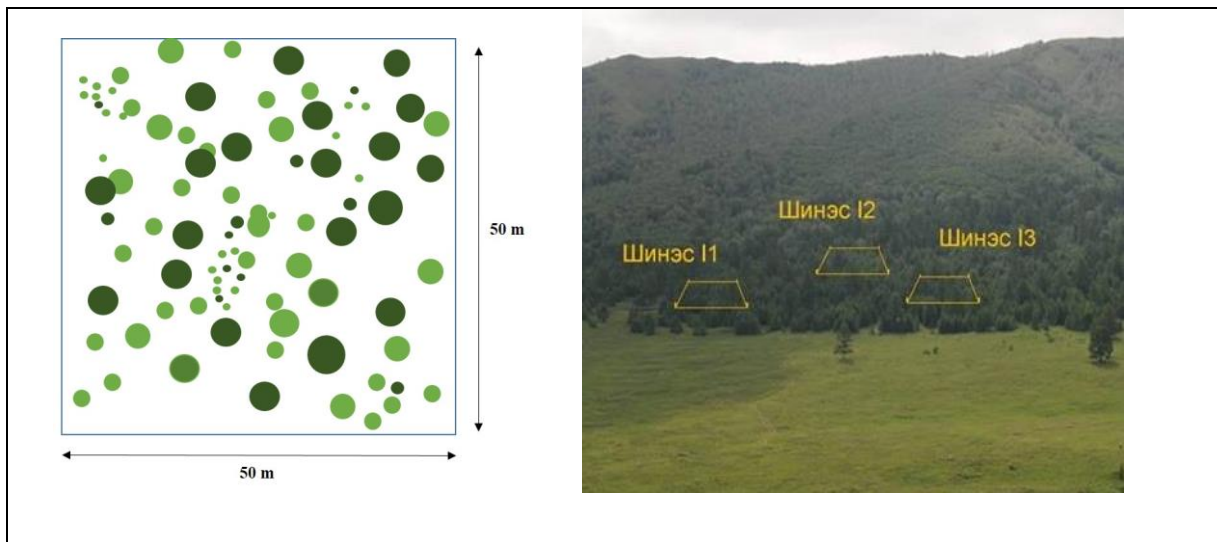
### *Flächeneinrichtung durch die Mongolische Universität für Lebenswissenschaften in Darchan im Forschungsgebiet Bugant*

Fast noch parallel bzw. im Anschluss an die Flächeneinrichtung im Rahmen des UNFAO-Projekts wurde im westlichen Khentiigebirge, um den Holzfällerort Bugant (Gradel und Petrow 2014) entlang dem gleichnamigen Fluss im Herbst 2009, mit der Einrichtung von weiteren Flächen mit der örtlichen Umweltbehörde angefangen. Diese Region ist dicht bewaldet und wird zur Taigazone gerechnet. Die Ersteinrichtung wurde, in einem durch die GIZ finanzierten Auftrag, durch Teusan Forestry Consulting International begonnen. Die Einrichtung entsprach dabei den Standards der im UNFAO-Projekt finanzierten Flächeneinrichtung im Forschungsgebiet Altansumber. Im Rahmen des RForStand-Projektes wurden diese Flächen mit Studenten der MULS 2011 neu etabliert, weitere Flächen neu eingerichtet und 2011 und teilweise auch 2013 aufgenommen. Dieses Gebiet wurde zum Forschungsgebiet Bugant und bot z.B. die Möglichkeit einige Ergebnisse aus der Gebirgswaldsteppenzone (Altansumber) mit Ergebnissen aus der Taigazone (Bugant) zu vergleichen.

## Übersicht über die eingerichteten Flächen in den Forschungsgebieten Altansumber und Bugant

### Aufnahmedesign und aufgenommene Parameter

Abbildung 1.2.6 gibt einen Überblick über das Aufnahmedesign der Flächeneinrichtung und die aufgenommenen Parameter in den Forschungsgebieten Altansumber und Bugant.



#### Mature trees assessment:

- Assessment of the species, the DBH and the stem coordinates of every tree with a DBH  $\geq 7$  cm
- Height measurements of the main tree species in every stand (min. 30 – 45 trees of varying diameter per species and stand)

#### Extraction of wood cores of max. 10 trees per plot:

- Wood cores were extracted at 1 m. height with an increment borer with a diameter of 5 mm.

#### Regeneration assessment:

Based on a 10x10 meter grid on each plot a systematic regeneration inventory was conducted (Kramer and Akca 1995). This results on a square plot of 2500 m<sup>2</sup> in 16 sample points. Each sample point covers with  $r=1.13$  meters an area of 4 m<sup>2</sup>. The regeneration with a minimum height of 20 cm and up to 220cm was assessed in height classes of 20 cm (Pretzsch 2002), which results into 11 classes. The 12th regeneration class included all young trees higher than 220 cm, but with a diameter less than 7 cm.

**Abbildung 1.2.6:** Oben links: Schematisches Beispiel einer einzelnen Versuchsfläche. Oben rechts: Ungefähre Position von drei Versuchsflächen im Landschaftskontext des Forschungsgebietes Altansumber (Gradel 2010).

**Figure 1.2.6:** Top left: Schematic example of a single research plot. Top right: Approximate position of three research plots in landscape context of the RA Altansumber (Gradel 2010).

**Рисунок 1.2.6** - Наверху слева: схематический пример одной исследовательской площади. Справа вверху: Ориентировочная позиция трех исследовательских площадей в ландшафтном контексте исследуемого района Алтансумбер (Gradel 2010).

Die Tabellen 1.2.2 und 1.2.3 geben jeweils einen Überblick über die eingerichteten Flächen in den Forschungsgebieten Altansumber und Bugant. Zusammen mit Studenten und Lehrkräften der MULS konnten wir achtzehn helle Taigaflächen in sechs Referenzbeständen im Forschungsgebiet Altansumber und zwanzig helle Taigaflächen in sieben Referenzbeständen im Gebiet Bugant einrichten. Zusätzlich wurde in beiden Gebieten jeweils eine Fläche in einem Waldbestand, welcher von dunklen Taigabaumarten dominiert wird, eingerichtet. Diese zwei Flächen werden der Vollständigkeit halber hier aufgeführt, sind aber nicht relevant für die Auswertung der Forschungsfragen für die bewirtschafteten Lärchen- und Birkenwälder im Rahmen des RForStand-Projektes. Somit wurden insgesamt vierzig Einzelflächen etabliert. In beiden Gebieten wurden je Referenzbestand zumeist drei Flächen mit 2500m<sup>2</sup> Größe eingerichtet. Dabei formen die Flächen im Forschungsgebiet Bugant zumeist vereint größere Flächen von bis zu 0,75 ha Größe (united plots), weisen aber offensichtlich teilweise Unterschiede bezüglich der Eingriffe auf. Die meisten Flächen weisen geringe (<20 Grad) oder gar keine Hangneigung auf. Nur in den Beständen LII und BI (Altansumber) kommen stellenweise Hangneigungen von über 20 Grad vor. Der Bestand LI (Altansumber) ist auf einer ehemaligen Weidefläche entstanden und wird bis auf wenige vereinzelte Solitäre durch schwaches Stangenholz dominiert. Der Bestand BPVI stellt größtenteils eine Verjüngungsfläche dar, die nur wenige Jahre vor den Aufnahmen fast völlig abgebrannt ist. Aktuelle Nutzungsspuren konnten anhand von frischen Baumstümpfen identifiziert werden (*s. of u.*), wohingegen länger zurückliegende, ehemalige Nutzung (*s. of p. l.*) anhand von alten, oft schon stark vermoderten Stümpfen (offensichtlich noch aus Zeiten des Sozialismus) identifiziert werden konnte. Ich habe die Entnahme im Rahmen der Durchforstungen an dieser Stelle zunächst nur als relative Stammzahlentnahme angegeben (Altansumber) bzw. auf Basis der 2011 nachträglich identifizierten frischen Baumstümpfe geschätzt (Bugant). Für detailliertere Ergebnisse bezüglich der Eingriffe in Altansumber siehe Kapitel V.

**Tabelle 1.2.2:** Überblick über die Flächen im Forschungsgebiet Altansumber und die relative Anzahl der entnommenen Stämme während der Durchforstung 2009. Durchforstungsflächen (ocker gelb); ehemaliges Weideland (hellgrün); Mischwald mit dunklen Taigakoniferen (dunkelgrün); height a.s.l.=Höhe über NN.; s. of u.=Anzeichen für kürzlich erfolgte Nutzung; s. of p.l.=Anzeichen von ehemaliger Holznutzung; s.f. =Anzeichen von Bodenfeuer; \*= die Flächen BI2 und BI3 hatten bei den Aufnahmen eine Größe von 1550 m<sup>2</sup>.

**Table 1.2.2:** Overview of the plots in the research area Altansumber and relative number of removed stems during the thinnings in 2009. Thinning trials (ocher); former pastureland (lime green); dark conifer mixed forest (dark green); height a.s.l.=height above sealevel;. signs of u.= signs of recent utilization; signs of p.l.=signs of previous logging; s.f. = signs of surface fire; \* = The plots BI2 and BI3 had a size of 1550 m<sup>2</sup> at the time of assessments.

**Таблица 1.2.2 -** Обзор площадей в исследовательском районе Алтансумбер и процентное количество срубленных стволов в процессе выборочной рубки в 2009 году. Площади выборочной рубки (бежевый цвет); Бывшие пастбища (лайм цвет); Темный хвойный смешанный лес (темно-зеленый цвет); height a.s.l. = высота над уровнем моря; signs of u.= признаки использования; signs of p.l.=признаки предыдущего использования леса; s.f. = низовой пожар; \* = Исследованные площади BI2 и BI3 имели при инвентаризации размер 1550 кв.м.

No.	Region	plot ID	height a.s.l.	dominant tree species	indication of previous disturbance impact	exposition	removal (N)	first assessments	re-assessments
1	Altans.	BI1	934	birch	s. of u.; s. f.	north	50,4%	2009	2012
2	Altans.	BI2		birch	s. of u.; s. f.	north	0%	2009	2012 and 2013
3	Altans.	BI3		birch	s. of u.; s. f.	north	18,1%	2009	2012 and 2013
4	Altans.	BI1	966	birch	s. of u.; s. f.	north	50,8%	2009	2012
5	Altans.	BI2		birch	s. of u.; s. f.	north	28,9%	2009	2012
6	Altans.	BI3		birch	s. of u.; s. f.	north	0%	2009	2012
7	Altans.	BIII1	1118	birch/aspens	s. of p. l.; s. f.	northeast	0%	2009	2012
8	Altans.	BIII2		birch/aspens	s. of p. l.; s. f.	northeast	0%	2009	2012
9	Altans.	BIII3		birch/aspens	s. of p. l.; s. f.	northeast	0%	2009	2012
10	Altans.	LI1	911	larch	formerly pasture	northwest	49,2%	2009	2012
11	Altans.	LI2		larch	formerly pasture	northwest	23,7%	2009	2012
12	Altans.	LI3		larch	formerly pasture	northwest	0%	2009	2012
13	Altans.	LI1	976	larch	s. of p. l.; s. f.	northwest	20,1%	2009	2012
14	Altans.	LI2		larch	s. of p. l.; s. f.	northwest	0%	2009	2012
15	Altans.	LI3		larch	s. of p. l.; s. f.	northwest	9,6%	2009	2012
16	Altans.	LIII1	913	larch	s. of p. l.; s. f.	north	0%	2009	2012
17	Altans.	LIII2		larch	s. of p. l.; s. f.	north	0%	2009	2012
18	Altans.	LIII3		larch	s. of p. l.; s. f.	north	0%	2009	2012
19	Altans.	PS 1	1590	larch/stone pine/spruce	dark conifer mixed forest; signs of u.	(plateau)	0%	2009	2013



**Tabelle 1.2.3:** Überblick über die Flächen im Forschungsgebiet Bugant und die relative Anzahl der entnommenen Stämme während der Durchforstung 2009. Durchforstungsflächen (ocker); weitestgehend abgebrannte Regenerationsflächen (rot); dunkle Taiga (dunkelgrün); height a.s.l.=Höhe über NN.; signs of u.=Anzeichen für Nutzung; signs of p.l.=Anzeichen von ehemaliger Holznutzung; s.f. =Anzeichen von Bodenfeuer; united plots= vereinte Flächen die eine grösser Fläche formen.

**Table 1.2.3:** Overview of the plots in the research area Bugant and the relative number of removed stems during the thinning in 2009. Thinning trials in ocher; largely burned sites before assessments (red); dark taiga (dark green); height a.s.l.=height above sealevel; signs of u.= signs of utilization; signs of p.l.=signs of previous logging; s.f. = Anzeichen von Bodenfeuer; united plots= plots that form together larger plots.

**Таблица 1.2.3** - Обзор площадей в исследовательском районе Бугант и процентное количество срубленных стволов в процессе выборочной рубки в 2009 году. Площади выборочной рубки (бежевый цвет); в значительной степени сожженные площади с подростом (красный цвет); Темная тайга (темно-зеленый цвет); height a.s.l = высота над уровнем моря; s. of u.= признаки использования; s. of p.l.=признаки предыдущего использования леса; s.f. = низовой пожар; united plots= объединенные площади.

No.	Region	plot ID	united plots	height a.s.l.	dominant tree species	previous disturbance impact	exposition	assessed removal (approximately from 2009)	first assessments (year)
1	Bugant	BPI1	BPI	915	birch/pine	s. p. l. (pine); s. f.	southwest	20%	2011
2	Bugant	BPI2	BPI		birch/pine	s. of p. l. (pine); s. f.	southwest	30%	2011
3	Bugant	BPI3			birch/pine	s. of p. l. (pine); s. f.	southwest	0%	2011
4	Bugant	AI1		902	aspen	unknown	south	60%	2011
5	Bugant	AI2			aspen	unknown	south	80%	2011
6	Bugant	BPII1	BPII	945	birch/pine	s.of p. l. (pine); s. f.	southwest	0%	2011
7	Bugant	BPII2	BPII		birch/pine	s. of p. l. (pine); s. f.	southwest	0%	2011
8	Bugant	BPII3	BPII		birch/pine	s. of p. l. (pine); s. f.	southwest	0%	2011
9	Bugant	BPIII1	BPIII	932	birch/pine	str. s. of p. l. (pine); s. f.	south	0%	2011
10	Bugant	BPIII2	BPIII		birch/pine	str. s. of p. l. (pine); s. f.	south	0%	2011
11	Bugant	BPIII3	BPIII		birch/pine	str. s. of p. l. (pine); s. f.	south	0%	2011
12	Bugant	BPIV1	BPIV	860	birch/pine	s. of p. l. (pine); s. f.	west	0%	2011
13	Bugant	BPIV2	BPIV		birch/pine	s. of p. l. (pine); s. f.	west	20%	2011
14	Bugant	BPIV3	BPIV		birch/pine	s. of p. l. (pine); s. f.	west	30%	2011
15	Bugant	BPV1	BPV	960	birch/pine	s. of p. l. (pine); s. f.	east	0%	2011
16	Bugant	BPV2	BPV		birch/pine	s. of p. l. (pine); s. f.	east	0%	2011
17	Bugant	BPV3	BPV		birch/pine	s. of p. l. (pine); s. f.	east	0%	2011
18	Bugant	BPVI1	BPVI	930	birch/pine	largely burned before 2009	east	0%	2011
19	Bugant	BPVI2	BPVI		birch/pine	largely burned before 2009	east	0%	2011
20	Bugant	BPVI3	BPVI		birch/pine	largely burned before 2009	east	0%	2011
21	Bugant	PSII		995	fir/stone pine	dark taiga; no signs of any utilization	northeast	0%	2011

## Überblick zu den wichtigsten Konzepten für die Auswertung

Abgesehen vom Aufbau der Versuchsflächen habe ich mit den Kooperationspartnern passende Konzepte und Methoden ausgewählt, um die dargestellten Forschungsfragen beantworten zu können. An dieser Stelle sollen nur kurz die wichtigsten Konzepte und grundlegenden Aspekte der Methoden in Zusammenhang zu den Fragestellungen dargestellt werden. Die eigentliche Beschreibung der relevanten Forschungsmethoden befindet sich mit den Quellenangaben in den jeweiligen Kapiteln mit den Veröffentlichungen.

### *Waldstruktur*

Waldstruktur ist ein wichtiger Indikator für die Beurteilung von Störungen, von ökologischer Stabilität, von Biodiversität und Waldentwicklung (Larsson et al. 2001, Korpel 1995, Naumburg und De Wald 1999, Zirlewagen und Wilpert 2001, Bobiec 2002, Gadow et al. 2012). Konzeptionell kann zwischen nicht-räumlicher Waldstruktur und räumlicher Waldstruktur unterschieden werden (Gadow 2005a, Gadow et al. 2012). Die Waldstruktur gibt Aufschluss über die spezifische Entwicklung eines Waldbestandes und kann daher für eine Reihe von forstlichen Fragestellungen als wichtige Informationsquelle mit herangezogen werden (Gadow 2005a, Gadow et al. 2012). Im Rahmen dieser Arbeit stellt die Erfassung und Beobachtung der Entwicklung der räumlichen und nicht-räumlichen Waldstruktur deshalb eine wichtige Indikationsgröße dar, um Aussagen über die Ökosystemreaktion treffen zu können.

### *Nicht-räumliche Waldstruktur*

Zu den nicht-räumlichen Merkmalen können alle Strukturmerkmale gezählt werden, die keine horizontale oder vertikale Positionierung der Einzelmerkmale eines Baumes berücksichtigen. Zur Quantifizierung können eine Reihe forstlicher Standardmaße, wie zum Beispiel Dichtemaße wie Stammzahl, Grundfläche, Grundflächenmittelstamm oder auch Durchmesserverteilungen (Pretzsch 2002, Gadow 2005a) herangezogen werden.

### *Raumstruktur*

Die horizontale Raumstruktur wird in dieser Arbeit entsprechend dem Konzept von Gadow (2005a) und Gadow et al. (2012) definiert. Die *räumliche Verteilung* der Bäume kann über den Parameter der *Regularität* beschrieben werden. Die Verteilung kann geklumpt (*clumped/irregular*), zufällig (*random*) oder regelmäßig/regulär (*regular*) sein. Die räumliche *Differenzierung* als Gruppenattribut (*differentiation*) kann hoch oder niedrig sein. Mit der

*Dominanz (dominance)* wird die Größendominanz einer Baumart in Relation zu ihren Nachbarn bewertet. Die artenspezifische *Durchmischung (mingling)* bezieht sich auf die Mischung von Baumarten innerhalb eines Bestandes.

Im Rahmen dieser Arbeit spielt vor allem die Analyse der *räumlichen Verteilung* eine wichtige Rolle zur Beurteilung von natürlichen Störungen und Sukzessionsreaktionen des Waldökosystems. Eine erste Studie zur räumlichen Verteilung, Dominanz und Durchmischung von Flächen der hellen Taiga und dunklen Taiga im Forschungsgebiet Khonin Nuga (Taigazone) zeigte unter anderem, dass helle Taigaflächen deutlich häufiger geklumpte Baumverteilungen aufweisen (Gradel und Mühlenberg 2011). Im Rahmen des RForStand-Projektes wurde die Tendenz zur geklumpten Baumverteilung in der hellen Taiga zunächst für das Gebiet Altansumber (Gebirgswaldsteppenzone) sowohl für Lärchen- und Birkenbestände separat bestätigt (siehe Kapitel II) und dann über den Zeitraum von drei Jahren nach den Durchforstungseingriffen beobachtet (siehe Kapitel V). Damit konnte zum erstenmal der Einfluss einer Durchforstung auf die Raumstruktur in der Mongolei analysiert werden.

#### *Analyse von Klima-Wachstumsbeziehungen und Weiserjahren*

Bäume sind an ihren Standort gebunden, daher sind sie vielen örtlichen Einflüssen unausweichlich ausgeliefert. In den gemäßigten und borealen Breiten erfolgt das Wachstum periodisch, angepasst an den Wechsel der Jahreszeiten. Die Wachstumszone des Baumes, das Kambium, bildet Holzzuwachszonen in Form von Jahrringen aus. Das Wachstum von Laub- und Nadelbäumen unterscheidet sich dabei. Nadelgehölze bilden zu Beginn der Vegetationsperiode zunächst überwiegend dünnwandige und weitleumige Tracheiden, welche für den Wasser- und Nährstofftransport verantwortlich sind. Die Ausprägung von Früh- und Spätholz bildet bei den Nadelhölzern eine deutliche Jahrringgrenze. Bei Laubgehölzen lassen sich die Jahrringe dagegen aufgrund der im Jahresverlauf unterschiedlich ausgebildeten Zellarten erkennen. Weitleumige Gefäße (Tracheen) dienen der Wasserleitung. Diese behalten ihre Fähigkeit aber nur für einen relativ kurzen Zeitraum. Tote Fasertypen, die eine englumige, meist dickwandige und faserartig lange Form haben, dienen der Festigung (Knigge und Schulz 1966, Lüttge et al. 2005, Schweingruber 2012). Allgemein wird zwischen ringporigen und zerstreutporigen Laubhölzern unterschieden. Birken zählen zu den zerstreutporigen Laubgehölzen, welche gleichmäßig über den gesamten Jahreszuwachs

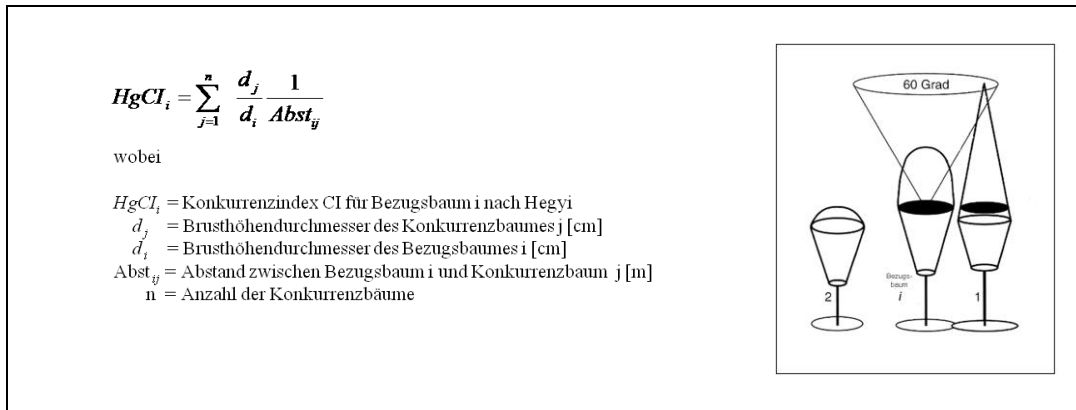
Tracheen einheitlicher Größe ausbilden. Die zum Ende der Vegetationsphase gebildete dünne Schicht aus flachen Festigungszellen ist bei Zerstreuporen als Abgrenzung zwischen Spät- und Frühholz erkennbar. Dabei wird das Wachstum, aufgrund der Beeinflussung der Stoffwechselfvorgänge (z.B. Photosynthese) durch z.B. Klimafaktoren, Standortverhältnisse, Konkurrenz oder bestimmte Störungsfaktoren (z.B. Feuer, Insektenfraß), während der Wachstumszeit unterschiedlich stark beeinflusst. Somit eignen sich Jahrringinformationen als Indikator für bestimmte Umweltbedingungen und ermöglichen es, deren Einflüsse auf das Baumwachstum analysieren zu können. Für die dendrochronologischen Messungen werden hierzu z.B. Baumscheiben oder Teile davon (z.B. Riegel) oder Bohrkern von den jeweiligen Bäumen entnommen, zumeist in Form von Chronologien informativ aufbereitet und je nach Fragestellung und Methodik dendrochronologisch analysiert (Schweingruber 2012, Haensch 2015). Im Rahmen des RForStand-Projektes habe ich die Klima-Wachstums-Beziehungen zunächst über die monatlichen Korrelationen der Residualchronologien mit regionalen Klimadaten analysiert. Weiterhin sind sogenannte Ereignisjahre (*event years*), in welchen ein besonders starker oder schwacher Zuwachs stattfindet, von Interesse. Treten solche Ereignisjahre bei mehreren Bäumen eines Standortes gleichzeitig auf, werden sie als *Weiserjahre (pointer years)* bezeichnet und können Aufschluss über Jahre mit besonders positiven oder negativen Wuchsbedingungen geben (Schweingruber et al. 1990). Die Identifizierung und Analyse dieser Weiserjahre wird in dieser Arbeit ebenfalls als Instrument genutzt, um auf Baumart und Standort bezogen spezifische Aussagen zum Einfluss von Klimafaktoren auf das Baumwachstum ableiten zu können. Da die Vorjahreswitterung einen Einfluss auf den Jahreszuwachs haben kann (Knigge und Schulz 1966), berücksichtigen alle Betrachtungen den Zeitraum von der späten Vegetationsperiode des Vorjahres bis zum Ende der Vegetationsperiode des aktuellen Jahres.

Im Rahmen dieser Arbeit konnten zum ersten Mal Klima-Wachstums-Beziehungen und Weiserjahrenanalysen von Birken auf Standorten aus der Taigazone und der Gebirgswaldsteppenzone der Mongolei veröffentlicht werden (Kapitel III) und mit denen von Lärchen direkt verglichen werden (Kapitel IV).

*Quantifizierung des Durchforstungseinflusses auf Konkurrenz und Wachstum*

Ein Bestand kann als Mosaik von Einzelbäumen betrachtet werden (Pretzsch 2002). Zwischen den Bäumen eines Bestandes gibt es verschiedenartige gestaltete Beziehungen. Dabei stellt die Konkurrenz um verschiedene Ressourcen (z.B. Wasser, Nährstoffe, Licht) eine besonders wichtige Größe dar. Es ist schwierig, die Ressourcenverfügbarkeit des Einzelbaumes zu bestimmen (Pretzsch 2002). Der Konkurrenzeinfluss von benachbarten Bäumen auf Baum  $i$  kann aber über verschiedene Größen, die auch teils miteinander kombiniert werden können, abgeschätzt werden. Dazu zählt der Abstand des Baumes  $i$  zum jeweiligen Baumnachbarn und die relative Größendimension zwischen Baum  $i$  und seinem Nachbarn (Hegyi 1974). Somit ist wiederum die Raumstruktur (Gadow et al. 2012) entscheidend. Die Größe des Baumes kann über den Durchmesser geschätzt werden, der je nach Baumart und Bestandesverhältnissen mit der Baumhöhe und Kronengröße korreliert. Die Kronengröße ist zum einen eine Referenzgröße für potentielle Photosyntheseaktivität, zum anderen kann die Kronenkonkurrenz ein wichtiger Entscheidungsfaktor für das Wachstum und Überleben von Einzelbäumen sein. Die Vor- und Nachteile verschiedener Konkurrenzindices auf Basis von Kronendaten sind ausführlich getestet worden (Münder 2005). Hierbei zeigte sich, dass es ein bewährtes Konzept ist, bei der Konkurrentenauswahl und -beschreibung über einen Baum  $i$  einen ideellen Suchkegel anzusetzen (Pretzsch 1995). In Verbindung mit anderen Informationen (z.B. über das Einzelbaumwachstum aus Jahrringanalysen) kann die Quantifizierung der Konkurrenzbeschreibung dabei helfen, Auskunft über den Einfluss von zielgerichteten Störereignissen (z.B. Durchforstung, selektive Holznutzung) auf die Reaktion der verbleibenden Bäume zu geben. Bei ausreichender Replikation kann der Einfluss der Störung auf die Produktivität und die Resilienz eines Bestandes auf ein solches Störereignis abgeschätzt werden. Eine Beschreibung des Einzelbaumwachstums in Abhängigkeit von Nachbarschaftsverhältnissen soll in dieser Arbeit auf der Grundlage der Berechnung des Konkurrenzindex nach Hegyi (1974) erfolgen. Die Konkurrentenauswahl wird dabei auf Basis der Lichtkegelmethode von Pretzsch (1995) und alternativ auf Basis des mittleren Abstandes zum nächsten Nachbarn auf der jeweiligen Fläche erfasst (Abbildung 1.2.7). Die Beurteilung der Beziehungen zu verschiedenen Eingangsgrößen wird dann auf Basis von gemischten linearen Modellen (LMM: *linear mixed effects models*) analysiert. Ein Vorteil des LMM-ansatzes besteht darin, dass sowohl fixe Effekte (z.B. BHD und Konkurrenzindex) als auch zufällige Effekte (Bestand, Versuchsfläche) berücksichtigt werden (Crawley 2007, Zuur et al. 2009). Auf diese Weise und in Verbindung mit den Wachstumsdaten von Einzelbäumen, wird

zum ersten Mal eine konkrete wissenschaftliche Bewertung zum Einfluss einer Konkurrenzreduktion auf das Einzelbaumwachstum von Birke und Lärche in der Mongolei möglich (siehe Kapitel V).



**Abbildung 1.2.7:** links: Der Konkurrenzindex nach Hegyi basiert auf einer horizontalen Konkurrenzbeschreibung über ein distanzgewogenes BHD-Verhältnisse (Hegyi 1974, Gadow 2005a). Rechts: Die Lichtkegelmethode (vereinfacht nach Pretzsch 2002) berücksichtigt die vertikale Ebene und eignet sich hervorragend zur Auswahl von Konkurrenten.

**Figure 1.2.7:** Left: Hegyi's competition index is based on a horizontal description of competition with distance-weighted DBH-ratios (Hegyi 1974, Gadow 2005a). Right: The cone method (simplified according to Pretzsch 2002) takes into account the vertical level and is ideal for selecting competitors.

**Рисунок 1.2.7** - Слева: индекс конкуренции по Hegyi основан на горизонтальном описании конкуренции по коэффициентам диаметра и по оценке расстояния (Hegyi 1974, Gadow 2005a). Справа: метод конуса (упрощенный в соответствии с Pretzsch 2002) учитывает вертикальное положение и идеально подходит для отбора конкурентов.

## KAPITEL II

### SPATIAL DISTRIBUTION OF TREES ON LIGHT TAIGA PLOTS BEFORE SELECTIVE THINNING

---

Published in:

Mongolian Journal of Agricultural Sciences 15: 91-99

Alexander Gradel<sup>1,3</sup>, Ochirragchaa Nadaldorj<sup>2</sup>, Aleksandr A. Altaev<sup>3</sup>, Aleksandr A. Voinkov<sup>3</sup>,  
Enkhtuya Bazarradnaa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Silviculture and Forest Ecology of the Temperate Zones, University of Goettingen, Buesgenweg  
1, 37077 Goettingen, Germany

<sup>2</sup>School of Agroecology and Business, Institute of Plant and Agricultural Sciences, Mongolian University of Life  
Sciences, P.O. Box 904, University St. , Darkhan, 45047 Darkhan-Uul, Mongolia

<sup>3</sup>Chair of Silviculture and Forest Management, Buryat State Academy of Agriculture, Pushkin St. 8, 670034  
Ulan-Ude, Russia

Die Veröffentlichung ist hier um die deutsche und russische Übersetzungen des Titels und der  
Zusammenfassung erweitert.

**Spatial distribution of trees on light taiga plots before selective thinning****ABSTRACT**

Since 2009 the School of Agroecology and Business, Institute of Plant and Agricultural Sciences of the Mongolian University of Life Sciences in Darkhan has established research plots in two research areas in the Selenge aimag. The establishment was conducted in close cooperation with development organisations (FAO, GIZ) and the University of Goettingen. The purpose of the research initiative is to combine capacity development and monitoring of forest structure in the mountain forest steppe zone and taiga zone. Here we report results on the horizontal spatial structure of forest stands. We analysed the spatial distribution of trees on birch and larch plots of the research area «Altansumber» before a selective thinning took place of some plots in 2009. The research area is situated in the mountain forest steppe zone. The forests belong to the light taiga. The selected stands approach a chronosequence. The results showed that the tree distributions were mainly irregular («clumped»). Random spatial tree distribution occurred especially in the medium-aged birch stand. We found no indication of regular tree distributions in any of the plots. We assume that the disturbance regime and successional processes are the driving factors leading to the specific tree distribution pattern on the plots. Due to different regeneration strategies and life span of the dominating species the birch stands and the larch stands seem to differ slightly concerning the chronological occurrence of clumped and random spatial tree distribution. We finally conclude that a better control of the disturbance regime would not only support an undisturbed forest succession to riper forest stands but also result in less forest stands with irregular spatial distribution. This may also have implications on forest productivity.

**Keywords:** *spatial forest structure, mountain forest steppe, light taiga, disturbance regime*



## Räumlich Verteilung von Bäumen auf Flächen der hellen Taiga vor selektiver Durchforstung

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Fakultät für Agrarökologie und Wirtschaft, Institut für Pflanzen- und Agrarwissenschaften der Mongolischen Universität für Lebenswissenschaften in Darchan hat seit 2009 Forschungsflächen in zwei Forschungsgebieten im Selenge aimag eingerichtet. Die Einrichtung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit Entwicklungsorganisationen (FAO, GIZ) und der Universität Göttingen. Ziel dieser Forschungsinitiative ist es Capacity Development mit Waldstrukturmonitoring in der Gebirgswaldsteppenzone und der Taigazone zu verbinden. Hier berichten wir über Ergebnisse zur horizontalen Raumstruktur der Waldbestände. Wir analysierten die räumliche Verteilung der Bäume auf Birken- und Lärchenflächen des Forschungsgebietes «Altansumber», bevor im Jahr 2009 auf einigen Flächen eine selektive Durchforstung stattfand. Das Forschungsgebiet liegt in der Gebirgswaldsteppenzone. Die Wälder werden zur hellen Taiga gezählt. Die ausgewählten Bestände entsprechen einer Chronosequenz. Die Ergebnisse zeigten, dass die Baumverteilungen hauptsächlich unregelmäßig ("geklumpt") waren. Eine zufällige räumliche Baumverteilung trat vor allem in mittelalten Birkenbeständen auf. Wir fanden keine Anzeichen auf regelmäßige Baumverteilungen auf den Flächen. Wir gehen davon aus, dass das Störungsregime und die Sukzessionsprozesse die treibenden Faktoren sind, die zu den spezifischen Baumverteilungsmustern auf den Flächen führen. Aufgrund unterschiedlicher Regenerationsstrategien und Lebensdauer der dominierenden Arten scheinen sich die Birken- und die Lärchenbestände bezüglich des chronologischen Auftretens von geklumpter und zufälliger räumlicher Baumverteilung zu unterscheiden. Wir schlussfolgern schließlich, dass eine bessere Kontrolle des Störungsregimes nicht nur eine ungestörte Waldsukzession zu reiferen Waldbeständen unterstützen würde, sondern auch zu weniger Beständen mit unregelmäßiger räumlicher Verteilung führen würde. Dies könnte auch Auswirkungen auf die Produktivität der Wälder haben.

*Schlüsselwörter:* räumliche Waldstruktur, Gebirgswaldsteppe, helle Taiga, Störungsregime

## Пространственное размещение деревьев на исследуемых площадях светлой тайги до выборочного прореживания

### РЕЗЮМЕ

В 2009 году Факультет агроэкологии и экономики Института растениеводства и сельскохозяйственных наук Монгольского университета естественных наук в Дархане заложил исследовательские площади в двух исследовательских районах в аймаке Селенге. Создание было проведено в тесном сотрудничестве с организациями в рамках помощи развивающимся странам (ФАО, GIZ) и Геттингенским университетом. Целью исследовательской деятельности является связать развитие компетенций участников с мониторингом структуры лесов в горной лесостепной зоне и таежной зоне. Здесь мы приводим результаты горизонтальной пространственной структуры лесных древостоев. Мы проанализировали пространственное размещение деревьев на березовых и лиственничных площадях исследовательского района «Алтансумбер» до выборочного прореживания некоторых площадях в 2009 году. Исследовательский район расположен в горной лесостепной зоне. Леса относятся к светлой тайге. Выбранные древостои соответствуют хронологической последовательности. Результаты показали, что размещение деревьев было в основном агрегированным («групповым»). Случайное пространственное размещение деревьев было отмечено в основном в средневозрастном березовом древостое. Мы не обнаружили признаков регулярного размещения деревьев на исследуемых площадях. Мы предполагаем, что режим воздействий и процессы сукцессии являются движущими факторами, приводящими к определенной схеме размещения деревьев на площадях. На основании различных стратегий регенерации и продолжительности жизни доминирующих видов мы можем утверждать, что березовые и лиственничные древостои отличаются относительно хронологического появления агрегированного и случайного пространственного размещения деревьев. Мы пришли к выводу, что улучшение контроля режима воздействий не только поддерживает сукцессию леса к спелым древостоям, но и приведет к меньшему количеству древостоев с агрегированным размещением деревьев. Это может также иметь последствия для продуктивности лесов.

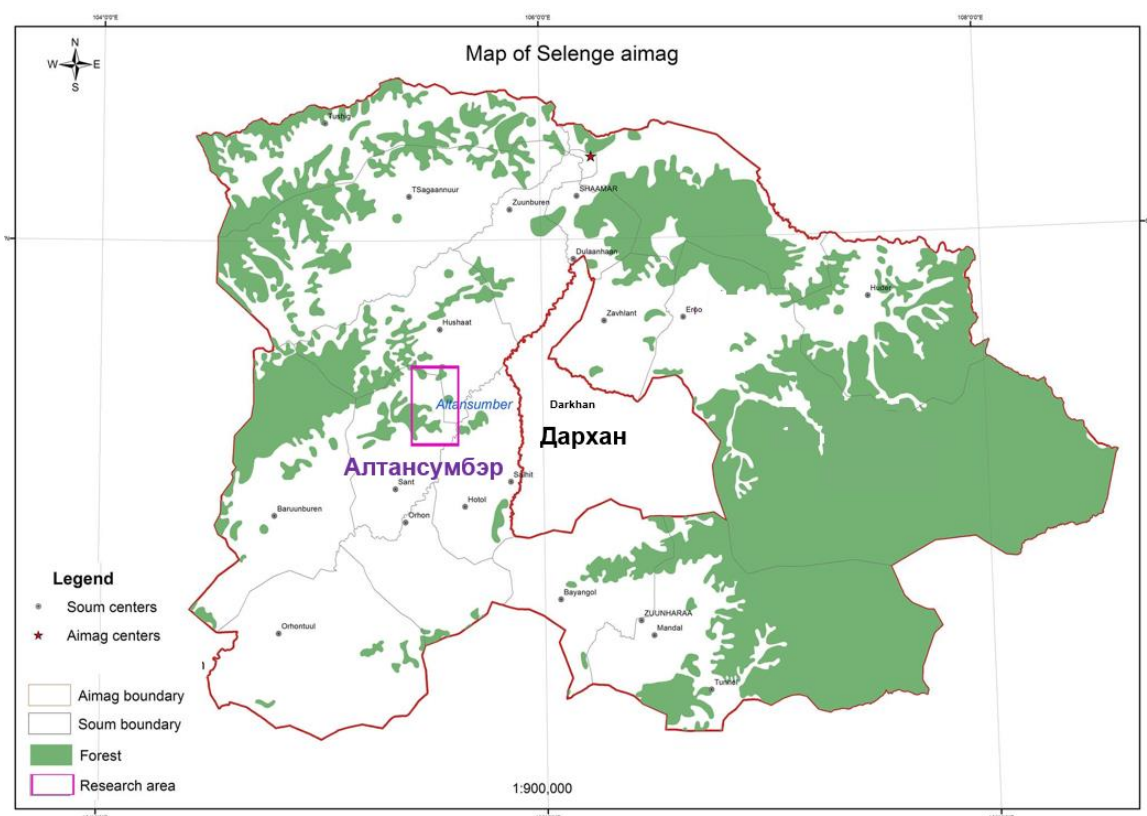
**Ключевые слова:** *пространственная структура леса, горная лесостепь, светлая тайга, режим воздействия*

## INTRODUCTION

Forest structure is considered to be an indicator of stand development phase, biodiversity, ecological stability, competition processes and overall functioning of forest ecosystems (Korpel 1995, Naumburg & De Wald, 1999; Zirlwagen & Wilpert, 2001; Bobiec, 2002). Moreover, measures of forest structure are useful indicators of naturalness (Winter 2012, Winter et al. 2015) and management impact (Schall & Ammer 2013). Forest structure can be divided into non-spatial and spatial structure. Non-spatial structure refers to common measures like stem number, basal area or the relative frequencies of species. Horizontal spatial structure refers to the spatial distribution of tree attributes and can be divided into dominance (in relation to neighboring trees) and species mingling. Finally, the spatial distribution (synonymous with spatial positioning) of trees may be irregular (also referred to as «clumped»), random or regular (Gadow & Hui 2002; Gradel & Muehlenberg 2011). There are only few studies that deal with spatial forest structure in near-natural boreal forests. Only recently research on spatial forest structure has been started in Mongolia. The forests of northern Mongolia largely belong to the mountain forest steppe zone and taiga zone (Dulamsuren 2004). Most forests are dominated by the so-called light taiga (Muehlenberg et al. 2012): *Betula platyphylla*, *Pinus sylvestris*, *Larix sp.*

Many accessible forest stands close to settlements have recently become degraded in terms of age structure and species composition. For example, the relative fraction of birch, which is an indicator of recent disturbances, increased around settlements, like the wood logger village Tunkhel. Because of forest loss and degradation different monitoring approaches are necessary in Mongolia. Permanent research plots are one component of a comprehensive forest monitoring. Repeated inventories in such plots allow the detailed monitoring and evaluation of the effects of a certain treatment, as for example thinnings.

In 2009, the School of Agroecology and Business, Institute of Plant and Agricultural Sciences of the Mongolian University of Life Sciences (MUL) in Darkhan established in close cooperation with international partners (FAO, University of Goettingen) research plots in the research area of Altansumber (Градел и др. 2015; Gradel et al. 2015<sup>2</sup>). The area represents typical mountain forest steppe of the western Selenge aimag. In our study the horizontal spatial structure, specifically the spatial distribution of trees on the plots before a thinning took place in 2009 were analyzed. Based on a pilot study in the eastern part of the Selenge aimag around the research station Khonin Nuga (see Muehlenberg et al. 2004), we assume that the original spatial distribution of the trees in the research area of Altansumber is predominantly irregular (Gradel & Muehlenberg 2011).



**Figure 1:** The research area (RA) Altansumber (mountain forest steppe zone) about 32 km areal distance to the west of Darkhan and 30 km to the north of Sant (soum center); (map: Institute of Geography-Geoecology, MAS, Ulaanbaatar).

## MATERIALS AND METHODS

### *Plot establishment in the research area Altansumber*

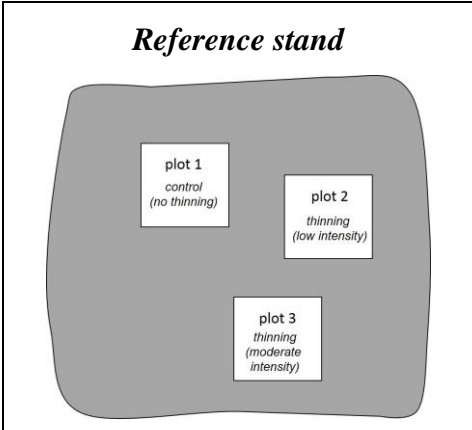
In 2009 research plots were established in the framework of international cooperation (FAO-project: GCP/MON/002/NET). According to the focus and guidelines of the FAO-project (Output No. 5) the plot establishment was concentrated on the area of one forest user group (FUG Altansumber) and involved different stakeholders and players: FUG-members, students of the MUL Darkhan, FAO-office Darkhan, German Development Service (DED, today GIZ) and staff of the responsible environmental office (Gradel 2010).

The research area Altansumber is situated about 32 km to the west of the town Darkhan (figure 1; N: 49°29'07.29''; E: 105°31'30.36''). The northern slopes of the mountain forest steppe are dominated

by birch (*Betula platyphylla*) and larch (*Larix sibirica*). All forest stands are affected by fire and most of them also by small scale logging activities. The area is inhabited by traditional Mongolian nomads that largely rely on livestock raising. They have recently united to the forest user group (FUG) Altansumber (Gradel 2010, FAO 2014, Gradel & Petrov 2014). The plot establishment was based on the concept of reference stand and reference plot (Petri & Michel 1959; Gadow et al. 2000). The concept of reference stands with a core area (reference plot) that is representative for the respective stand is especially applicable for regions that aim at continuous cover forestry management. The monitoring aspect is a main benefit of this concept. The reference stand should have a minimum size of 2 hectares (Gadow et al. 2000). The reference plot should have

a rectangular shape. The common shape is 2500 m<sup>2</sup> (Gradel & Muehlenberg 2011). The stand selection was based on the following criteria: typical for the region, accessibility and intended utilization. The selected stands approach chronosequences (young to middle-aged). All stands are classified as *Larix sibirica-Betula platyphylla* forest (Muehlenberg et al. 2004), which means that the selected stands in the RA Altansumber are either dominated by birch or larch trees. In every selected stand three plots were established on representative sites based on expert judgement. The plot design is in accordance with Pretzsch (2002), Андреева et al. (2002), Gradel & Muehlenberg (2011) which means that standard stand attributes can be calculated from the plots. The following data has

been collected: species, diameter size and stem coordinates (x and y within the plot) of every living tree with a minimum diameter at breast height (DBH) of 7cm. A sufficient number of tree heights of the main tree species was measured in each stand. After the first assessment some plots in the stands BI, BII, LI and LII became subject to selective thinning. See figure 2 for the theoretical design of the concept of reference stands and reference plots (including thinning trials) in the RA Altansumber. For our analysis only living trees at the time before the thinning activities were considered. See table 1 for an overview of the selected reference stands. For details of each plot see Градел и др. (2015) and Gradel et al. (2015)<sup>2</sup>.

		Purpose	Assessment
 <p><b>Reference stand</b></p>	<b>Reference plot</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- orientation for impacts</li> <li>- utilisation planning</li> <li>- detailed monitoring of forest dynamics</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tree species</li> <li>- tree positions</li> <li>- DBH, height</li> <li>- regeneration inventory</li> </ul>
	<b>Reference stand</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- education</li> <li>- view object</li> <li>- silvicultural concepts (e.g. evaluation of thinning impact)</li> </ul>	(an inventory of the reference stand is not necessary)

**Figure 2:** Theoretical design, purpose and assessment of the reference plots in the RA Altansumber (Gradel 2010 based on Gadow et al. 2000). Detailed forest structure was only assessed in the reference plots (species, tree positions, DBH, height).

**Table 1:** Background information of the selected light taiga stands in the mountain forest steppe of Altansumber (Градел и др. 2015, Gradel et al. 2015<sup>2</sup>).

reference stand	height above sealevel	exposition	N (plots)	plot size (m <sup>2</sup> ) 2009	indication of disturbances	year of assessment	N (stems/ha)	basal area/ha	diameter (Ø)
BI*	934	N	3	2500 (1550)	s.f.	2009	1144-1368	8.70-14.66	9.4-11.8
BII	966	N	3	2500	s.f.	2009	984-1188	17.29-17.90	13.3-14.0
BIII	1118	NE	3	2500	s.f., s.p.l.	2012	324-612	22.12-29.78	20.6-26.9
LI	911	NW	3	2500	s.f.	2009	1136-1528	13.51-16.71	10.2-12.0
LII	976	NW	3	2500	s.f., s.p.l.	2009	416-656	21.64-24.88	20.8-24.9
LIII	913	N	3	2500	s.f., s.p.l.	2009	188-268	16.91-17.96	28.4-33.3

\*The plots BI2 and BI3 were enlarged to 2500 m<sup>2</sup> only in 2013. Here the original plot data from 2009 is analyzed.

**Abbreviations table 2:** L: larch stands (L.LII:LIII: 85-100%); B: birch stands (BI, BII: 92.5-100% birch, BIII: a mixed birch stand) ; I: forest stand with relatively small diameters (young stand); II: forest stand with relatively medium diameters (young to middle-aged stand); III: forest stand with relatively large diameters (middle-aged (LIII), middle-aged to old stand (BIII)); s.f.: signs of fire impact; s.p.l.: signs of previous logging (stumps).

#### **Characterization of the spatial tree distribution on the plots via L-functions**

Recorded tree positions on a plot can be considered as point process. A common tool for analysing such point processes is Ripley's K-function  $K(r)$ . The cumulative K-function  $K(r)$  is defined as the expected number of points within a given distance  $r$  of an arbitrary point of the pattern, divided by the intensity  $\lambda$  of points of the pattern (Wiegand 2004). The K-function allows to determine if the trees in the study area appear to be regular, irregular, or randomly distributed. The characterization of the spatial tree distribution pattern is based on testing the hypothesis of complete spatial randomness (CSR). The CSR assumes that the tree distribution follows a homogenous Poisson process across the whole distance (Stoyan & Stoyan, 1994; Corral Rivas et al., 2006). It can be difficult to interpret  $K(r)$  visually (Wiegand 2004). We therefore used the square-root transformation of the univariate K-function, the univariate L-function  $L(r)$ , also referred to as  $L_{11}$  (Besag 1977; Ripley 1981, Pretzsch 2002; Wiegand 2004; Wiegand & Moloney

2004) that makes the  $K(r)$  linear and stabilizes its variance (Moeur 1993, Lingua et al. 2008). See formula 1.

$$L(r) = \sqrt{\frac{K(r)}{\pi}} - r \quad (1)$$

The pattern is defined as irregular («clumped») if the values of the original function at the distance  $r$  are greater than the values of the confidence envelope. The pattern is defined as regular if the values of the original function at the distance  $r$  are lower than the values of the confidence envelope. A random pattern is indicated if the values of the original function are located within the range of the confidence envelope. The 95% confidence envelope was constructed using the Monte Carlo method (see Stoyan & Stoyan, 1994). 999 simulations have been computed for deriving critical values for  $\alpha=0.05$  for each data set.

Based on a previous study of light taiga stands in the western Khentey Mountains (Gradel & Muehlenberg 2011) we assume that the original spatial tree positioning of the plots is predominantly irregular («clumped») with  $r_{max.} = 14$  m. The analyses were conducted using Excel 2007 (Microsoft Corp.) and the Programita software (Wiegand 2004; Wiegand & Moloney 2004).

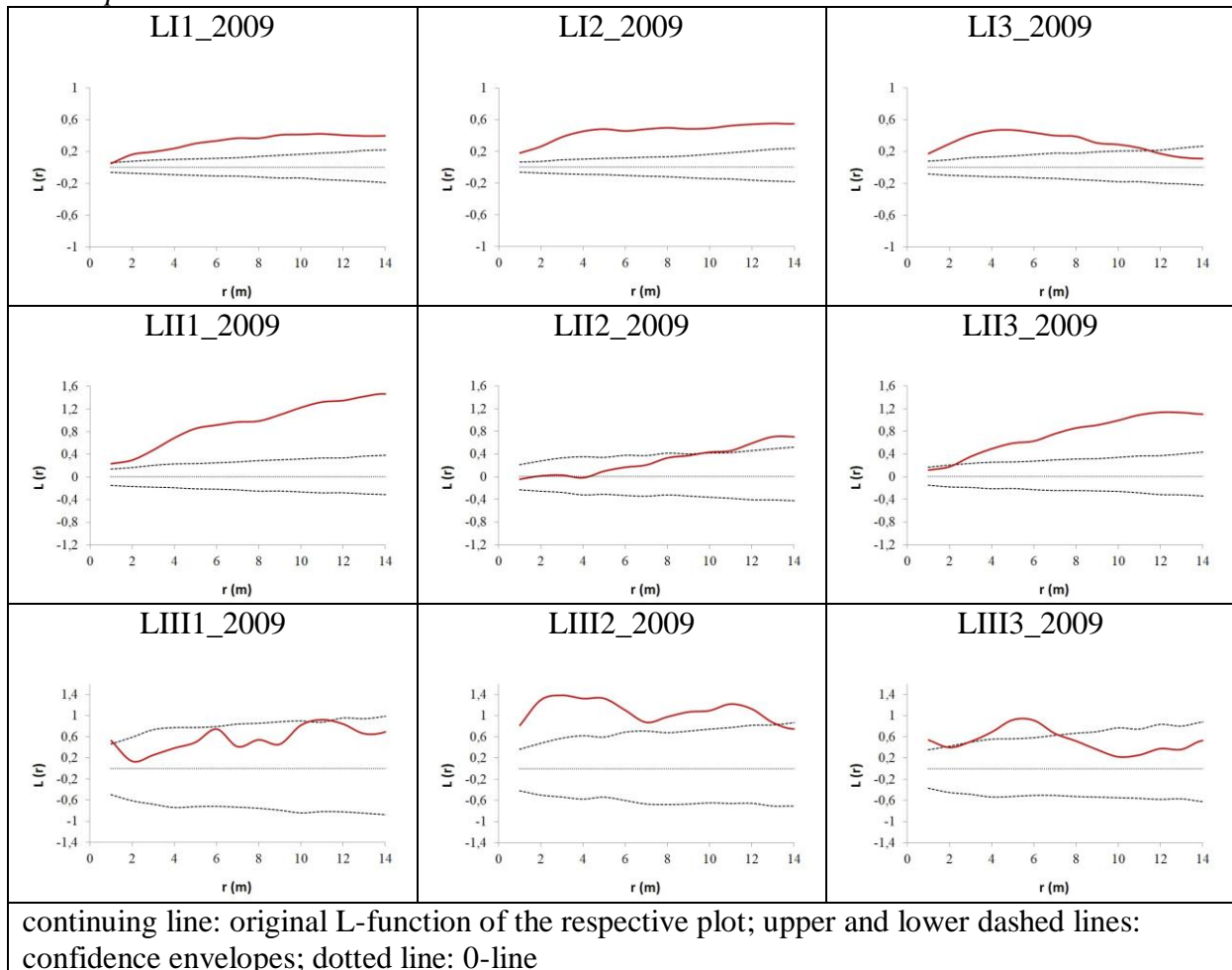
RESULTS

the birch stand BIII was predominantly irregular.

The  $L_{II}$ -functions of the reference plots in the selected larch stands are presented in figure 3. Apart from LII2 and LIII1 all larch plots exhibited a predominantly irregular («clumped») tree distribution pattern until  $r=7$  m and in most cases even up to  $r=14$  m.

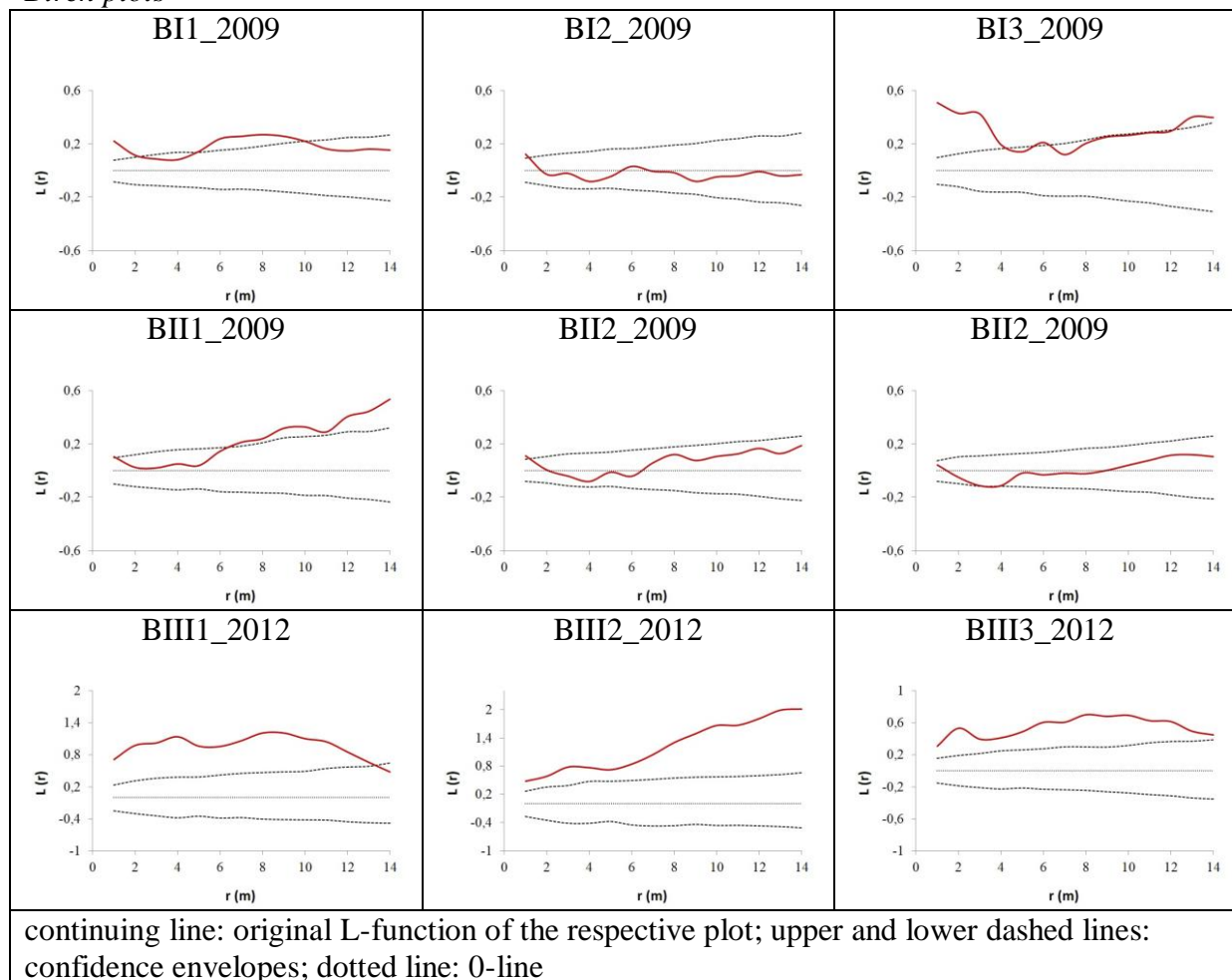
The results of the birch plots are presented in figure 4. In the birch stand which was characterised by lower tree diameters (BI) the tree distribution of two of the three plots was predominantly irregular. In contrast, on the plots with a higher mean diameter (BII) the tree distribution was random until  $r=7$ m. The tree distribution of

*Larch plots*



continuing line: original  $L$ -function of the respective plot; upper and lower dashed lines: confidence envelopes; dotted line: 0-line

**Figure 3:**  $L_{II}$ -functions of the reference plots in the selected larch reference stands (research area Altansumber).

*Birch plots*

**Figure 4:**  $L_{11}$ -functions of the reference plots in the selected birch reference stands (research area Altansumber).

## DISCUSSION

It was shown that the spatial distribution of trees was, as expected, predominantly irregular. This is especially true for the forest stand LI and partly also the stand BI, which consist almost completely of trees with small diameters. These stands are very young. Regeneration often occurs clumped because of ground layer structure (Zagidullina & Tikhodeyeva 2006). This explains the clumped distribution pattern of young stands. Density and distribution of trees change during the process of forest succession (Бузыкии и др. 1985). Random tree distribution appeared more often in forest stands with medium diameter (especially BII). It seems as if with continuing succession the

competition processes increasingly control growth and tree survival and thus tree distribution. Single trees are outcompeted by neighbouring trees and die, the horizontal structure becomes less clumped. If these processes continue the tree distribution evolves towards a more random pattern. Consistently random tree distributions can be found in gap-driven forest ecosystems; in Mongolia for example in the dark taiga old growth forests of the Khentey Mountains (Gradel & Muehlenberg 2011). Several studies also showed predominantly random tree distributions in near-natural European mountain spruce forests, e.g. in a study of the Orlické hory in the Czech Republic



(Hofmeister et al. 2008). Depending on site conditions and development phase, the spatial positioning of near-natural spruce forests was often found to be random or clumped (Gradel et al. 2014). Forest dynamics of the mountain forest steppe, however, is driven by another disturbance regime. Frequent anthropogenic, abiotic and biotic desynchronising disturbances (Бузыкии и др. 1985), more specifically repeated interruptions by irregular disturbance events (especially fire and unplanned selective logging) influence the remaining forest structure and sometimes stimulate forest succession. This may be one reason, why in the RA Altansumber the spatial tree distribution on the plots of the birch stand with the highest average diameter (BIII) and also highest diameter variability (Градел и др. 2015, Gradel et al. 2015<sup>2</sup>) was found to be predominantly clumped as well. The root stock sprouting of birch and aspen after disturbances can be a cause for a clumped tree distribution. After disturbance events riper birch forests will, due to their specific regeneration capacities and intensive succession response, faster exhibit clumped tree distribution compared to larch forests. One factor is also the different life span of the two species (birch, short-lived, larch: long-lived), which influences the succession-cycle of the respective forest stands. Because of this the stand BIII is already in a relatively later development phase (regeneration of the next generation) than the stand LIII for example. The high diameter variability also indicates that this forest stand is already in a regeneration phase (Градел и др. 2015, Gradel et al. 2015<sup>2</sup>).

The ground vegetation of many light taiga stands (e.g. LIII) consists of a dense grass layer, which also influences tree positioning during the process of forest succession. The larch stand LIII showed a relatively less clumped horizontal structure when compared

with the stand LI, but here also only one of three plots (LIII1) exhibited a predominantly random distribution. The diameter variability in the stand LIII is relatively low (Градел и др. 2015; Gradel et al. 2015<sup>2</sup>), as this stand is rather even aged. In such larch stands the forest succession is especially facilitated by releasing disturbances (e.g. intensive fires). Of unknown importance are the small scale site conditions. For example, within a sub-alpine altitudinal gradient in the Italian Alps of near-natural forests the spatial positioning was found to be predominantly clumped, especially the tree groups close to the tree line showed more often aggregation when compared to forest sites at lower elevations (Lingua et al. 2008). However, repeated disturbances, which prohibit an undisturbed stand development are the main reason why many light taiga stands are thrown back to an initial stage and exhibit irregular distribution of trees. The reference stands are situated on the territory of the FUG Altansumber. Improved forest protection against fire and illegal logging is the main aim of the Mongolian FUG-concept. Different management impacts can be monitored in the reference stands of the RA Altansumber (e.g. control plot versus thinned plots). Forest structure directly affects competition processes and growth (Gadow et al. 2012). This means it also has influence on stand stability and productivity. The individual growth of trees in a stand also depends on the stand density. A clumped tree distribution may not provide optimal conditions for maximal growth, but may be effective in terms of stand stability. Tactical managed stands often exhibit a regular tree distribution (optimized competition). So far studies of mixed stands show that the optimal structure in terms of growth especially depends on the tree species mixture (Pretzsch et al. 2013).

## CONCLUSION

Our study indicates that the spatial distribution of trees in light taiga stands of the Mongolian mountain forest steppe is predominantly irregular («clumped»). We found no indication of regular tree distributions in any of the plots. Due to different regeneration capacities and life span of the dominating species birch and larch stands seem to differ slightly in the expression and chronological occurrence of clumped and random spatial tree distribution. Random spatial tree distribution occurred especially in the middle-aged birch stand BII. In the mountain forest steppe the disturbance regime (e.g. fire, logging activities etc.) directly influences the forest structure, releases succession processes and drives forest dynamics. We conclude that a better control of the disturbance regime would not only support the succession to riper forest stands but also result in less irregular distributed forest stands which may offer the option to more effective wood production.

## ACKNOWLEDGEMENT

We thank numerous students from Darkhan involved in the establishment and assessment of the research plots. The authors thank the FAO-project „*Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia*” (GCP/MON/002/NET), financed by the government of the Netherlands. We thank the German Academic Exchange Service (DAAD) for financial support for the assessment of the tree coordinates. We thank the forest user group Altansumber. Results of the analysis have been presented on March 26, 2015 in Ulan-Ude at the conference «*Почвы степных и лесостепных экосистем Внутренней Азии и проблемы их рационального использования*». The stay at the Buryat

State Academy of Agriculture of the main author is financed in the framework of the project IAMONET-RU (Coordinator: University of Hohenheim). The authors thank Christian Ammer for his useful comment

## REFERENCES

- Besag J (1977)** Contribution to the discussion of Dr. Ripley's paper. *Journal of the Royal Statistical Society B* 39: 193-195
- Bobiec, A. (2002)** Living stands and deadwood in the Bialowieza forest: suggestions for restoration management. *Forest Ecology and Management* 165: 125-140
- Бузыкии А. И., Гавриков В. Л., Секретенко С О. П. Хлебопрос Р. Г.** Анализ структуры древесных ценозов. Новосибирск: Наука, 1985. С. 93
- Corral-Rivas J Pommerening A, Gadow Kv, Stoyan D (2006)** An analysis of two directional indices for characterizing the spatial distribution of forest trees. In: Corral-Rivas, J., (eds.), 2006: *Models of tree growth and spatial structure for multi-species, uneven-aged forests in Durango (Mexico)*, Cuvillier, Göttingen: 119-134
- Dulamsuren Ch (2004)** Floristische Diversität, Vegetation und Standortbedingungen in der Gebirgstaiga des Westkhentej, Nordmongolei. *Berichte des Forschungszentrum Waldoekosysteme, Reihe A, Bd. 191, Universitaet Goettingen*, 290 p.
- FAO (2014)** Global Environment Facility Project Document. Mainstreaming biodiversity conservation, SFM and carbon sink enhancement into Mongolia's productive forest landscapes (GCP/MON/008/GFF). 205 p.
- Gadow Kv, Staupendahl K, Roschak C (2000)** Zur Anlage, Auswertung und Funktion von Weiserflaechen, Herrn Ltd. MR Dr. H. PETRI zum 80. Geburtstag, Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde, Georg-August-Universitaet, Goettingen, 10 S.

**Gadow Kv, Hui, GY (2002)** Characterizing forest spatial structure and diversity. Proc. of the Conference "Sustainable Forestry in Temperate Regions", organized by SUFOR, University of Lund, Sweden, 7.-9. April: 20-30

**Gadow Kv, Zhang YC, Wehenkel C, Pommerening A, Corral-Rivas J, Korol M, Myklush S, Hui GY, Kiviste A, Zhao XH (2012)** Forest Structure and Diversity. In: Pukkala T, Gadow Kv (eds.): Continuous Cover Forestry, Managing Forest Ecosystems 23, Springer: 29-83

**Gradel A (2010)** Partizipatives Ressourcenmanagement in Waldgebieten der noerdlichen Mongolei - Kooperation mit der Staatlichen Agraruniversität Darchan. Interner Bericht; Deutscher Entwicklungsdienst in Kooperation mit dem UNFAO-project (GCP/MON/002/NET), 18 S.

**Gradel A, Muehlenberg M (2011)** Spatial characteristics of near-natural Mongolian forests at the southern edge of the taiga. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 182 (3/4):40-52

**Gradel A, Petrov W (2014)** Forstpolitische Entwicklungen im Transformationsland Mongolei. AFZ-Der Wald 17: 36-39

**Gradel A, Baumann M, Schoendube A (2014)** Raemliche Waldstruktur in den sächsischen Naturwaldzellen und bewirtschafteten Vergleichsflaechen. Im Rahmen der Forstwissenschaftlichen Tagung 2014: Waelder der Zukunft: Lebensraum, Ressourcenschutz und Rohstoffgewinnung. TU Dresden/Tharandt: 168

**Градел А., Очиррагчаа Н., Алтаев А.А., Воинков А.А., Энхтуяа Б.** Структура лесов в горной лесостепи северной Монголии на примере района исследований «Алтансумбэр». / Почвы степных и лесостепных экосистем Внутренней Азии и проблемы их рационального использования: Материалы международной научно-практической конференции

приуроченной к 90-летию, заслуженного деятеля науки РБ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Ишингенова Ивана Афанасьевича. Улан-Уде. 26 марта 2015. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятской ГСХА им.В.Р.Филиппова – с. 78-85

**Gradel A, Ochirragchaа N, Altaev A A, Voinkov A A, Enkhtuya B (2015)<sup>2</sup>** Capacity development and forest research on the light taiga plots of the School of Agroecology and Business of the Mongolian University of Life Sciences in Darkhan. In: Batsukh N, Erdenesuvd D, Daginnas B (eds): Current environmental issues – approaches and solutions. Proceedings of the 20<sup>th</sup> Anniversary of the Professional Environmental Studies Program, Darkhan-Uul, Mongolia: 44-51

**Hofmeister S, Svoboda M, Soucek J, Vacek S (2008)** Spatial pattern of Norway spruce and silver fir natural regeneration in uneven-aged mixed forests of northeastern Bohemia. Journal of Forest Science 54(3):92-101

**Korpel S (1995)** Die Urwaelder der Westkarpaten. Gustav Fischer Verlag, 301 S.

**Lingua E, Cherubini P, Motta R, Nola P (2008)** Spatial structure along an altitudinal gradient in the Italian central Alps suggest competition and facilitation among coniferous species. Journal of Vegetation Science 19(3) 425-436

**Muehlenberg M, Hondong H, Dulamsuren Ch, Gadow Kv (2004)** Large-scale biodiversity research in the southern Taiga, Northern Mongolia. In: Szaro RC, Peterson CE, Gadow Kv, Kraeuchi N (eds.): Creating a Legacy for Sustainable Sciencebased Forest Management: lessons learned from field experiments. Forest Snow and Landscape Research. Swiss Federal Research Institute WSL. Vol. 78, Issue1/2: 93-118

**Muehlenberg M, Appelfelder J, Hoffmann H, Ayush E, Wilson KJ (2012)** Structure of the montane taiga forest of West Khentii, Northern Mongolia. Journal of Forest Science 58(2): 45-56

- Moeur M (1993)** Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data. *Forest Science* 39: 756-775
- Naumburg E, DeWald L (1999)** Relationships between *Pinus ponderosa* forest structure, light characteristics, and understorey graminoid species presence and abundance. *Forest Ecology and Management* 124: 205-215
- Petri H, Michel G (1959)** Die Weiserflaechen des Forsteinrichtungsamtes Koblenz – Entstehung, Entwicklung und Zweck sowie vorläufige Richtlinien zur Aufnahme, Bearbeitung und weiteren Kontrolle. *Mitteilungen aus dem Forsteinrichtungsamt Koblenz Nr. 8*: 116 S.
- Pretzsch H (2002)** Grundlagen der Waldwachstumsforschung. Parey Buchverlag, Berlin, 414 S.
- Pretzsch H, Bielak K, Block J, Bruchwald A, Dieler J, Erhardt HP, Kohnle U, Nagel J, Spellmann H, Zasada M, Zingg A (2013)** Productivity of mixed versus pure stands of oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl. and *Quercus robur* L.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) along an ecological gradient. *European Journal of Forest Research* 132/2: 263-28
- Ripley BD (1981)** Spatial statistics. Wiley, 252 p.
- Schall P, Ammer C (2013)** How to quantify forest management intensity in Central European Forests. *European Journal of Forest Research* 132: 379-396
- Stoyan, D, Stoyan, H., 1994:** Fractals, Random Shapes and Point fields. Wiley, Chichester, 389 p.
- Wiegand T (2004)** Introduction to Point Pattern Analysis with Ripley's L and the O-ring statistic using the Programita software. 8.03. 2004, 166 p.
- Wiegand T, Moloney KA (2004)** Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos* 104(2): 209-229
- Winter S (2012)** Forest naturalness assessment as a component of biodiversity monitoring and conservation management. *Forestry*: 85(2): 293-304
- Winter M-B, Ammer C, Baier R, Donato D C, Seibold S, Müller J (2015)** Multi-taxon alpha diversity following bark beetle disturbance: evaluating multi-decade persistence of a diverse early-seral phase. *Forest Ecology and Management* 338: 32-45
- Zagidullina A, and Tikhodeyeva (2006)** Spatial patterns of tree regeneration and ground cover in dry Scots pine forest in Russian Karelia. *Ecoscience* 13 (2): 203 – 218
- Zirlewagen D, Wilpert K (2001)** Modelling water and ion fluxes in a highly structured, mixed species stand. *Forest Ecology and Management* 143: 27

## KAPITEL III

### **RESPONSE OF WHITE BIRCH (*BETULA PLATYPHYLLA* SUKACZEV) TO TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN THE MOUNTAIN FOREST STEPPE AND TAIGA OF NORTHERN MONGOLIA**

---

Published in:

Dendrochronologia 41: 24-33.

Alexander Gradel<sup>1,2</sup>, Christina Haensch<sup>3</sup>, Batsaikhan Ganbaatar<sup>4</sup>, Batdorj Dovdondemberel<sup>4</sup>,  
Ochirragchaa Nadaldorj<sup>5</sup>, Björn Günther<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Silviculture and Forest Ecology of the Temperate Zones, Universität Göttingen, Büsgenweg 1,  
37077 Göttingen, Germany

<sup>2</sup>Silviculture, Forest Protection, Hunting in State Forest; Competence Centre for Wood and Forestry, Public  
Enterprise Sachsenforst, Bonnewitzer Strasse 34, 01796 Pirna, OT Graupa, Germany

<sup>3</sup>Institute of Forest Utilization and Forest Technology, Technische Universität Dresden, Postfach 1117, 01735  
Tharandt, Germany

<sup>4</sup>Institute of Geography-Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Post Box-81, Baruun Selbe 15,  
Ulaanbaatar 15170, Mongolia

<sup>5</sup>School of Agroecology and Business, Institute of Plant and Agricultural Sciences, Mongolian University of Life  
Sciences, P.O. Box 904, University St., Darkhan, 45047 Darkhan-Uul, Mongolia

Die Veröffentlichung ist hier um die deutsche und russische Übersetzungen des Titels und der  
Zusammenfassung erweitert.

**Response of white birch (*Betula platyphylla* Sukaczew) to temperature and precipitation  
in the mountain forest steppe and taiga of northern Mongolia**

**Abstract**

The mountain forest steppe and taiga in northern Mongolia have experienced a forest decline in area and quality since the end of the last century. Changes in land use, climate, fire frequency and pest occurrence are considered to be the main drivers of this vegetation shift and desertification. Because this region is the source for major rivers, is home to a unique flora and fauna and represents an important source of timber for Mongolia, the ability of different tree species to respond to these changes and regenerate is of increasing interest. Our contribution focuses on the climate-growth relationship of old and young birch trees from two valleys in the Mongolian province of Selenge Aimag. The research site Bugant, located in the Western Khentey Mountains, was the most important logging centre in Mongolia during socialist times. Today, the vegetation is dominated by succession forests of light taiga. The research site Altansumber, on the border of the Sant and Khushat soum, is dominated by light taiga and mountain forest steppe. Traditional nomads who depend on these forests for different reasons inhabit this area. Wood cores were sampled and chronologies of young and old birch trees at Bugant and Altansumber were created. Climate data were obtained from the Eroo station, which is known in the region for its long and reliable climate record. We analysed the climate-growth relationships of the chronologies from 1962 to 2009. At both sites and in both age classes, correlations with temperature were predominantly negative, particularly in April (Bugant, south- and east-facing slopes) and May (Altansumber, north-facing slopes). Precipitation of the late summer of the previous year (August/September) positively correlated with the growth of birch at Altansumber. We assume that the significant negative correlation between winter precipitation (December/January) and the growth of old birches at both sites is due to positive effects of snow cover on the survival rate of herbivorous insect populations. Our results indicate that during the early vegetation period, younger birch trees are more dependent on water availability than older ones. Negative pointer years were characterized by below-average precipitation during the current summer period and above-average spring temperatures. For the old trees, positive pointer years were characterized by above-average summer precipitation. We conclude that water availability is the most crucial factor for the growth of white birch in northern Mongolia.

**Keywords:** *Birch, Climate-growth relationship, Mongolia, Tree-ring width*

## Reaktion der Asiatischen Weiß-Birke (*Betula platyphylla* Sukaczew) auf Temperatur und Niederschlag in der Gebirgswaldsteppe und Taiga der nördlichen Mongolei

### Zusammenfassung

Die Gebirgswaldsteppe und Taiga in der nördlichen Mongolei haben seit Ende des letzten Jahrhunderts einen Waldrückgang in Fläche und Qualität erlebt. Veränderungen in Bezug auf Landnutzung, Klima, Häufigkeit von Waldbränden und Schädlingen gelten als die Haupttreiber dieser Vegetationsverschiebung und Wüstenbildung. Da diese Region das Quellgebiet für die wichtigsten Flüsse, Heimat einer einzigartigen Flora und Fauna und eine wichtige Holzquelle für die Mongolei darstellt, ist die Fähigkeit der verschiedenen Baumarten, auf diese Veränderungen zu reagieren und sich zu regenerieren, von wachsendem Interesse. Unser Beitrag konzentriert sich auf die Klima-Wachstums-Beziehung von alten und jungen Birken aus zwei Tälern in der mongolischen Provinz Selenge Aimag. Das Forschungsgebiet Bugant, das sich im westlichen Khentigebirge befindet, war zu Zeiten des Sozialismus das wichtigste Holzeinschlagszentrum in der Mongolei. Heute wird die Vegetation von Sukzessionswäldern der hellen Taiga dominiert. Das Forschungsgebiet Altansumber, an der Grenze von Sant und Khushat Soum, wird von heller Taiga und Gebirgswaldsteppe dominiert. Traditionelle Nomaden, die von diesen Wäldern aus verschiedenen Gründen abhängig sind, bewohnen dieses Gebiet. Bohrkern wurden entnommen und Chronologien von jungen und alten Birken aus Bugant und Altansumber wurden erstellt. Klimadaten wurden von der Eroo-Station bezogen, die in der Region für ihre langjährigen und zuverlässigen Klimadaten bekannt ist. Wir analysierten die Klima-Wachstums-Beziehungen der Chronologien von 1962 bis 2009. An beiden Standorten und in beiden Altersklassen waren die Korrelationen mit Temperatur vor allem im April (Bugant-, Süd- und Osthänge) und Mai (Altansumber, Nordhänge) überwiegend negativ. Niederschlag während des Spätsommers des Vorjahres (August / September) korrelierte positiv mit dem Wachstum der Birken in Altansumber. Wir gehen davon aus, dass die signifikante negative Korrelation zwischen Winterniederschlag (Dezember / Januar) und dem Wachstum der alten Birken an beiden Standorten auf positive Auswirkungen der Schneedecke auf die Überlebensrate der pflanzenfressenden Insektenpopulationen zurückzuführen ist. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass zu Beginn der Vegetationsperiode jüngere Birken von der Wasserverfügbarkeit abhängiger sind als ältere. Negative Weiserjahre ließen sich durch unterdurchschnittliche Niederschläge während der aktuellen Sommerperiode und überdurchschnittlichen Frühjahrstemperaturen charakterisieren. Für die alten Bäume ließen sich positive Weiserjahre durch überdurchschnittliche Sommerniederschläge charakterisieren. Wir schlussfolgern, dass die Wasserverfügbarkeit der wichtigste Faktor für das Wachstum der Japanischen Weiß-Birke in der nördlichen Mongolei ist.

**Schlüsselwörter:** Birke, Klima-Wachstumsbeziehungen, Mongolei, Jahrringbreite

## Реакция белой березы (*Betula platyphylla* Sukaczew) на температуру и осадки в горной лесостепи и тайге на севере Монголии / Северной Монголии

### Резюме

С конца прошлого века в горной лесостепи и тайге в северной Монголии наблюдается сокращение площади лесов и снижение качества леса. При этом такие изменения, как землепользование, климат, частота возникновения пожаров и вредители считаются основными движущими силами такого изменения лесной растительности и опустынивания. Поскольку этот регион является источником крупных рек, имеет уникальную флору и фауну и представляет собой важный источник древесины для Монголии, возрастает интерес к способности различных видов деревьев реагировать на эти изменения и восстанавливаться. Наше исследование концентрируется на взаимосвязи климата и роста старых и молодых берез из двух долин в монгольской провинции Селенге Аймаг. Исследовательский район Бугант, расположенный в горах Западный Хентей, был самым важным лесозаготовительным центром Монголии в социалистические времена. Сегодня в растительности преобладают лесные массивы светлой тайги. В исследовательском районе Алтансумбер, на границе Сант-Сум и Хушат-Сум, доминируют светло-таежные и горные лесостепи. Здесь обитают традиционные кочевники, которые зависят от этих лесов по разным причинам. При исследовании были взяты древесные керны и созданы хронологии молодых и старых березовых деревьев в Буганте и Алтансумбер. Климатические данные получены со станции Ероо, которая известна в регионе своими долговременным и надежным метеоданными. Мы проанализировали отношения климата и роста в хронологиях с 1962 по 2009 год. В обоих исследуемых районах и в обоих возрастных классах мы наблюдали корреляцию с температурой, которая была преимущественно отрицательной особенно в апреле (Бугант, юго-восточный склон) и в мае (Алтансумбэр, северный склон). Осадки в конце лета предыдущего года (август / сентябрь) положительно коррелирует с ростом березы в Алтансумбэр. Мы предполагаем, что значительная отрицательная корреляция между зимними осадками (декабрь / январь) и ростом старых берез в обоих районах обусловлена положительным влиянием снежного покрова на выживаемость популяций растительоядных насекомых. Наши результаты показывают, что в ранний вегетационный период более молодые березы в большей степени зависят от наличия воды, чем старые. Экстремальные годы со слабым ростом берез характеризовались осадками ниже среднего уровня в течение текущего летнего периода и весенними температурами выше среднего уровня. Для старых деревьев экстремальные годы с сильным ростом характеризовались количеством летних осадков выше среднего уровня. Мы пришли к выводу, что доступность воды является наиболее важным фактором роста березы в северной Монголии.

**Ключевые слова:** Береза, отношение между климатом и ростом, Монголия, ширина годичного кольца.



### ***Introduction***

Northern Mongolia is the transition zone between the Siberian taiga and the inner Asian steppes, a transition that takes place over several hundred kilometers from north to south (Walter, 1974). During winter, the climate is dominated by the Asiatic anticyclone. During summer, warm air masses from the south flow into northern Mongolia, resulting in the formation of cyclones when they encounter cold air from Siberia (Dulamsuren and Hauck, 2008). The majority (85-94%) of the annual precipitation falls as rain during the vegetation period. The mean annual temperature in Mongolia increased by 2.14°C over the last 70 years, which is higher than the global average temperature rise. Precipitation has decreased in most regions by at least 0.1 mm/year (Oyuntuya et al., 2015), and a further decrease is expected for northern Mongolia and the Khentey Mountains (Sato et al., 2007).

Current changes in climate, land use, fire frequency and pest occurrence are considered to be the main drivers of the vegetation shift in northern Mongolia. During the last decades, many forest sites became replaced by steppe vegetation and the species composition of the remaining forests changed in favor of pioneer tree species. Therefore, investigation of the response and regeneration capabilities of different tree species is of increasing interest. Studies of climate effects on the growth performance of tree species have mostly concentrated on *Larix sibirica* Ledeb. (Dulamsuren et al., 2011; Slemnev et al. 2012; Khishigjargal et al., 2014; James, 2011), *Pinus sylvestris* L. and *Pinus sibirica* Du Tour (De Grandpre et al., 2011), and to a lesser extent on *Picea obovata* Ledeb. (James, 2011). These studies have predominantly revealed negative relationships between climate warming and tree growth. Climate-growth relationships may also be useful for forecasts of species-specific distribution patterns and forest productivity.

White birch, also known as Manchurian birch, Siberian silver birch or Japanese or Asian white birch (*Betula platyphylla* Sukaczew), is one of the most common tree species in the Mongolian mountain forest steppe and taiga. It is drought-sensitive, frost-resistant and able to grow well under different environmental conditions (Puhua, 2003). *B. platyphylla* is of economic value and can reach up to 27 m in height, live for 120 - 140 years and is closely related to *B. pendula* Roth (Zyryanova et al., 2010; Puhua, 2003). It is a characteristic species in habitat types of the light taiga (Mühlenberg et al., 2004). In Mongolia, birch occurs frequently as a main species in pure and mixed stands with Siberian larch (*L. sibirica*) and Scots pine (*P. sylvestris*). It is also one of the pioneer species, which forms some of the southernmost forest outposts in Mongolia, such as in the Hustai National Park. In northern

Mongolian forests, it dominates after disturbances such as fires and clear-cutting due to its sprouting capability (Otoda et al., 2013).

Because of its importance as both a main tree species and a pioneer species, white birch is relevant for maintaining a continuous forest cover in the region. Mongolia has a high rate of forest loss and degradation (Hansen et al., 2013). It is therefore important to identify the climatic factors that drive the growth of white birch in the region and to consider potential site-specific effects (e.g. topography). To this end, we collected wood cores of white birch on recently established research plots in the Selenge Aimag. The core collection and the assessment of the forest structure on the plots were conducted within the framework of an international cooperation for capacity development and comprehensive forest monitoring (Gradel et al., 2012). Our contribution focuses on the relationship between regional climate factors and the radial growth response of younger and older birch trees.

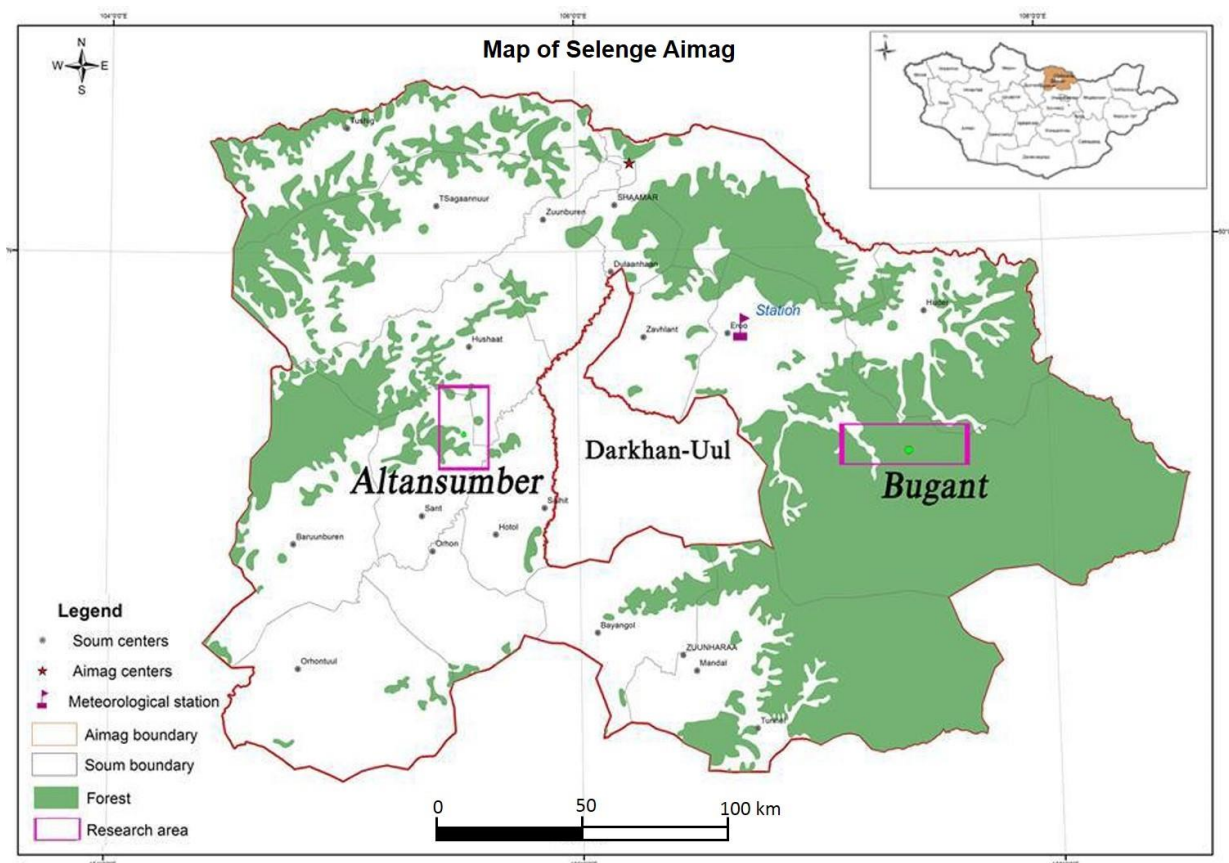
### ***Materials and methods***

#### ***Research area***

The two research areas (RA) are located in the province of Selenge Aimag in northern Mongolia (Fig.1). The RA Altansumber (49°29'07.29"N; 105°31'30.36"E) is characterized by mountain forest steppe in which Siberian larch and white birch are the dominant tree species. Most forest stands in this region are affected by fire and small-scale logging activities. The area is inhabited by traditional nomads, who recently united to a forest user group. The plot establishment was conducted within the framework of international cooperation (FAO-project: GCP/MON/002/NET; Gradel, 2010). The relevant plots in this study area are largely characterized by mixed and pure birch stands between 934 and 1188 m a.s.l., and north or northwest-facing slopes. The cores were collected in autumn 2012.

The RA Bugant is located in the western Khentey Mountains (49°25'9.90"N; 107°25'46.70"E) and was the most important logging centre in Mongolia during socialist times. Forest industry started there in the first half of the 20<sup>th</sup> century based on Soviet standards. Today, forestry is still an important source of income for the residents of Bugant (Gradel and Petrow, 2014). The vegetation in Bugant is characterized by dense secondary growth dominated by white birch (*B. platyphylla* Sukaczew) and Scots pine (*P. sylvestris* L.). The plots are largely characterized by mixed birch stands between 860 and 960 m a.s.l., with a low incline and a southerly or easterly aspect. The cores were collected in autumn 2013.

In both research areas, thinning experiments have been conducted since autumn 2009 (Gradel, 2010; Gradel et al., 2015c;e). Therefore, we limited our study to the period before the end of the year 2009. For more details concerning the research plots in RA Altansumber and RA Bugant, see Gradel et al. (2015a;b).

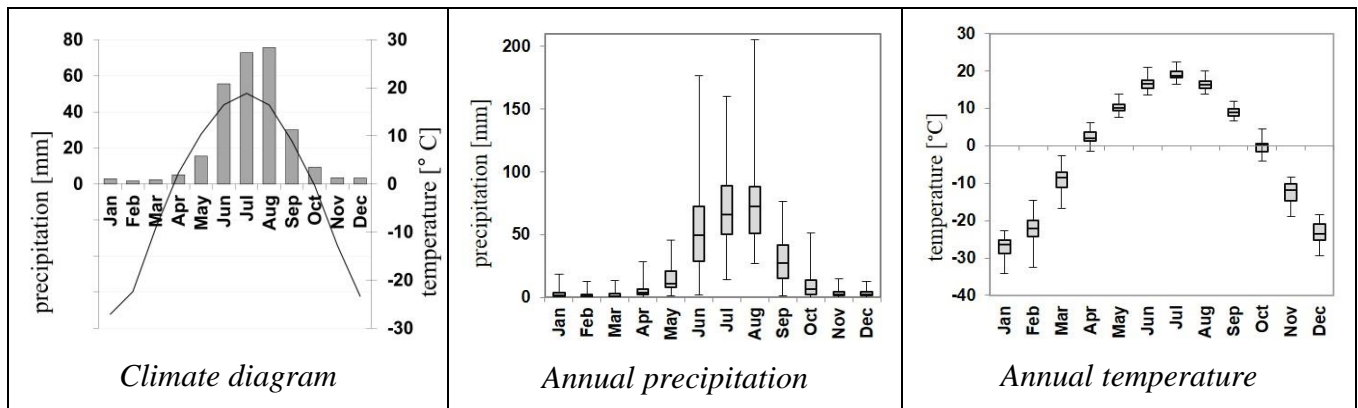


**Fig. 1:** Contour map of Mongolia (inset) and the research areas Altansumber and Bugant in the Selenge Aimag in northern Mongolia. (Map: Institute of Geography-Geoecology, MAS, Ulaanbaatar).

### *Climate data*

Long-term climate data are rare in Mongolia. The nearest permanent meteorological station in northern Selenge Aimag with reliable data records is located at the Eroo sum centre (Station “Eroo”) at an elevation of ca. 900 m (49°48’N, 106°42’E) (Fig. 2). The Eroo station is also part of the CRU grid (CRU, University of East Anglia 2014), and the data have already been used for dendrochronological studies of larch trees around the research station Khonin Nuga (Dulamsuren et al. 2011). Air temperature and precipitation data are available since 1961. From 1961 to 2009, the mean annual temperature was  $-1.83\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; the mean monthly temperature was  $-27.1\pm 2.7\text{ }^{\circ}\text{C}$  for January and  $18.8\pm 1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$  for July. The mean annual precipitation was 278 mm with a maximum in summer and a minimum in winter. The RA

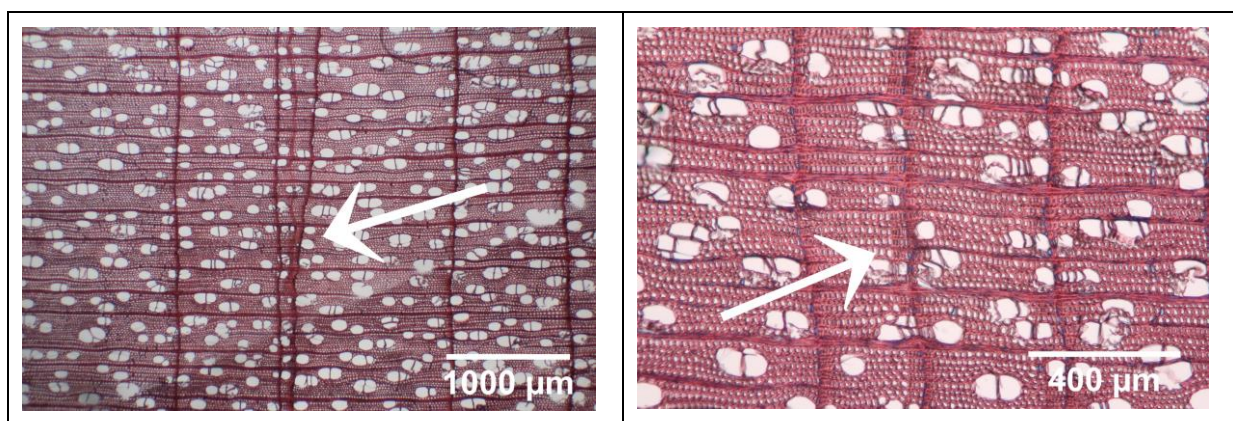
Bugant is located approximately 66 km southeast of the Eroo station; RA Altansumber is approximately 88 km to the southwest.



**Fig. 2:** Overview of the climate data recorded by the meteorological station Eroo for the period 1961 to 2009.

### *Core sampling and processing*

We collected cores from birch trees of different diameter classes and social status in the RA Altansumber and Bugant. These cores were taken with an increment borer of 5 mm in diameter at a height of 1 m above the ground, according to Dulamsuren et al. (2011). Tree rings in birch are hard to distinguish. Therefore the cores required a special processing. They were dried and mounted, and the surface was cut with a core-microtome, which is a new tool for surface preparation, resulting in a clear visibility of the annual rings (Gärtner and Nievergelt, 2010) and of anomalies such as wedging and false rings (Fig.3). All cores were colored with basic blue 140. The tree-ring widths were measured with a precision of 10  $\mu\text{m}$  on a movable object table (Megatron) and recorded with the programme Berlin Muehle 4 1.0 (by Tobias Heussner). Data recording and first evaluations were conducted using the Time Series Analysis and Presentation TSAP-Win software 4.69 (RinnTech 2015).



**Fig. 3:** *Betula platyphylla* cross sections: wedging tree ring (left), false tree ring (right).

*Evaluation of tree-ring data*

After the first crossdating between single series, the chronologies were checked using the TSAP-Win software and the program COFECHA 6.06P (Cook, 1985). The tree-ring series were processed with a segment length of 30 years lagged successively by 15 years. In order to obtain the residual version of the chronology the data were detrended by the ARSTAN program (version 44h3) using a cubic smoothing spline with a 50% cut-off (Holmes, 1983; Holmes et al., 1986). The statistical evaluation of the residual series was performed with dplR 1.6.3 (Bunn, 2008) in R (R Development Core Team, 2015). The chronologies were finally evaluated using the following dendrochronological statistics: mean coefficient of coincidence “Gleichläufigkeit” (Eckstein und Bauch, 1969); overall interseries correlation according to the description of Bunn and Korpela (2014); the mean tree-ring width and standard deviation (SD); the first-order autocorrelation (AC1) of the raw series, which measures the year-to-year persistence; the mean sensitivity of the residual series (MS), which quantifies the relative change in width among consecutive years; the mean correlation ( $\bar{R}$ ) among all individual residual series within each site; and the expressed population signal (EPS) of the residual series, which indicates to what extent the sample size is representative of a theoretical infinite population; see also Pasho et al., (2014).

*Statistical analysis of climate-growth relationships*

The four residual chronologies were used for correlation analysis with the climate data of monthly mean temperatures and monthly sum of precipitation. Correlation coefficients were computed from 1962 to 2009 for the old birch series and from 1979 to 2009 (Altansumber) and 1985 to 2009 (Bugant) for the young birch trees, using a 14-month time window from August of the previous year to September of the current year. The climate-growth relationship were analyzed via the bootstrap method by the software DENDROCLIM 2002 1.0.0.1 (Biondi and Waikul, 2004), using Pearson's correlation coefficient,  $p < 0.05$  was considered statistically significant.

### *Pointer year analysis*

#### *Selection of pointer years*

Years with extreme growth conditions, so-called event years, can trigger the development of above-average wide or narrow tree rings (Schweingruber et al., 1990). The event values were detected with the software Weiser 1.0 (García-González, 2001), with a 5-year window for the indexation according to the algorithm by Cropper (1979). The indices obtained were compared against a threshold value of 0.3, which corresponds to a SD of 30 %. A positive or negative event year was identified if the respective index-value exceeded the threshold value of +0.3 or -0.3, respectively. A pointer year was identified if a minimum of 80 % of the cores of a chronology showed the same tendency (Schweingruber 2012). The maximum number for the analysis of pointer years for one chronology was limited to 6 (strongest negative and positive pointer years, respectively).

#### *Interpretation of the pointer years*

We wanted to explore if the extreme positive or negative growth in the pointer years could be linked to seasonal climate conditions. Therefore, we analyzed two climate variables, temperature and precipitation, for the pointer years selected. Every month of every pointer year and of the respective previous year was evaluated with regard to the mean values of precipitation and temperature according to the classification by Z'Graggen (1992). The results were pooled and averaged according to the seasons in Mongolia (see climate diagram): winter (November-March), spring (April-May), summer (June-August), and autumn (September-October). The averaged values for each season allow an estimation to which degree the respective season deviates from the long-time trend. For the interpretation, the period from the previous year's summer to the current autumn of each particular year was considered. The pointer year analysis was conducted within the same time frames for each chronology as the analysis of the climate-growth relationships.

**Results**

*Statistics of the chronologies*

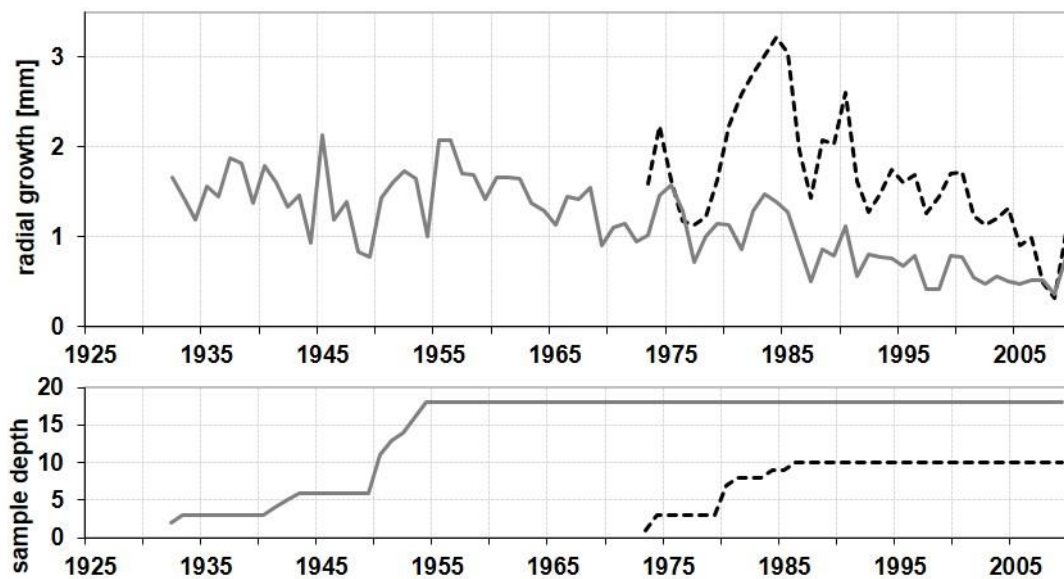
The chronologies for Bugant showed wider tree-rings and lower sensitivity than the chronologies of the RA Altansumber (Table 1).

**Table 1:** *Dendrochronological statistics of the Betula platyphylla (Sukaczew) chronologies of young and old birch trees in the research areas Altansumber and Bugant.*

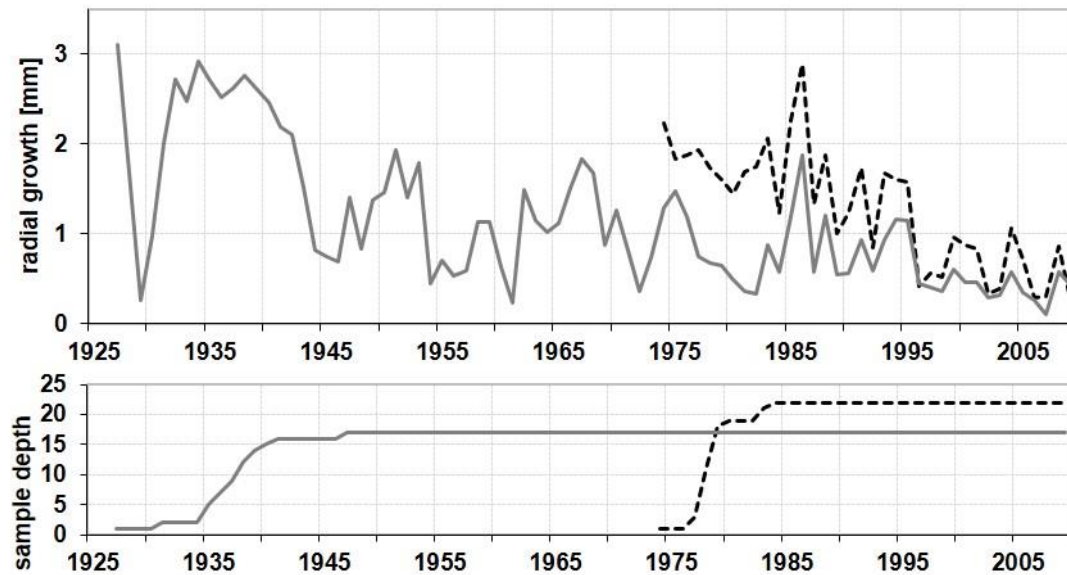
Basic information				Raw chronology					Residual chronology		
Research area	Age group	Ring series (No.)	Length of chronology	Overall inters. corr.	MGL (%)	MW (mm)	SD (mm)	AC1	MS	Rbar	EPS
Bugant	young	10	1973–2009	0.58	64	1.68	0.84	0.62	0.27	0.43	0.86
Bugant	old	18	1932–2009	0.66	67	1.10	0.58	0.68	0.29	0.44	0.92
Altansumber	young	22	1974–2009	0.74	72	1.18	0.80	0.47	0.43	0.61	0.97
Altansumber	old	17	1919–2009	0.70	69	1.03	0.74	0.58	0.43	0.43	0.91

Statistics: overall inters. corr. = average correlation of each series with a master chronology. MGL (%) = mean coefficient of coincidence “Gleichläufigkeit”. MW = mean tree-ring width. SD = standard deviation. AC1 = first-order autocorrelation. MS = mean sensitivity. Rbar = mean interseries correlation. EPS = expressed population signal

Mean curves and their sample depth, Fig. 4 and Fig. 5.



**Fig. 4:** *Tree-ring chronologies of old and young birch trees (top) and sample depth (bottom) at Bugant. Solid grey line, old birch trees; dashed black line, young birch trees.*



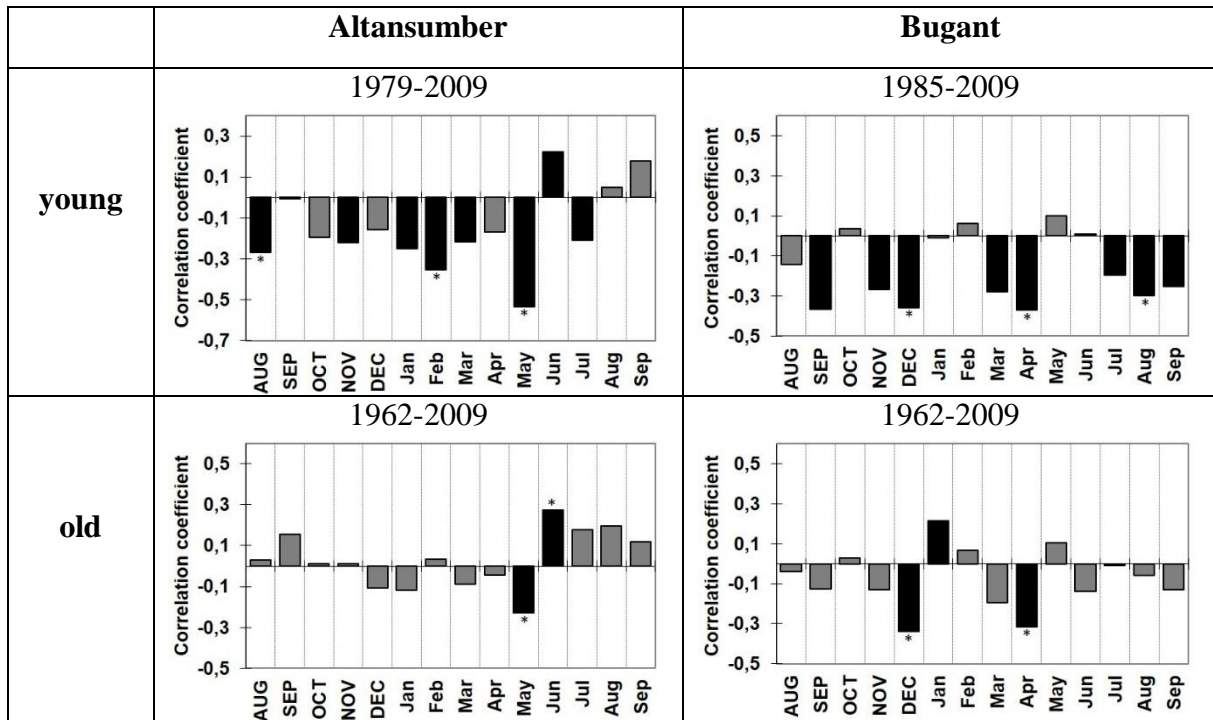
**Fig. 5:** Tree-ring chronologies of old and young birch trees (top) and sample depth (bottom) at Altansumber. Solid grey line, old birch trees; dashed black line, young birch trees.

#### *Climate-growth relationships*

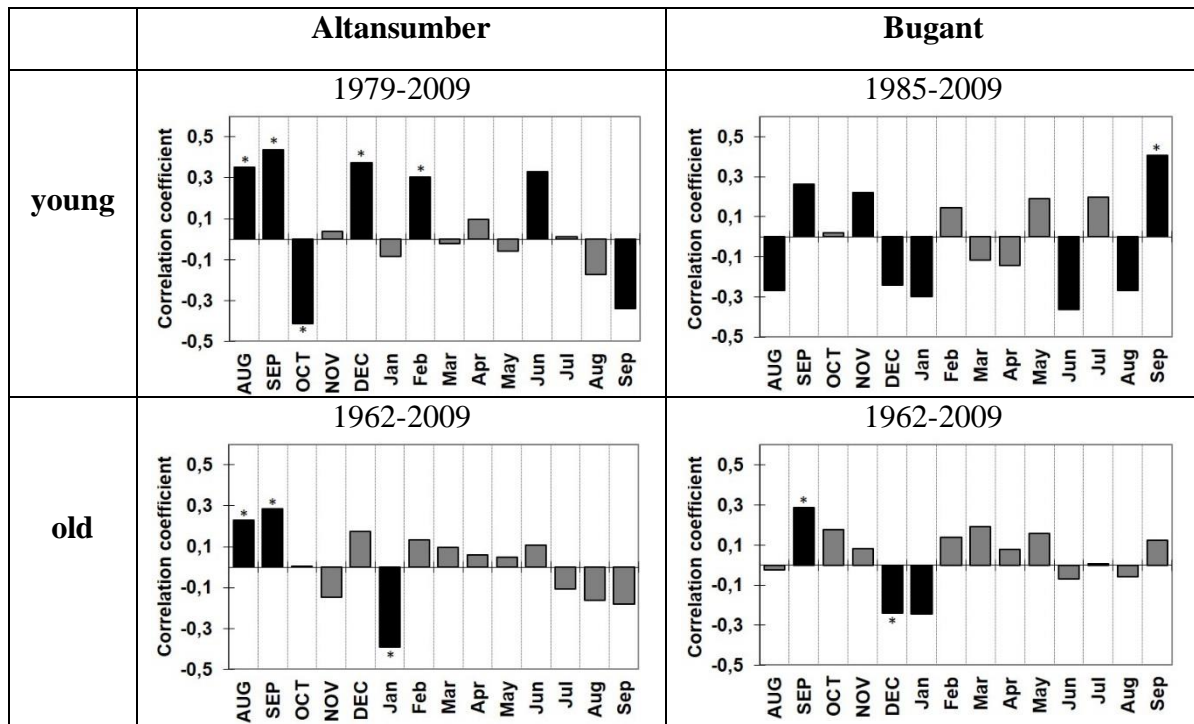
The month-wise analysis showed in tendency negative correlations with spring temperatures in both research areas. The young-birch chronology from Altansumber showed significant negative correlations in August of the previous year and in February and May of the current year. The young-birch chronology from Bugant showed negative correlations with temperature in December, April and August. The old-birch chronologies showed a similar but less pronounced pattern. Similar to the young-birch chronologies, the correlation was significantly negative in May in Altansumber and significantly negative in April in Bugant. It is noteworthy that both chronologies of Altansumber showed a positive correlation with June temperature (Fig. 6).

For precipitation, the chronologies showed more often significant correlations. In late summer and early autumn of the previous year climate-growth relation gave positive correlations. There were no significant correlations during the main vegetation period, when both temperature and precipitation are usually high. In both research areas, the old-birch chronologies were negatively correlated with precipitation during the coldest season (January in Altansumber and December in Bugant) (Fig. 7).





**Fig. 6:** Correlation coefficients of the temperature-growth relationship. Black bars indicate a correlation coefficient  $>0.2$  and the asterisk (\*) indicates significance with  $p < 0.05$ .



**Fig. 7:** Correlation coefficients of the precipitation-growth relationship. Black bars indicate a correlation coefficient  $>0.2$  and the asterisk (\*) indicates significance with  $p < 0.05$ .

*Pointer years*

Based on the common selection criteria we identified fewer positive than negative pointer years (Tables 2 and 3).

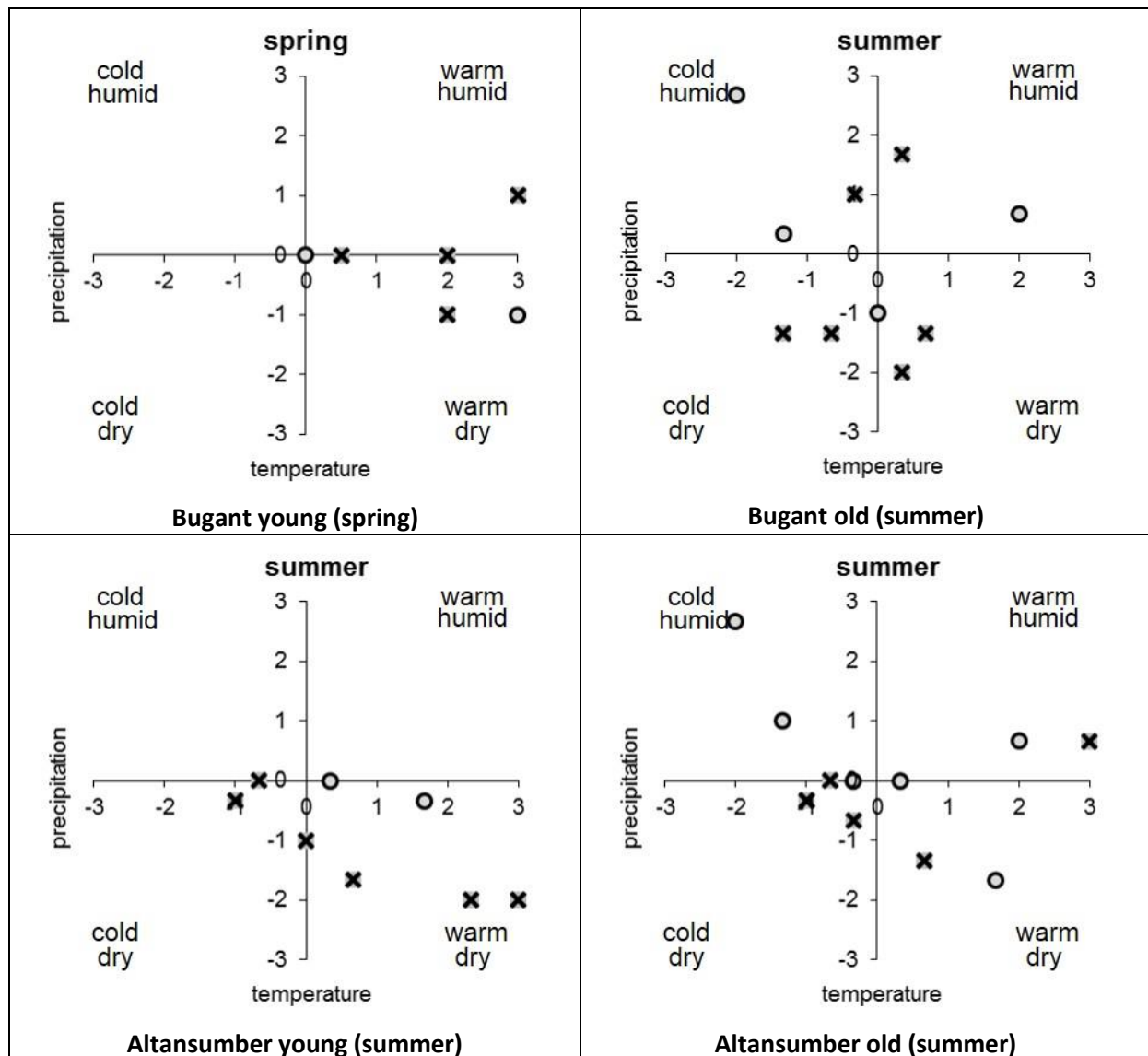
**Table 2:** *Overview of pointer years between 1962 and 1991. Circles–positive pointer years; crosses–negative pointer years.*

		pointer year												
		1962	1965	1969	1972	1975	1977	1981	1982	1984	1986	1987	1990	1991
<b>Bugant</b>	young												o	
<b>Bugant</b>	old		x	x		o	x	x				x	o	x
<b>Altansumber</b>	young									x	o	x		
<b>Altansumber</b>	old	o		x	x	o			x		o	x		

**Table 3:** *Overview of pointer years between 1992 and 2009. Circles–positive pointer years; crosses–negative pointer years.*

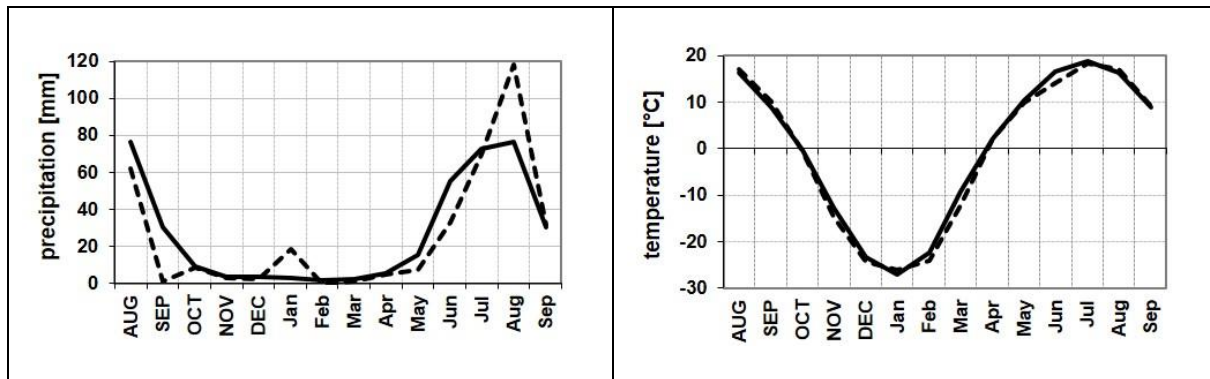
		pointer year											
		1992	1995	1996	1997	1999	2002	2003	2004	2006	2007	2008	2009
<b>Bugant</b>	young	x			x						x	x	o
<b>Bugant</b>	old			o									o
<b>Altansumber</b>	young			x			x	x	o	x		o	
<b>Altansumber</b>	old	x	o			o					x	o	

Season-related analyses gave the most meaningful results for negative pointer years, especially for spring and summer of the current year. The summers in negative pointer years were often above-average dry. The young-birch chronology in Bugant showed a clear relation between negative pointer years and a warm spring (Fig.8). The relation to the previous year and winter was largely indifferent. However, negative pointer years showed a relation to a rather dry autumn of the previous year (young birches in Bugant and old birches in Altansumber) and, partly, to a warm summer in the previous year (young birches, Bugant) (not shown). The summers of the positive pointer years of some chronologies were largely above-average humid (old birches, Bugant and Altansumber).



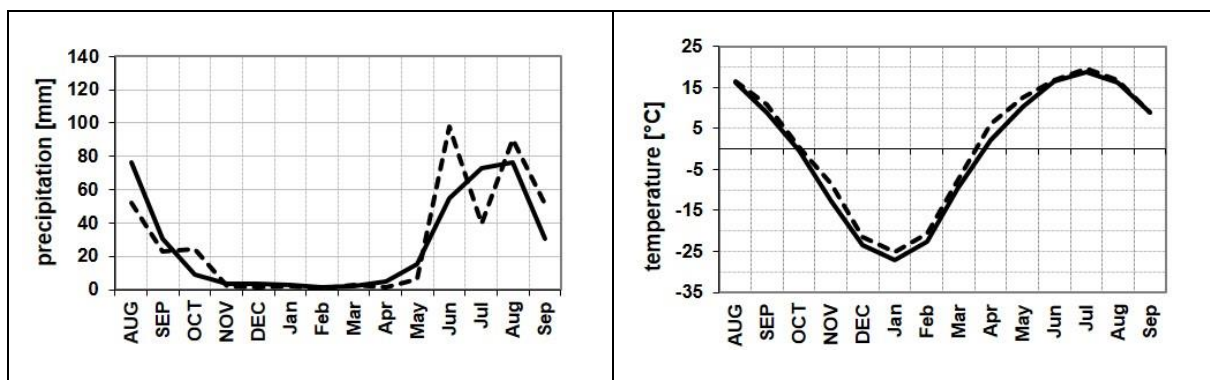
**Fig. 8:** Examples of the most meaningful, season-related pointer years of the chronologies. The values on the x- and y-axes are based on the classification of Z'Graggen (1992). Circles—positive pointer years; crosses—negative pointer years. From top left to bottom right: Bugant young, Bugant old, Altansumber young, Altansumber old.

The year 1987 occurred in three of the four chronologies as a negative pointer year (old birches in Bugant and Altansumber, and young birches in Altansumber). It is obvious that the precipitation, especially during the previous year's late summer and autumn and during the early time of the vegetation period of 1987 was below the long-time average (Fig. 9). The temperature, however largely followed the long-time average.



**Fig. 9:** The year 1987 was identified as a negative pointer year in both research areas. Dashed line, values from late summer 1986 – early autumn 1987; solid line, mean values for the period 1961-2009.

The year 2009 was identified as a positive pointer year in Bugant. Precipitation was above average during the early vegetation season (May-June) (Fig.10).



**Fig. 10:** The year 2009 was identified as a positive pointer year in the research area Bugant. Dashed line, values from late summer 2008 – early autumn 2009; solid line, mean values for the period of 1961-2009.

## Discussion

### *Climate-growth relationships: moisture is the main factor*

Although birch is of special interest for ecological research in forest-steppe ecotones, only a few dendrochronological studies exist to date for Northern and Central Asia (e.g., Yu et al., 2007; Dawadi et al., 2013; Otoda et al., 2013; Liang et al., 2014). The present study is the first to explore the relationship between climate and the growth of birch in Mongolia.

Climate-growth relationships cannot be generalized but always need to be interpreted based on the regional conditions. In our study, precipitation in late summer and early autumn of the previous year resulted in positive growth correlations. This was especially the case in Altansumber. A significant relationship between growth and precipitation of the previous late summer and autumn has also been reported for larch chronologies in northern Mongolia (Dulamsuren et al., 2011; Khishigjargal et al., 2014). We found that this relationship was more pronounced in the chronologies of Altansumber. These chronologies also showed higher sensitivity, which may be related to less favourable conditions for forest growth in Altansumber compared to the more densely forested Bugant region. In contrast to our results, which focus on a continental region, Levanić and Eggertsson (2008) found that a positive growth response of birch (*Betula pubescens* Ehrh.) on cool, humid Iceland was particularly related to higher temperatures in June and July.

The growth of the younger trees in Altansumber was positively correlated with late winter precipitation (February). Snowfall during this time may also have a relatively strong influence on the water content in the upper soil layer in spring compared to snowfall in early winter, as wind drift and especially sublimation have a high impact on snow depth and distribution in Mongolia (Zhang et al., 2008). The amount of snowfall before the end of the winter season may therefore be more important than early winter snowfall. Because of their less developed root systems, sufficient water availability in the beginning of the growing season may be more important for younger trees than for older ones. A positive correlation between birch growth and early-year moisture was also reported for mountainous regions of northeast and inner Asia (Takashaki et al., 2003; Yu et al., 2007, Liang et al., 2014). Similarly, positive correlations were found in the forest steppe of southern Siberia between the growth of Scots pine and Siberian larch and precipitation directly before and at the beginning of the vegetation period (Babushkina and Belokopytova, 2014).

We did not find a clear, significant effect of precipitation changes on tree growth during the current growing season. However, young trees showed a pronounced positive precipitation-growth relationship in May (Bugant) or June (Altansumber). Interestingly, the pointer year analysis did not correspond exactly with the analyses of the climate-growth relationships, but instead complemented the data on the growth response of trees to climate variations. The pointer-year analysis showed that for the most extreme negative and positive growth reactions, precipitation during the current vegetation period is especially important. It also supports the assumption that water availability is the limiting factor for tree growth. The negative pointer years frequently showed below-average summer precipitation, as well as dry, previous-year autumns. Some positive pointer years showed predominantly higher values of precipitation, especially during the summer of the current year. Summer is also the season with the highest variations in the amount of precipitation levels (see Fig. 2).

The analyses of the temperature-growth relationships revealed that white birch reacted in a largely negative way to above-average temperature. This was especially the case for the young birch chronologies. All chronologies showed a significant negative reaction to warm spring temperatures, but there was a 1-month difference in timing. Both chronologies from Bugant showed significant negative correlations during April, whereas the chronologies from Altansumber showed negative correlations in May. The sample sites in Bugant have south- and east-facing aspects, whereas the sample sites in Altansumber have northerly aspects. The exact timing of the inverse relation may therefore depend on site conditions (Leonelli et al., 2009; Liang et al., 2014). The negative correlation with above-average temperatures in May was especially strong in the young-birch chronology from Altansumber ( $r=-0.54$ ,  $p<0.05$ ). Inverse relationships with spring temperatures were also found in a study on Himalayan birch (*Betula utilis* D. Don) in Nepal. This relationship may be due to a water deficiency in spring (Dawadi et al. 2013). We assume that the largely negative correlations with temperature reflect water deficits, particularly in spring, but they may additionally also hint at the indirect effects of higher spring temperatures, for example, on ignition of forest fires, as on all plots signs of fire impact were recorded (Gradel et al., 2015e).

*Potential impact of secondary factors (fire and insects) as indicated by the climate variables*

The dry period between April and May is the peak season for forest fires in northern Mongolia (Valendik et al., 1998). High air temperature, low air humidity, direct solar radiation and wind are generally considered the most important natural factors facilitating fire ignition and expansion (Tanskanen et al., 2008; Onderka and Melichercik, 2010). Surface

fires often cause long-lasting damage to the bark and cambium of birch trees, as has been reported for the birch-pine plots in Bugant. Due to their thicker bark, pine trees showed less intensive damages. On some plots, more than 20% of the birch trees exhibited visible fire damage near the base of the tree (Gradel et al., 2015a). Mechanical damage to the bark can mean substantial damage to the tree, which hampers the transport of glucose and water (Lüttge et al., 2005). Fire can also directly destroy the cambium, which is responsible for the radial growth. Such chronic damages may affect the growth performance of a tree for several years. A recently published dendrochronological study estimated that the average return interval for fire in the pine forests of the north-western Khentey Mountains in Mongolia is 11.6 years on average (Oyunsanaa, 2011). Such fires are usually of low intensity and are not stand-replacing. Signs of fire damage were reported for all sites in Bugant and Altansumber (Gradel et al., 2015e) and have become a common feature in the accessible forests of northern Mongolia.

The negative correlations with higher temperature in December in Bugant and in January in Altansumber (old trees) may be related to the impact of temperature on insect populations. Such a relationship has frequently been reported in some recent studies of larch, and it has been suggested that this is due to the influence of temperature on insect populations (Dulamsuren et al., 2011; Khishigjargal et al., 2014). The same explanation also holds for the significant negative correlation with winter precipitation during the coldest time, also confirmed in studies of larch (Dulamsuren et al., 2011). High snow cover during the coldest time of the year protects herbivorous insects, which may negatively affect tree growth in the upcoming growing season (Dulamsuren et al., 2011). Insect outbreaks are very common in the region and seem to especially affect older trees. For example, winter survival rates of eggs of one of the most important herbivorous insects in the region, the gypsy moth (*Lymantria dispar*), are directly related to threshold values of the surrounding air temperature (Waggoner, 1985). Other important herbivorous insects in the region are *Erannis jacobsoni* and *Dendrolimus superans sibiricus*. We have no specific statistical information about insect infestations and fire events in the two research areas, but the interpretation of the climate-growth relationships, field visits and literature studies support the assumption that these non-climatic factors also play an important role in the growth of birch in this region.

*Some practical recommendations for increasing the climate signals of birch trees from the taiga and mountain forest steppe*

- The sampling of trees should focus on small-scale sites, preferably single forest stands with very similar conditions (e.g. competition situation, slope, aspect).
- Secondary factors (e.g. fire) should be taken into account. Even in a homogenous stand, it is likely that previous surface fire events affected individual trees differently. Some trees may have been spared, whereas others may have been strongly affected. This can lead to different growth response signals or variation in the expression of growth response. For studies of climate-growth relationships, only trees without visible fire damage should be selected.
- Age may play a role in a tree's sensitivity and resilience to climate effects. On average, the chronologies of the younger trees showed higher sensitivities to temperature and precipitation effects and had more significant correlations with climate factors. However, younger trees provide only relatively short chronologies.
- Based on the relative dominance, as assessed by the *measure of surround*  $U_i$  (Gadow and Hui 2002 according to the classification of Gradel and Mühlenberg 2011), suppressed birch trees in Bugant exhibited higher sensitivity values than dominant trees (Haensch 2015). Similar dominance-dependent relationships have also been reported for *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* (L.) H.Karst in northern Germany by Grundmann (2009). The relative social status of the sample trees should therefore be considered during sampling.
- It could be useful to consider time series of wood anatomical features such as vessel size and vessel density for further investigations. Vessel features have been used to describe the physiological relationship between tree growth and environmental conditions (e.g., Bryukhanova and Fonti 2013; García-González and Fonti 2006; Sass and Eckstein 1995).



### *Conclusions*

Based on the climate-growth relationships and the pointer year analyses, and considering different site factors and conditions specific to northern Mongolia, water availability seems to be the most critical factor for white birch growth, especially in the RA Altansumber. Our results indicate that in the beginning of the vegetation period, the growth performance of younger birch trees is more dependent on water availability than of older trees. There is also evidence that the seasonal impact of climate variables on growth is related to aspect. The results support the assumption that tree growth is influenced not only by climate, but also by factors such as insect populations and fire outbreaks, which are themselves influenced by climate and weather. Damage marks from surface fires on the bark of the trees (Gradel et al., 2015a) and negative correlations with temperature during the peak of the fire season indicate that fire disturbances may have negatively affected tree growth. The negative correlations with higher temperature and with snow cover during the peak of the winter season can be linked to better survival rates of herbivorous insects. In this context, the increase in mean annual temperatures as forecasted by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2014) would likely have a negative impact on the growth performance of birch trees. This impact is likely to be especially severe if winter and spring temperatures increase significantly. The pointer years indicated that deviations in precipitation during the summer months and during the previous autumn affect the growth response of birch in northern Mongolia. Our results may have practical implications for land-use management and forestry in northern Mongolia and neighboring regions, particularly when compared with regional data on other tree species. For example, a comparison of our results with results from the main coniferous species from the same stands would allow for an evaluation of which tree species may be most promising for forestry under certain future climatic conditions.

***Acknowledgements***

All cores were collected on recently established monitoring plots in the research areas Altansumber and Bugant. The plots in Altansumber were established during the UNFAO-project „*Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia*” (GCP/MON/002/NET), financed by the government of the Netherlands. Field work was carried out with the School of Agroecology and Business, Institute of Plant and Agricultural Sciences of the Mongolian University of Life Sciences in Darkhan. The establishment of the plots in Bugant was partly supported by GIZ Mongolia and financed by the German Academic Exchange Service DAAD (research grant D/11/42667). The authors thank numerous students from the Mongolian University of Life Sciences in Darkhan for their assistance during the collection of wood cores in 2012 and 2013 and for financial support provided by DAAD (research grant D/12/41577). Increment borers were provided by the Department of Wood Biology and Wood products (Göttingen) and the Public Enterprise Sachsenforst (Free State of Saxony). We are thankful to Claus-Thomas Bues, Jamsran Tsogtbaatar, Christian Ammer, Michael Mühlenberg and Alexander Altaev for their support. Preliminary results from this research were presented at the 4<sup>th</sup> International Asian Dendrochronological Conference on Climate Change and Tree Rings (ADA2015), 9<sup>th</sup>–12<sup>th</sup> of March 2015 in Kathmandu, Nepal (Gradel et al. 2015d).

## References

- Babushkina, E.A., Belokopytova, L.V., 2014.** Climatic signal in radial increment of conifers in forest-steppe of southern Siberia and its dependence on local growing conditions. *Russ. J. Ecol.* 45(5), 325-332.
- Biondi, F., Waikul, K., 2004.** DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Comput. Geosci.* 30, 303-311.
- Bryukhanova, M., Fonti, P., 2013.** Xylem plasticity allows rapid hydraulic adjustment to annual climatic variability. *Trees–Struct. Funct.* 27:485–496. DOI: 10.1007/s00468-012-0802-8.
- Bunn, A.G., 2008.** A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia* 26(2), 115-124.
- Bunn, A., Korpela, M. 2014.** An Introduction to DplR.  
URL: <https://huxley.wvu.edu/sites/huxley.wvu.edu/files/media/intro-dplR.pdf>
- Cook, E.R., 1985.** A time series analysis approach to tree ring standardization. PhD Thesis, Faculty of the School of Renewable Natural Resources, University of Arizona, 171 p.
- Cropper, J.P., 1979.** Tree-ring skeleton plotting by Computer. *Tree-Ring Bull.* 39, 47-59.
- CRU, University of East Anglia, 2014.** Climate Research Unit of the University of East Anglia; (accessed: 28.05.14.) URL: <http://www.cru.uea.ac.uk/>
- Dawadi, B., Liang, E., Tian, L., Devkota, L.P., Yao, T., 2013.** Pre-monsoon precipitation signal in tree rings of timberline *Betula utilis* in central Himalayas. *Quaternary Int.* 283, 72-77.
- De Grandpre, L., Tardif, J.C., Hessl, A., Pederson, N., Conciatori, F., Green, T.R., Oyunsanaa, B., Baatarbileg, N. 2011.** Seasonal shift in the climate responses of *Pinus sibirica*, *Pinus sylvestris*, and *Larix sibirica* trees from semi-arid, north-central Mongolia. *Can. J. For. Res.* 41(6), 1242–1255.
- Dulamsuren, Ch., Hauck, M., 2008.** Spatial and seasonal variation of climate on steppe slopes of the northern Mongolian mountain taiga. *Grassland Sci.* 54 (4), 217-230.
- Dulamsuren, Ch., Hauck, M., Leuschner, H.H., Leuschner, C., 2011.** Climate response of tree ring width in *Larix sibirica* growing in the drought-stressed forest-steppe ecotone of northern Mongolia. *Ann. For. Sci.* 68(2), 275-282. DOI 10.1007/s13595-011-0043-9.
- Eckstein, D., Bauch, J., 1969.** Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwissenschaftliches Centralbl.* 88, 230-250.
- FAO-project; GCP/MON/002/NET:** Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia. Financed by the government of the Netherlands. URL: <http://www.mne.mn/files/page792/Oi-4%20en.pdf>
- Gadow, K.v., Hui, G.Y., 2002.** Characterizing forest spatial structure and diversity. In: Björk, L. (Ed.), *Sustainable Forestry in Temperate Regions*, SUFOR, University of Lund, Sweden, pp. 20-30.
- García-Gonzalez, I., 2001.** Weiser: a computer program to identify event and pointer years in dendrochronological series. *Dendrochronologia* 19 (2), 239-244.
- García-González, I., Fonti, P., 2006.** Selecting earlywood vessels to maximize their environmental signal. *Tree Physiology* 26 (10):1289–1296.
- Gärtner, H., Nievergelt, D., 2010.** The core-microtome: a new tool for surface preparation on cores and time series analysis of varying cell parameters. *Dendrochronologia* 28(2): 85-92.
- Gradel, A., Mühlenberg, M., 2011.** Spatial characteristics of near-natural Mongolian forests at the southern edge of the taiga. *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung (German J. For. Res.)* 182(3/4), 40-52, URL: <http://www.sauerlaender-verlag.com/index.php?id=1234>
- Gradel, A., Petrow, W., 2014.** Forstpolitische Entwicklungen im Transformationsland Mongolei. *AFZ-Der Wald* 17, 36-39.
- Gradel, A., Ochirragchaa, N., Gadow, K.v. 2012.** Forest observational studies in northern Mongolia. In: Chubinsky M.A., Selivanov A.A. (Eds.): *Modern Problems of Forestry and Forest Management Dedicated to the Memory of the Classics of Russian Forestry*. vol. 15, 2012, ICFPI News 1; St. Petersburg, 161-162.
- Gradel, A., Ochirragchaa, N., Altaev, A.A., Voinkov, A.A., 2015a.** Non-spatial structure of light taiga, damaged by surface fires in the Khentii Mountains (research area Bugant, Northern Mongolia). In: Kalashnikov, I.A., Zydypov, R.Z., Ton, S.Kh.A, Ilin, Yu.M., Dardshaev, V.Kh., Numaeva, M.N., Kalashnikov, K.I. (Eds.): *Earth and Water Resources: Monitoring the Ecological and Economic*

- Condition and Models of Governance: International Scientific Conference. Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philipov, Ulan-Ude, pp. 198-203, (in Russian).
- Gradel, A., Ochirragchaa, N., Altaev, A.A., Voinkov, A.A., Enkhtuya, B., 2015b.** Structure of forests in the North Mongolian mountain forest steppe on the example of the research area «Altansumber». In: Badmaev, N.B., Khutakova, C.B. (Eds.): Soils of Steppe and Forest Steppe Ecosystems of Inner Asia and Problems of Their Sustainable Utilization: International Scientific Conference. Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philipov, Ulan-Ude, 78-85 (in Russian).
- Gradel, A., Ochirragchaa, N., Altaev, A.A., Voinkov, A.A., Enkhtuya, B. 2015c.** Spatial distribution of trees on light taiga plots before selective thinning. Mongolian J. Agric. Sci. 15 (2): 91-99.
- Gradel, A., Haensch, C., Batsaikhan, G., Batdorj, D., Ochirragchaa, N., Günther, B., 2015d.** Response of White birch (*Betula platyphylla* Sukaczev) to climate variables in Northern Mongolia. In: The Fourth International Asian Dendrochronological Conference on Climate Change and Tree Rings. Tribhuvan University, Kathmandu, Nepal, pp. 96. URL: <http://tribhuvan-university.edu.np/wp-content/uploads/2015/03/climatechange.pdf>
- Gradel, A., Ochirragchaa, N., Altaev, A.A., Voinkov, A.A., Enkhtuya, B., 2015e.** Capacity development and forest research on the light taiga plots of the School of Agroecology and Business of the Mongolian University of Life Sciences in Darkhan. In: Batsukh, N., Erdenesuvd, D., Daginnas, B. (Eds.): Current Environmental Issues—Approaches to Solutions. Proceedings of the 20<sup>th</sup> Anniversary of the Professional Environmental Studies Program. Mongolian University of Life Sciences, Darkhan, 44-51.
- Gradel, A., 2010.** Partizipatives Ressourcenmanagement in Waldgebieten der nördlichen Mongolei—Kooperation mit der Staatlichen Agraruniversität Darchan. internal report; German Development Service in cooperation with the UNFAO-project. Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia (GCP/MON/002/NET), 18 pp.
- Grundmann, B. M., 2009.** Dendroklimatologische und dendroökologische Untersuchungen des Zuwachsverhaltens von Buche und Fichte in naturnahen Mischwäldern. Dissertation, Technische Universität Dresden; Dresden, pp.195
- Haensch, C., 2015.** Dendroklimatologische Untersuchung an Mandschurischer Birke (*Betula platyphylla* Suk.) und Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) im Khentii-Gebirge, Mongolei. Master thesis, Technische Universität Dresden; Dresden, pp.106
- Hansen, M.C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S.J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C.O., Townshend, J.R.G., 2013.** High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. Science 342, 850-853.
- Holmes, R.L. 1983.** Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. Tree-Ring Bull. 43, 69-75.
- Holmes, R.L., Adams, R.K., Fritts, H.C. 1986.** Tree-ring Chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin with Procedures in the Chronology Development Work including Users Manuals for Computer Programs Cofecha and Arstan. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona. Chronology Series VI. 182 pp.
- IPCC, 2014.** Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge and New York, 688 pp.
- James, T., 2011.** Temperature sensitivity and recruitment of Siberian larch (*Larix sibirica*) and Siberian spruce (*Picea obovata*) in northern Mongolia's boreal forest. For. Ecol. Manage. 262, 629-636.
- Khishigjargal, M., Dulamsuren, C., Leuschner, H.H., Leuschner, C., Hauck, M. 2014.** Climate effects on inter- and intra-annual larch stemwood anomalies in the Mongolian forest-steppe. Acta Oeco. 55, 113-121.

- Leonelli, G., Pelfini, M., Battipaglia, G., Cherubini, P. 2009.** Site-aspect influence on climate sensitivity over time of a high-altitude *Pinus cembra* tree-ring network. *Clim. Change* 96, 185-201.
- Levanic, T., Eggertsson, O. 2008.** Climatic effects on birch (*Betula pubescens* Ehrh.) growth in Fnjoskadalur valley, northern Iceland. *Dendrochronologia* 25, 135-143.
- Liang, E., Dawadi, B., Pederson, N., Eckstein, D. 2014.** Is the growth of birch at the upper timberline in the Himalayas limited by moisture or by temperature? *Ecology* 95, 2453-2465.
- Lüttge, U., Kluge, M., Bauer, G. 2005.** Botanik. 5. Auflage, Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 651 pp.
- Mühlenberg, M., Hondong, H., Dulamsuren, Ch., Gadow, K.v., 2004.** Large-scale biodiversity research in the southern Taiga, Northern Mongolia. In: Szaro, R.C., Peterson, C.E., Gadow, K.v., Kraeuchi, N. (Eds.): Creating a Legacy for Sustainable science-based Forest Management: lessons learned from field experiments. *Forest Snow and Landscape Research*. Swiss Federal Research Institute WSL, vol. 78 (1–2), 93–118.
- Onderka, M., Melichercik, I., 2010.** Fire-prone areas delineated from a combination of the Nestorov Fire-Risk Rating Index with multispectral satellite data. *Applied Geomatics* 2,1-7. DOI 10.1007/s12518-009-0014-0.
- Otoda, T., Sakamoto, K., Hirobe, M., Undarmaa, J., Yoshikawa, K., 2013.** Influences of anthropogenic disturbances on the dynamics of white birch (*Betula platyphylla*) forests at the southern boundary of the Mongolian forest-steppe. *J. For. Res.* 18, 82-92.
- Oyunsanaa, B., 2011.** Fire and stand dynamics in different types of the West Khentey Mountains, Mongolia. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen, 119 pp.
- Oyuntuya, Sh., Dorj, B., Shurentsetseg, B., Bayarjargal, E. 2015.** Agrometeorological information for the adaptation to climate change, in: Badmaev, N.B., Khutakova, C.B. (Eds.): Soils of Steppe and Forest Steppe Ecosystems of Inner Asia and Problems of Their Sustainable Utilization: International Scientific Conference. Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philipov, Ulan-Ude, 135-140.
- Pasho, E., Toromani, E., Alla, A.Q., 2014.** Climatic impact on tree-ring widths in *Abies borisii-regis* forests from South-East Albania. *Dendrochronologia* 32(3), 237-244.
- Puhua, H., 2013.** *Betula platyphylla* SUK., 1911 (translated by Schütt, P.). In: Schütt, P., Weisgerber, H., Schuck, H., Lang, U.M., Roloff, A. (Eds.): Enzyklopädie der Holzgewächse – Handbuch und Atlas der Dendrologie. Losebl.-Ausg. Ecomed, Landsberg am Lech. 31. Erg. Lfg. 3/03, 6 p.
- R Development Core Team 2015.** R Version 3.1.0: The R Project for Statistical Computing. URL <http://www.R-project.org>.
- RinnTech 2015.** Technology for Tree and Wood Analysis. URL: <http://www.rinntech.de/index-52147.html>
- Sass, U., Eckstein, D., 1995.** The variability of vessel size in beech (*Fagus sylvatica* L.) and its ecophysiological interpretation. *Trees – Structure and Function* 9(5):247–252.
- Sato, T., Kimura, F., Kitoh, A., 2007.** Projection of global warming onto regional precipitation over Mongolia using a regional climate model. In: *Journal of Hydrology* 333, 144-154.
- Schweingruber, F. H., 2012.** Der Jahrring–Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Verlag Kessel, Remagen-Oberwinter, pp. 234.
- Schweingruber, F. H., Eckstein, D.; Serre-Bachet, F., Bräker, O. U., 1990.** Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8, 9-38.
- Slemnev, N.N., Sheremetiev, S.N., Gamalei Ju.V., Stepanova, A.V., Chebotareva K.E., Tsogt Z., Tsoozh, Sh., Yarmishko, V.T. 2012.** Radial increment variability in Mongolian trees and shrubs under climate dynamics. *Botanicheskij zhurnal* 97 (7), 852-871, (in Russian).
- Takahashi, K., Azuma, H., Yasue, K., 2003.** Effects of climate on the radial growth of tree species in the upper and lower distribution limits of an altitudinal ecotone on Mount Norikura, central Japan. *Ecol. Res.* 18: 549-558.
- Tanskanen, H., Venalainen, A., 2008.** The relationship between fire activity and fire weather indices at different stages of the growing season in Finland. *Boreal Environ. Res.* 13, 285-302.
- Valendik, E.N., Ivanova, G.A., Chuluunbator, Z.O., Goldammer, J.G. 1998.** Fire in forest ecosystems of Mongolia. *Int. For. Fire News* 19: 58-63. (accessed: 20.03.15.) URL: [http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/country/mn/mn\\_11.htm](http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/country/mn/mn_11.htm)
- Waggoner, P.E., 1985.** How gypsy moth eggs freeze. *Agric. For. Meteorol.* 36, 43-53.

- Walter, H., 1974.** Die Vegetation Osteuropas, Nord- und Zentralasiens. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 452 pp.
- Yu, D., Wang, G.G., Dai, L., Wang, Q., 2007.** Dendroclimatic analysis of *Betula ermanii* forests at their upper limit of distribution in Changbai Mountain, Northeast China. *For. Ecol. and Manage.* 240, 105-113.
- Z'Graggen, S., 1992.** Dendrohistometrisch-klimatologische Untersuchung an Buchen (*Fagus sylvatica* L.). Dissertation, Universität Basel. Verlag Truninger. 167 pp.
- Zhang, Y., Ishikawa, M., Ohata, T., Oyunbaatar, D. 2008.** Sublimation from thin snow cover at the edge of the Eurasian cryosphere in Mongolia. *Hydrol. Processes*, 22 (18), 3564-3575, <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.6960>.
- Zyryanova, O.A., Terazawa, M., Koike, T., Zyryanov, V.I. 2010.** White birch trees as resource species of Russia: their distribution, ecophysiological features, multiple utilizations. *Eurasian J. For. Res.* 13, 25-40.

## KAPITEL IV

# CLIMATE-GROWTH RELATIONSHIPS AND POINTER YEAR ANALYSIS OF A SIBERIAN LARCH (*LARIX SIBIRICA* LEDEB.) CHRONOLOGY FROM THE MONGOLIAN MOUNTAIN FOREST STEPPE COMPARED TO WHITE BIRCH (*BETULA PLATYPHYLLA* SUKACZEV)

---

Published in:

Forest Ecosystems 4:22

Alexander Gradel<sup>1</sup>, Batsaikhan Ganbaatar<sup>2</sup>, Ochirragchaa Nadaldorj<sup>3</sup>, Batdorj Dovdondemberel<sup>2</sup>, Antonin Kusbach<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Department of Silviculture and Forest Ecology of the Temperate Zones, Universität Göttingen, Büsgenweg 1, 37077 Göttingen, Germany

<sup>2</sup>Institute of Geography-Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Post Box-81, Baruun Selbe 15, Ulaanbaatar 15170, Mongolia

<sup>3</sup>School of Agroecology and Business, Institute of Plant and Agricultural Sciences, Mongolian University of Life Sciences, P.O. Box 904, University St., Darkhan, 45047 Darkhan-Uul, Mongolia

<sup>4</sup>Department of Forest Botany, Dendrology and Geobiocoenology, Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University in Brno, Zemedelská 3, 613-00 Brno, Czech Republic

Die Veröffentlichung ist hier um die deutsche und russische Übersetzungen des Titels und der Zusammenfassung erweitert.

**Climate-growth relationships and pointer year analysis of a Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) chronology from the Mongolian mountain forest steppe compared to white birch (*Betula platyphylla* Sukaczew)**

**Background:** Forest area, stand quality and growth of Siberian larch in Mongolia have decreased significantly over recent decades. This forest decline is frequently attributed to factors such as unregulated logging, increased ecological disturbances (primarily fire) and climate change. In this study, we analyzed climate-growth response and pointer years for Siberian larch observed in the Altansumber forest research area in the Mongolian mountain forest steppe zone. We compare our results with previously published results of white birch from the same area.

**Methods:** We built a reference chronology from wood core samples taken from 30 trees in three neighboring larch stands. Climate-growth relationships were analyzed monthly and seasonally over the period 1962-2009 using climate data from the Eroo weather station. Pointer year analysis covered the same time frame.

**Results:** Our analysis of the larch chronology showed that precipitation during autumn of the previous year and directly before the growing season of the current year was the most decisive factor determining tree-ring growth. Regional pointer year analysis further indicated that a humid summer and autumn followed by a warm spring support current-year tree-ring growth in these larch stands. Our findings were comparable to a white birch study in the same area. The larch trees, however, showed stronger growth performance and were more tolerant of higher temperatures, notably in spring during peak fire season.

**Conclusions:** Water availability is the decisive factor for larch growth in the mountain forest steppe zone. The chronologies showed no climatic indication of insect infestations. Differences in climate-growth relationships of birch and larch trees during peak fire season may to some degree be explained by their respective means of protecting themselves against low-intensity surface fires (e.g. thick bark of larch). These fire events occur regularly in the region and are influenced by climatic factors. Our analysis and comparison of climate tree-growth relationships may be valuable for developing climate- and disturbance-resilient forestry practices in Mongolian mountain forest ecosystems.

**Keywords:** *Siberian larch, Mountain forest steppe zone, Mongolia, Climate-growth relationship, Pointer years, White birch, Forest fires*



**Klima-Wachstums-Beziehungen und Weiserjahanalyse einer Chronologie der Sibirischen Lärche (*Larix sibirica* Ledeb.) aus der mongolischen Gebirgswaldsteppe verglichen mit der Asiatischen Weiß-Birke (*Betula platyphylla* Sukaczew)**

**Hintergrund:** Waldfläche, Bestandesqualität und Zuwachs der Sibirischen Lärche sind in der Mongolei in den letzten Jahrzehnten deutlich zurückgegangen. Dieser Waldrückgang wird häufig auf Faktoren wie unregelmäßigem Holzeinschlag, verstärkte Störungen (vor allem Feuer) und den Klimawandel zurückgeführt. In dieser Studie analysierten wir die Klima-Wachstums-Reaktion und Weiserjahre der Sibirischen Lärche im Forschungsgebiet Altansumber in der mongolischen Gebirgswaldsteppenzone. Wir vergleichen unsere Ergebnisse mit bereits veröffentlichten Ergebnissen der Asiatischen Weiß-Birke aus dem gleichen Gebiet.

**Methoden:** Wir erstellten eine Chronologie aus Bohrkernen von 30 Bäumen aus drei benachbarten Lärchenbeständen. Die Klima-Wachstums-Beziehungen wurden monatlich und saisonal über den Zeitraum 1962-2009 unter Verwendung von Klimadaten von der Eroo-Wetterstation analysiert. Die Weiserjahanalyse deckte den gleichen Zeitrahmen ab.

**Ergebnisse:** Unsere Analyse der Lärchenchronologie zeigte, dass Niederschlag im Herbst des Vorjahres und direkt vor der Wachstumsperiode des laufenden Jahres der entscheidende Faktor für das Jahrringwachstum darstellt. Die regionale Weiserjahanalyse deutete zusätzlich darauf hin, dass ein feuchter Sommer und Herbst, gefolgt von einem warmen Frühjahr, das aktuelle Jahrringwachstum in diesen Lärchenständen fördert. Unsere Ergebnisse waren vergleichbar mit einer Birkenstudie aus dem gleichen Gebiet. Die Lärchenbäume zeigten jedoch eine stärkere Wachstumsleistung und waren gegenüber höheren Temperaturen toleranter, vor allem im Frühjahr während der Feuerhochsaison.

**Schlussfolgerungen:** Die Wasserverfügbarkeit ist der entscheidende Faktor für das Lärchenwachstum in der Gebirgswaldsteppenzone. Die Chronologien zeigten keine klimatischen Anzeichen für Insektenkalamitäten. Unterschiede in den Klima-Wachstumsbeziehungen von Birken und Lärchen während der Hauptfeuersaison können zu einem gewissen Grad durch die jeweiligen Schutzmechanismen gegen Oberflächenfeuer geringer Intensität erklärt werden (z. B. dicke Rinde von Lärche). Diese Brandereignisse treten regelmäßig in der Region auf und werden von klimatischen Faktoren beeinflusst. Unsere Analyse und der Vergleich von Klima-Wachstums-Beziehungen können wertvoll für die Entwicklung von Klima- und störungsresistenter Forstwirtschaft in mongolischen Bergwaldökosystemen sein.

**Schlüsselwörter:** *Sibirische Lärche, Gebirgswaldsteppe, Mongolei, Klima-Wachstums-Beziehung, Weiserjahre, Asiatische Weiß-Birke, Waldbrände*

**Взаимосвязь между климатом и ростом и анализ экстремальных годов сильного и слабого прироста одной хронологии сибирской лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.) монгольской горной лесостепи по сравнению с белой березой (*Betula platyphylla* Sukaczew)**

**База:** Площадь лесов, качество древостоя и прирост лиственницы сибирской в Монголии за последние десятилетия значительно сократились. Это сокращение лесов часто объясняется такими факторами, как нерегулируемая лесозаготовка, увеличение воздействий (прежде всего пожаров) и изменение климата. В этом исследовании мы проанализировали реакцию роста в зависимости от климата и экстремальный годы сильного и слабого роста сибирской лиственницы в исследовательском районе Алтансумбэр в горной лесостепной зоне Монголии. Мы сравниваем наши результаты с ранее опубликованными результатами исследования берез того же района.

**Методы:** Мы построили хронологию по древесным кернам, взятых из 30 деревьев в трех соседних лиственничных древостоях. Взаимосвязь между климатом и приростом анализировалась ежемесячно и сезонно в период 1962-2009 гг. с использованием климатических данных метеорологической станции Ерөө. Анализ экстремальных годов сильного и слабого роста охватывал тот же период времени.

**Результаты:** Наш анализ хронологии лиственницы показал, что осадки осенью предыдущего года и непосредственно перед началом вегетационного периода текущего года были самым решающим фактором, определяющим рост деревьев. Анализ экстремальных годов сильного и слабого роста дополнительно также показал, что влажное лето и осень с последующей теплой весной способствуют текущему росту годичного кольца в этих лиственничных древостоях. Наши результаты были сопоставимы с березовым исследованием в той же области. Однако, лиственницы показали более высокие темпы роста и более терпимы к высоким температурам, особенно весной в пиковый период пожара.

**Выводы:** Наличие воды является решающим фактором роста лиственницы в горной лесостепи. Хронология не показала климатических признаков массового заражения насекомыми. Наличие воды является решающим фактором роста лиственницы в горной лесостепи. Хронология не показала климатических признаков массового заражения насекомыми. Различия в отношениях между климата и роста деревьев березы и лиственницы в пиковый сезон пожаров могут быть в какой-то степени объяснены их соответствующими средствами защиты от низкоинтенсивных поверхностных пожаров (нап. толстой коры лиственницы). Эти пожарные события регулярно происходят в регионе и зависят от климатических факторов. Наш анализ и сопоставление взаимосвязи климата и роста деревьев могут быть полезными для развития климатически устойчивого и устойчивого к воздействиям лесного хозяйства в монгольских горных лесных экосистемах.

**Ключевые слова:** сибирская лиственница, горная лесостепь, Монголия, взаимосвязь климата и роста, экстремальные годы сильного и слабого роста, белая береза, лесные пожары

**Background**

The genus *Larix* Mill. is widely distributed over the boreal forest biome of the Northern hemisphere. It dominates the Eurasian light taiga forests, especially in Eastern Siberia and Northern Mongolia (Martinsson and Lesinski 2007; Dorjsuren 2014). Larch is shade intolerant and typically grows in clay soils with relatively high pH levels and limestone content (Martinsson and Lesinski 2007; Kraznoshekov 2013; Tikhonova et al. 2014). Larch is able to survive in regions characterized by extreme cold temperatures (Antropov et al. 2013). Climate conditions characterized by rapid seasonal transition from cold winters to spring combined with sufficient monthly soil moisture levels and short but intensely warm summers are considered favorable for Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) (Martinsson and Lesinski 2007).

Siberian larch is one of the prevailing wood species in forests of the distinctive mountain forest steppe in Northern Mongolian, a transition zone between the northern boreal forest of the Siberian taiga to the dry steppes of Inner Asia (Mühlenberg et al. 2012). Sun exposure and other microclimatic conditions combined with the prevailing disturbance regime, which is fire (MET 2016), are decisive factors for site-specific vegetation: the northern slopes are largely forested, whereas the southern slopes are dominated by steppe vegetation. Certain landscape features can either soften or pronounce the local effects of climatic factors on vegetation. Landscape features in connection with vegetation and ground cover also play an important role in the protection of discontinuous permafrost and water runoff (Swanson 1996; Kopp et al. 2014; 2016).

It is well-established that the Earth's climate is currently changing (IPCC 2013). The effects of climate change in Mongolia have been particularly severe where rising average temperatures are among the highest in the world (Oyuntuya et al. 2015). The pronounced effects of ongoing and projected climatic changes have drawn attention to the vulnerability of boreal and temperate forest ecosystems throughout Eurasia (Lindner et al. 2010; Cui et al. 2016). Moreover, numerous natural forest sites in Northern Mongolia have degraded over past decades and the overall forest area has decreased (Hansen et al. 2013; Khishigjargal et al. 2014). In addition to increasing anthropogenic pressures such as logging and livestock breeding, global climate change is expected to influence the future distribution, composition and structure of forests in Mongolia, and have an impact on larch forests in particular (Dulamsuren et al. 2011; Natsagdorj 2014). According to the National Forest Inventory, larch

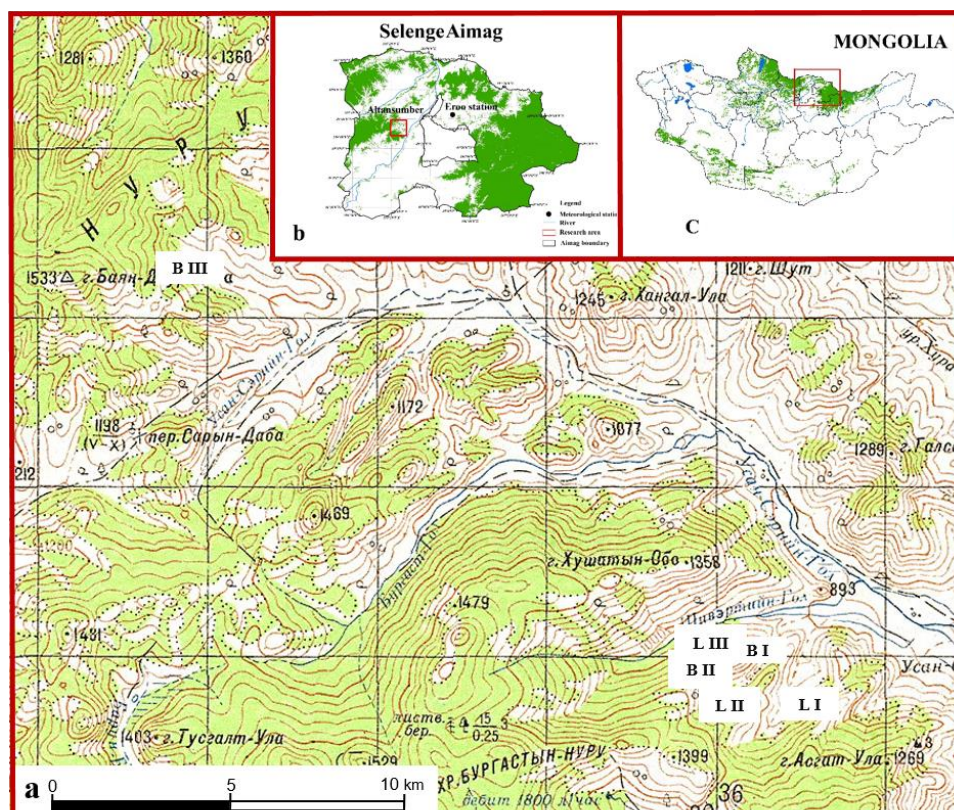
and birch forests together represent more than 70 % of the total forest land area in Northern Mongolia (MET 2016). Siberian larch represents Mongolia's most important commercial tree species and projections of increasing disturbance frequency, such as recently observed forest fires and insect outbreaks, raise important concerns (Dulamsuren et al. 2010a; 2014; Khishigjargal et al. 2014).

The disturbance-prone mountain forest steppe zone represents the southern distribution border for Siberian larch in Mongolia, where it is often associated with white birch (*Betula platyphylla* Sukaczew). In recently disturbed forest sites, birch and larch can be found growing within the same valley as pure, single-species stands, or as mixed-species stands. In regions of the Selenge Aimag in Northern Mongolia, logging activity and high intensity fires caused larch forest area as pure or mixed-species to decrease, while increasing birch forest area (Gradel et al. 2010). Larch forest degradation in the mountain forest steppe has been the subject of considerable research (Dulamsuren 2010a; 2010b; Dulamsuren et al. 2011; Kishigjargal et al. 2014). To our knowledge, no study has yet compared how Siberian larch and white birch are influenced by climatic factors. Studies on pine (*Pinus sylvestris* L.) (Haensch 2015) and birch (Gradel et al. 2017) from the western Khentey Mountains indicate that there could be differences between larch and birch, especially during spring at the peak of the fire season in Mongolia. Larch and birch vary in their ability to survive and regenerate following fires. As is the case with Scots pine, larch tends to have thicker bark providing protection from fire damage (Martinsson and Lesinski 2007). Conversely, birch is more prone to fire damage because of thinner bark, but is able to regenerate vegetatively after severe large-scale disturbances including fires (Rydberg 2000; Johansson 2008). Our general objectives in this study were: (i) to describe and understand specific responses of Siberian larch to climatic factors observed in the Mongolian mountain forest steppe zone, and (ii) to compare our results with those recently obtained for white birch observed in the same area using the same methodology (Gradel et al. 2017). Building on previous studies on larch, pine and birch in the Selenge Aimag of Mongolia (Dulamsuren et al. 2011; Haensch 2015; Gradel et al. 2015a; Gradel et al. 2017), we hypothesize that larch growth depends largely on sufficient levels of rainfall specifically in late summer and autumn of the previous year, and that temperature-growth relationships for the two species will differ during the peak fire season in spring.

## Materials and methods

### Study area

We conducted our study in Altansumber (49°29'07.29"N; 105°31'30.36"E) located in the province of Selenge Aimag in Northern Mongolia (Fig.1). Situated at an elevation between 900 and 1200 metres above sea level, the area is a prime example of the Mongolian mountain forest steppe zone. Forests consist of secondary growth stands dominated either by Siberian larch or white birch on north and northwest-facing slopes. Soils below larch stands in Altansumber are heavy with calcium content and with permafrost below a depth of one meter (Khutakova et al. 2016). Most stands in the study area have been affected by fire and small-scale logging activities (Gradel et al. 2015b). The area is inhabited by traditional nomads, whose livelihoods depend on raising livestock and small-scale agriculture. For our research, we sampled trees located in stands composed of 85-100% larch. We established three plots within each stand in compliance with design guidelines for taiga forests (Gadow and Hui 2007).



**Fig. 1:** a) The larch stands (LI, LII, LIII) and birch stands (BI, BII, BIII) located in b) Altansumber in the Selenge Aimag in c) Northern Mongolia. (Maps: Institute of Geography-Geoecology, MAS, Ulaanbaatar and Czech-Mongolian Forest Project 2015-2017). Map elevations are in metres.

At each plot, we measured the dbh (diameter outside bark at breast height) and position of each tree above a minimum size of 7 cm dbh and assessed visible signs of impacts by earlier disturbances such as fires (e.g. blackened trunks) and logging (stumps). Signs of prior fires were found on all plots (Table 1).

**Table 1:** *Biophysical attributes of the three Siberian larch stands in Altansumber.*

Stand	Location (lat/long)	Elevation (m.a.s.l.)	Aspect	Number of plots	Plot size (m <sup>2</sup> )	Past disturbances	Density (Stems/ha)	Basal area (m <sup>2</sup> /ha)	Mean dbh (cm)
LI	49°28'57.96''N/105°31'40.95''E	911	NW	3	2500	fire	1389	15.292	11.0
LII	49°28'52.54''N/105°30'34.26''E	976	NW	3	2500	fire, logg.	565	23.179	21.8
LIII	49°29'30.34''N/105°30'29.15''E	913	N	3	2500	fire; logg.	232	17.475	30.2

*L* larch stands (85-100% larch trees), *LI* larch stand with dominantly small diameters, *LII* larch stand with relatively medium diameters *LIII* larch stand with relatively large diameters, *fire* signs of fire impact, *logg.* signs of previous logging (stumps).

Records for 1961-2009 from the Eroo climate station (49°48'N, 106°42'E, ca. 900 m.a.s.l.) show that mean annual temperature was -1.8 °C with mean monthly temperatures of -27.1°C and 18.8°C for January and July, respectively. Mean annual precipitation was 278 mm, 92% of which fell almost exclusively as rain from April through September. For our analysis, we used the mean monthly temperature and monthly total precipitation.

### ***Development of the larch tree-ring chronology***

We extracted and prepared about 50 radius core samples from the three larch stands following standard dendrochronological techniques (Stokes and Smiley 1996). Cores were extracted with an increment borer of 5 mm in diameter at a height of 1 m above the ground, according to Dulamsuren et al. (2011). Cores from young trees <45 years were exempted from further analyses since they did not cover the whole period of the climate records. Fritts (1976) suggested that for climate studies, one core per tree is sufficient if more than 14 trees are sampled. However, for 11 trees, a second core was sampled at an angle of 90° clockwise from the first core sample to control for missing and false tree rings, which are common in the semiarid environment of Mongolia (Dulamsuren et al. 2011). Each core's tree-ring widths were measured with a Megatron movable object table at a precision of 10 µm and recorded with the programme Berlin Muehle 4 1.0. Preliminary evaluations of single tree-ring series were conducted using the program TSAP-Win 4.69.

Crossdating between single tree-ring series was based on Gleichläufigkeit (synchronicity) (Eckstein and Bauch 1969; Kaennel and Schweingruber 1995) and the crossdating index (CDI) which combines Gleichläufigkeit and t-values (Chichocki et al. 2004). Chronology building and evaluation of cross-correlation was conducted using the programs TSAP-Win and COFECHA 6.06P (Cook 1985). The tree-ring series were processed with a segment length of 30 years lagged successively by 15 years. We removed series which did not correlate significantly at the 99 % confidence level (threshold 0.58; taken from COFECHA). To detrend the final chronology, we used the program ARSTAN (Holmes 1983). We opted for a cubic smoothing spline with a 50% cut-off at 10 years (Holmes et al. 1986). Statistical evaluations of the residual chronology and tree-ring series was performed with dplR 1.6.3 (Bunn 2008) in R (R Development Core Team 2015).

### *Statistical analysis of climate-growth relationships*

The residual larch chronology was used for correlation function analysis with the climate records of monthly mean temperatures and monthly total precipitation. Radial growth activity of Siberian larch is pronounced in June and July and then decreases (Antonova and Stasova 1997). We therefore used a 15-month time window from June of the previous year to August of the current year. We also pooled the climate records according to the seasons in Mongolia (winter: November-March, spring: April-May, summer: June-August, autumn September-October). Pearson product moment correlation coefficients were computed from 1962 to 2009 between the residual chronology and each monthly or seasonal record using the program DENDROCLIM 2002 1.0.0.1 (Biondi and Waikul 2004). For each correlation analysis, 95 % confidence intervals were derived from 1000 random bootstrapped samples (Biondi and Waikul 2004).

### *Pointer year analysis*

Due to climate or other impact factors as natural or anthropogenic disturbances, trees can experience years with extreme growth conditions, so-called event years. These event years can trigger the development of above-average wide or narrow tree rings (Schweingruber et al. 1990). We searched for such event years in our larch residual chronology. Event values were detected using the program Weiser 1.0 (García-González and Fonti 2006) with a 5-year window for the indexation (Cropper 1979). Indices obtained were compared against a threshold value of 0.3, which corresponds to a standard deviation of 30 % (Gradel et al. 2017). A positive or negative event year was identified if a respective index-value exceeded

the threshold value of |0.3| and if  $\geq 80\%$  cores of the residual chronology showed this tendency (Schweingruber 2012). We limited the maximum number of pointer years for one chronology to the six strongest negative and positive pointer years (Gradel et al. 2017).

We verified pointer years against our monthly and seasonal climate records over the 1962-2009 period. For seasonal climate records, evaluation values were plotted in cross diagrams. We compared Siberian larch and white birch pointer years from Altansumber (Gradel et al. 2017). Finally we created comparative diagrams that show how selected pointer years are associated with cool or warm and humid or dry conditions during prior or current year seasons.

**Results**

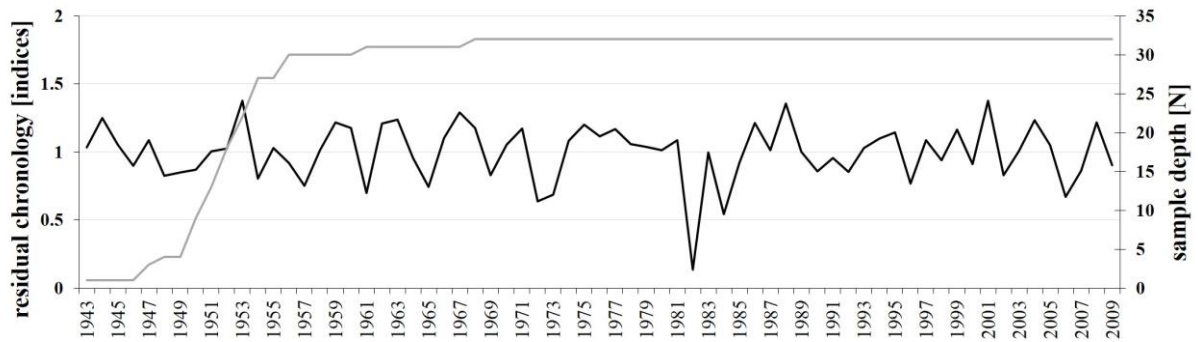
For Altansumber, we developed a larch residual chronology that extended from 1943-2009 (Fig. 2). Residual chronology statistics included an expressed population signal  $>0.85$  (Table 2) indicating the residual chronology represented a theoretical population of the region (Wigley et al. 1984). Robustness of the residual chronology was confirmed with high mean values of the R-bar statistic (Table 2). Mean sensitivity and standard deviation values indicated high year to year variability (Table 2).

**Table 2:** *Siberian larch chronology statistics.*

Raw chronology						Residual chronology		
Sample size	Length	ring-width (mm) $\pm$ SD	Ov. interseries correlation	MGL (%)	AC1	MS	Rbar	EPS
30	1943-2009	1.72 $\pm$ 1.45	0.71	0.75	0.72	0.36	0.57	0.97

*Ov. interseries correlation* average correlation of each series with a master chronology (Bunn and Korpela 2014), *MGL (%)* mean „Gleichläufigkeit“, *SD* standard deviation, *AC1* first-order autocorrelation, *MS* mean sensitivity, *Rbar* mean interseries correlation, *EPS* expressed population signal





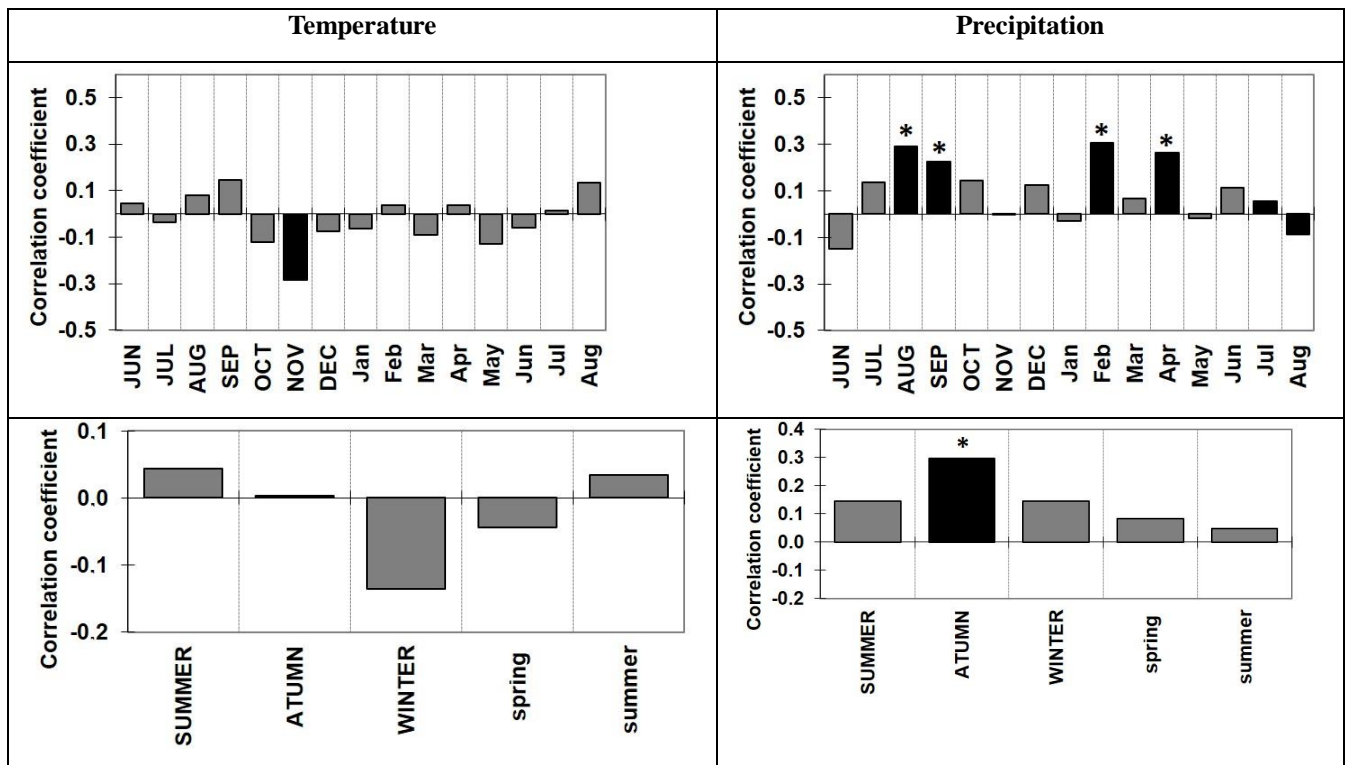
**Fig. 2:** Altansumber Siberian larch residual chronology ring-width indices (black curve) and sample depth or number of cores included in the chronology each year (grey curve).

### *Climate-growth relationships*

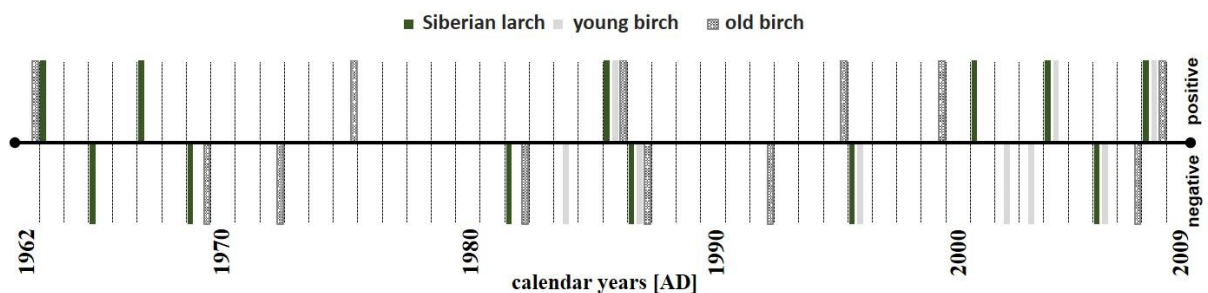
Monthly total precipitation showed positive correlations with growth during previous year July to October and current year February to April (Fig. 3). Of these correlations, four were significant and occurred with previous year August and September and current year February and April ( $p < 0.05$ ). Likewise, seasonal patterns of precipitation showed positive correlations with growth, particularly during previous year autumn ( $p < 0.05$ ). In contrast, monthly mean temperature showed less pronounced negative correlations with growth except for previous year November, although the correlation was not significant. Seasonal patterns of mean temperature showed weak correlations with growth.

### *Pointer year analysis*

Based on our threshold, we identified six positive and six negative pointer years and compared these with pointer years of young and old birch trees (Gradel et al. 2017). Consistent pointer years throughout all chronologies included 1986 and 2008 as positive pointer years and 1987 as a negative pointer year.



**Fig. 3:** Correlation coefficients of the monthly and seasonal temperature-growth and precipitation-growth relationships from 1962–2009. Black bars indicate a correlation coefficient >0.2 and the asterisk (\*) indicates significance with  $p < 0.05$ .



**Fig. 4:** Positive and negative pointer years from 1962 to 2009 for Siberian larch and young and old birch in Altansumber.

Although we did not test for significance due to a few observations of pointer years, we found seasonal analysis of pointer years showing negative pointer years were more often associated with dry conditions both in the previous and current year.

The previous year summers of the positive pointer years were often above-average humid. Spring of the positive pointer years was rather warm and sometimes humid (Fig. 5).

Based on the selected positive versus negative pointer year comparative diagrams, 1986 and 2008 were identified as positive pointer years, showing above average monthly total

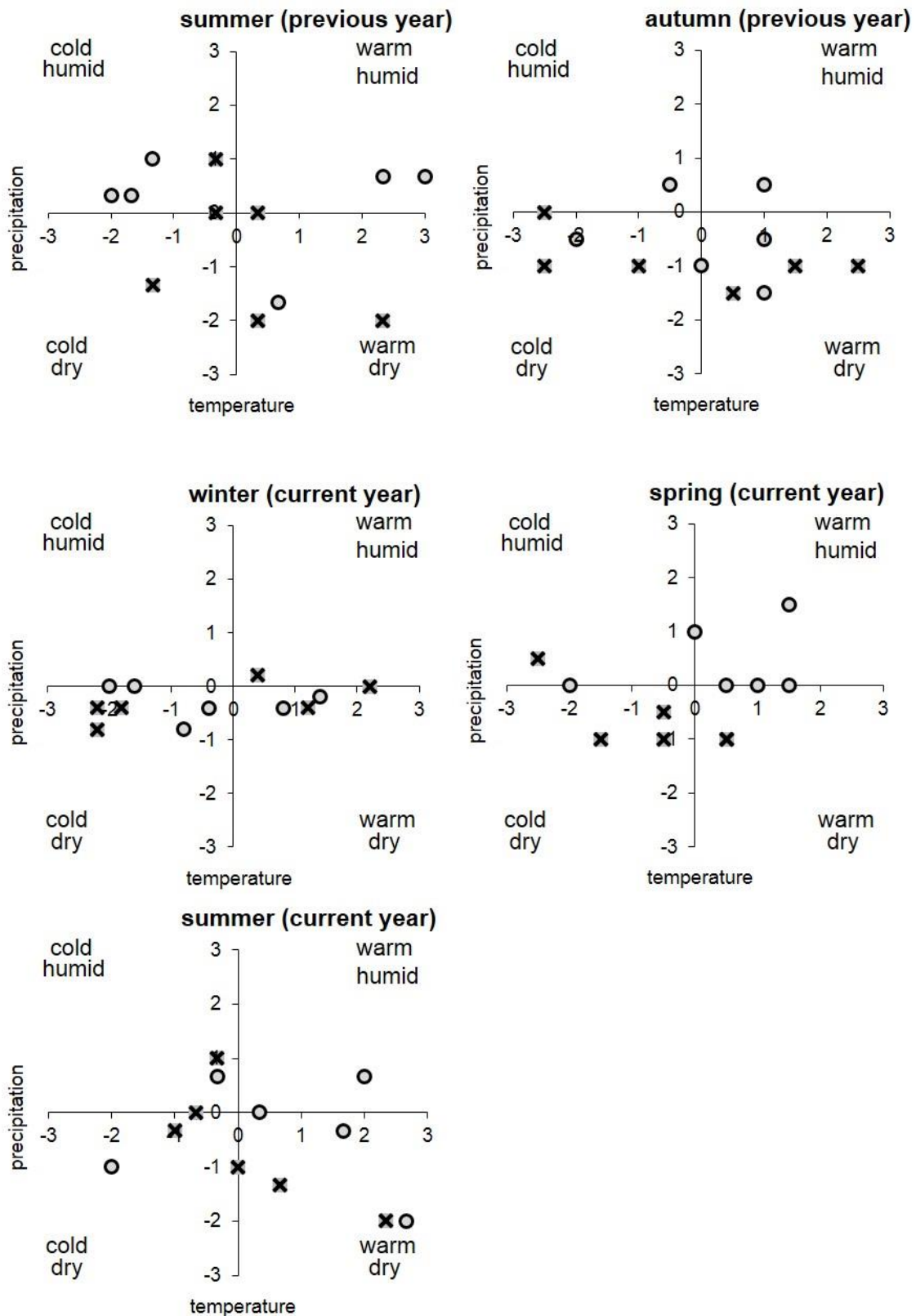
precipitation during the previous and current year vegetative period (previous July-September and current May-June or May-July) (Fig. 6). Conversely, 1969 and 1996 were identified as negative pointer years showing below average monthly total precipitation during the previous and current year vegetative period (previous June-September or July-August and current March-July or April-August) (Fig. 6). No distinct pattern was identified with monthly mean temperature.

## ***Discussion***

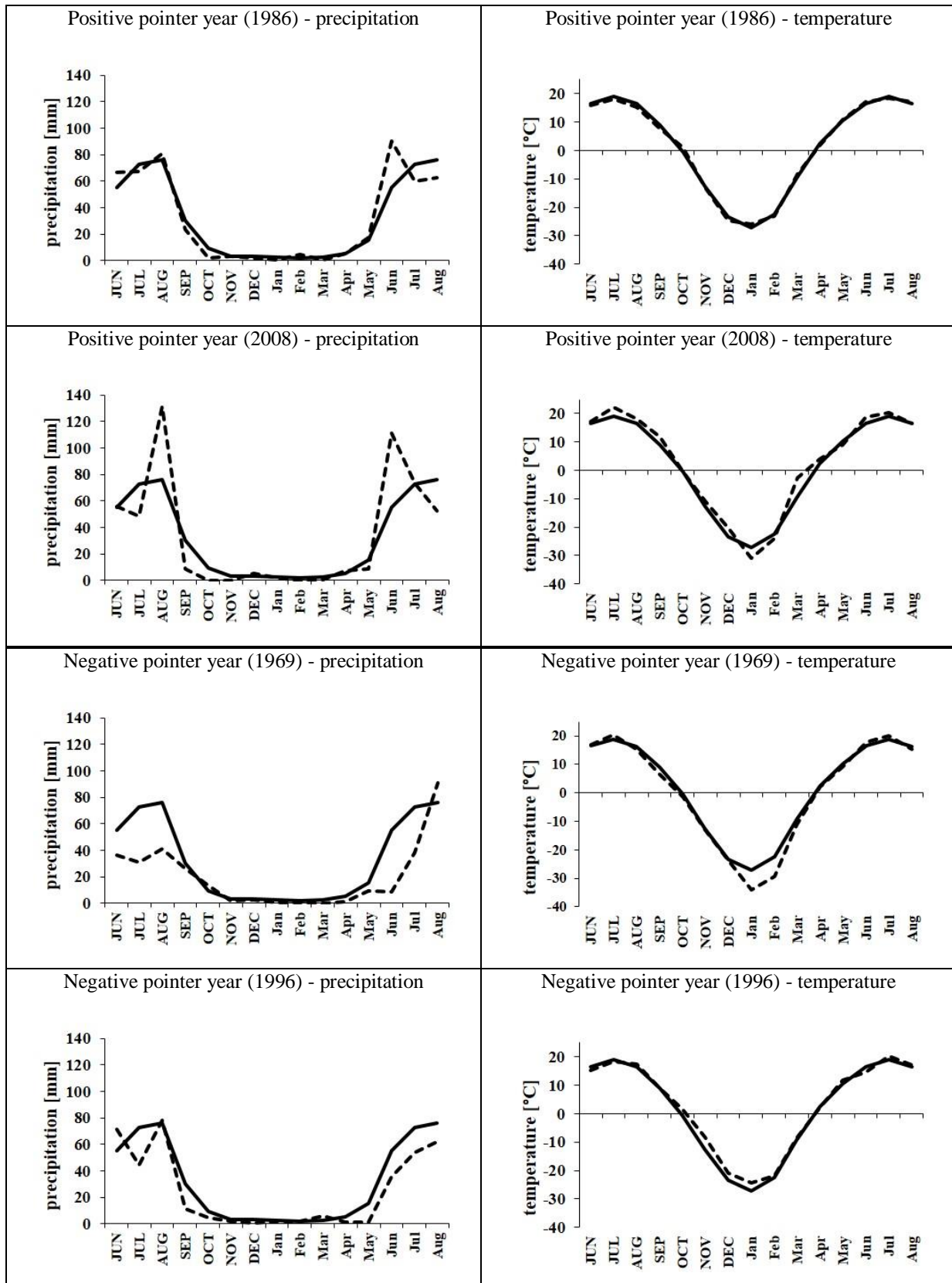
### *Larch growth response to climatic factors in the mountain forest steppe*

Our correlation results suggest that above-average precipitation at the end of the vegetation period of the previous year (August and September) and directly before and at the start of vegetation (February and April) of the current year is the most important climatic factor for growth of Siberian larch in the research area. A positive relationship between current-year growth and precipitation rates from the previous year measured in August and September was found in several other studies from Northern Mongolia (e.g. Dulamsuren et al. 2011; Khishigjargal et al. 2014). The late accumulation of photoassimilates during the previous year has been attributed as a positive effect on the development of earlywood in spring of the current year (Dulamsuren et al. 2011; Babushkina and Belokopitova 2014).

The pointer year analysis indicated that characteristics supporting above average growth on northern slopes in the region are: a humid summer of the previous year, followed by a relatively warm and humid spring. On the contrary, a dry summer and autumn of the previous year, followed by a relatively dry and cool spring and a dry summer, triggered relatively low growth productivity. Previous year dry autumn weather conditions appeared to negatively affect larch growth rates. Increased summer droughts have been denoted in previous studies as being a key factor for reduced radial growth of larch trees across the northern hemisphere (Pederson et al. 2001; Dulamsuren et al. 2010b; Khishigjargal et al. 2014; Lévesque et al. 2014). Khishigjargal et al. (2014) found that recent increases in the frequency of summer droughts have promoted the frequency of growth anomalies such as narrow latewood. In the context of the patterns of observed climate change in Mongolia (Oyuntuya et al. 2015), these results indicate that warmer and drier vegetation periods lead to lower growth productivity and may contribute to decreasing forest area.



**Fig. 5:** Seasonal pointer years for the Siberian larch detrended chronology. Positive pointer and negative pointer years are shown as circles and crosses respectively.



**Fig. 6:** Selected Siberian larch and white birch pointer years. Average course of precipitation and temperature over 1961–2009 shown as solid line. Actual course of precipitation and temperature shown as dashed line.

Tree growth at high elevations, however, has been shown to correlate positively with higher summer temperatures (Kolář et al. 2015; Wilson et al. 2016). Therefore, in a cold high-elevation environment with a subzero annual mean temperature, as in the Mongolian Altai Mountains, an increase in temperature could theoretically promote the growth and productivity of larch trees (Dulamsuren et al. 2014). Drought stress has also been indirectly identified as a contributing factor to poor growth rates of larch in less continental regions. A dendrochronological study on European larch (*Larix decidua* Mill.) in Lithuania indicated that precipitation during the vegetation period was the most important environmental factor influencing growth during the pointer years (Vitas 2015). In this study tree-ring width of European larch positively correlated with precipitation in June and with air temperature in April and May, but showed negative correlation with air temperatures of the previous summer (Vitas 2015).

Local topographic features such as aspect in semi-arid Mongolia create a unique set of conditions during the seasonal transition (MET 2016; Xu et al. 2016), notably at the beginning and end of the vegetation period. The degree of solar radiation determined by these landscape features likely has a stronger influence during this period than during the summer. Snow melts faster, for example, on south-facing slopes than on the north-facing slopes where the soil is kept cooler for longer periods. This may also be the case for night frost events when longer periods before sun exposure maintain coldness and humidity levels longer before the soil slowly warms. During summer the angle of the sun is high and exposition effects therefore may become less important. When a forest occurs on both south and north-facing slopes, differences in growth activity can be expected to be more pronounced (e.g. the start and end of growth, tree-ring width). A certain mean daily threshold value of temperature is necessary to trigger cell growth, as reported by Antonova and Stasova (1997), who calculated the optimal values for larch growth in central Siberia. In this respect, interpretation of our findings is more appropriate for the stands on north-facing slopes. A more precise assessment of growth differences between trees established on both south and north-facing slopes would need to be supported by fine-scale spatial meso- and microclimate measurements (see Viewegh et al. 2003; Kusbach et al. 2012).

Several studies have drawn attention to the negative impact of herbivore insects, especially the gypsy moth (*Lymantria dispar* L.), can have on growth of larch trees in Mongolia (Hauck et al. 2008; Dulamsuren et al. 2010a; 2011; Khishigjargal et al. 2014). Given that the survival

and development of the gypsy moth population can be directly related to certain climatic factors, such as temperature especially during winter, climate-growth relationships can be indicators of insect infestations with potentially negative effects on the growth of larch trees (Dulamsuren et al. 2011). Our analysis of the climate-growth relationship presented here for larch observed in the Altansumber forest provided no indication that these stands may have suffered from insect infestation. Given that we were unable to identify such a specific relationship (i.e. a significant negative relationship with precipitation and temperature during the peak of winter), we can assume that insect infestation was less important for larch trees in the study area. Considering also the results of other studies (Dulamsuren et al. 2011; Gradel et al. 2017), we suggest that insect infestations in the mountain forest steppe zone may be less common compared to the taiga zone. Potential causes for this may be differences concerning the overall cover and compactness of forest patches within these zones or certain microclimatic conditions (e.g. related to specific aspects or higher accumulation of snow coverage) that can favor infestations.

*The climate-growth relationship of Siberian larch compared to white birch*

Despite the devastating impact of forest loss and ongoing climate change in Mongolia (MARCC 2014; Oyuntuya et al. 2015), there is only limited data available on climate-growth relationships for the two dominant tree species, Siberian larch and white birch. Comparative analyses between these two species growing in a single area do not exist so far. The comparisons we make in the present study between our results on larch and results from a previous work focused on young and mature birch trees (Gradel et al. 2017) may prove highly valuable for furthering our understanding of ecology in the mountain forest steppe zone. Our results strongly indicated that similarities exist between the two species. Effectively, analyses of the present study and recent work by Gradel et al. (2017) showed that precipitation is the most decisive climatic factor for both species. Many of the pointer years that were identified in the larch chronology also occurred for the chronologies of the young and/or mature birches observed in the Altansumber forest. Analysis of these years consistently provided us with a clear picture of precipitation patterns (wherein negative years indicated droughts and positive years indicated above-average precipitation; see Fig. 6 and Gradel et al. 2017). Patterns showing monthly correlation between growth and precipitation for both species also showed similarities.

However, the correlation coefficients with monthly temperature showed stronger negative, sometimes significant values for the birches, younger trees in particular. It is unlikely that birch is less well adapted to the dry and sometimes hot steppe conditions as this species populates the most southern outposts of all tree species of the Northern Mongolian steppe forests (Otoda et al. 2013; Gradel et al. 2017), notably in areas where larch have trouble surviving. The strong negative correlation of birch growth with temperatures in May (peak fire season) proved to be the most significant difference in Altansumber (Gradel et al. 2017) compared to the non-significant relationships drawn from our own larch chronology. We also observed differences in the growth performance between larch and birch growing in Altansumber. The growth performance and production of larch were clearly higher than those of birch in the same area (compared with Gradel et al. 2017). The mean width of tree-rings for the larch was  $1.72 \text{ mm} \pm 1.45 \text{ (SD)}$  and  $0.26 \text{ (SE)}$  compared to  $1.18 \text{ mm} \pm 0.8 \text{ (SD)}$  and  $0.17 \text{ (SE)}$  for the young birches (average age of 30 years) and  $1.03 \text{ mm} \pm 0.74 \text{ (SD)}$  and  $0.18 \text{ (SE)}$  for the old birch trees (average age of 72 years) (Gradel et al. 2017). A very similar scenario was observed in fire-disturbed sites of mixed birch-pine stands on largely south-facing slopes of the western Khentey Mountains (taiga zone; Bugant). Data from dendrochronological examinations conducted for mean annual ring growth showed an average of  $1.94 \text{ mm} \pm 0.61 \text{ SD}$  for the pine trees, and  $1.13 \text{ mm} \pm 0.59 \text{ SD}$  for same old birch trees within the same stand (Haensch 2015). Competitive status for both species were similar. The significant negative correlation of birch growth with temperatures in April (peak fires season) proved to be the most significant difference of the climate-growth relations between the two species. No significant temperature-growth relations were found for the pine trees (Haensch 2015). This means that the comparison of temperature-growth relationships for pine and birch showed an analogous scenario resembling previously outlined relationships between larch and birch. It is worth noting, however, that an important difference between the two species was the degree of fire damage sustained on lower stems: birch trees exhibited signs of having suffered as much as eight times more fire damage than the thick barked pine trees within the same stand (Gradel et al. 2015a). Fire can damage the phloem and consequently affect transport of photoassimilates throughout a tree (Lüttge et al. 2005). Damage to the cambium can affect production and slow radial growth. While most trees are able to survive fire damage, the secondary effects can have a negative effect on growth performance for several years following. The average fire return interval in the western Khentey pine-birch forest was found to be only around 11.6 years (Oyunsanaa 2011).



*Indication from climate-growth relationships to species-specific sensitivity to different fire regimes*

Fire represents the most important and most frequent natural disturbance occurring throughout boreal forest ecosystems (Goldammer and Furyaev 1996), especially in Mongolia (MET 2016). Already the very first article listed in the Forest Law of Mongolia prioritizes prevention of forest and steppe fires (MOLF 2015). All sampled Siberian larch and white birch stands in Altansumber exhibited signs of previous disturbance by fire (Gradel et al. 2015b; Gradel et al. 2017). The observed differences between larch and birch in Altansumber, and similarly between pine and birch in Bugant, could in part be linked to species-specific responses to forest fires.

Fire activity in Mongolia is highest in April and May (Goldammer 2002), which also was the time for the significant negative temperature-growth relation in all birch chronologies (Haensch 2015; Gradel et al. 2017). Data from the Selenge Aimag, for example, show that more than 80 % of the annual forest fire events occur in April or May (Goldammer 2002). We did not, however, find any indication that fire damage directly impacted results of the larch trees, but there is a lot of indication that it impacted birch (Gradel et al. 2017). Due to its thick bark (Martinsson and Lesinski 2007), the cambium of larch provides more protection against surface fires than that of birches. A recent study has shown the close association of fire driven ecosystems and tree species with thick bark at a global scale across different vegetation zones (Pellegrini et al. 2017). Pausas (2014) showed that the nature of the fire regime occurring within an ecosystem determines to what extent thick bark provides trees with special protection against fires. For example, there are fire regimes which are mainly selective for thick bark on the lower stem or even fire regimes dominated by high-intensity crown fires in which the resource-consuming development of thick bark no longer offers any adaptation advantages (Pausas, 2014). In contrast to the birch, larch has a particularly thick bark (Martinsson and Lesinski 2007), which is an important protective mechanism against surface fires. The severity of disturbances occurring in forest ecosystems is commonly described by the degree of removal of overstory trees (Puettmann and Ammer 2007). Low intensity surface fires favor the selection of fire-tolerant trees, whereas high-intensity fire events, which usually include crown fires, can prompt the stand replacement process and promote stand development by creating favorable conditions for new growth and successional stages (Goldammer and Furyaev 1996). Low intensity fires are fueled primarily by the ground cover

and ground vegetation and besides climate factors the specific fuel conditions (fine fuel) have been suggested to be one potential control on the fire regime (Hessl et al. 2012). It is likely that the natural disturbance regime plays an important role in competition between birch and thick-barked conifer species. A low intensity fire regime, which usually consists of surface fires, may therefore favor the growth dominance of larch. A stand-replacing fire regime, however, may support regeneration of birch because of its re-sprouting capacity, which is a common strategy of fire resistant plants (Pausas and Verdu 2005). The nature of the fire regime therefore may selectively regulate the variety of species affected depending on the intensity, which Pausus (2014) addressed indirectly in a study on adaptive survival strategies in other regions. Anthropogenic influences increase the probability of fire events (Sheingauz 1996), given that most fires are caused by human activity (Goldammer and Furyaev 1996). The conditions for fire ignition, frequency and to some degree also severity are largely controlled by climate factors (Jolly et al. 2015). Climate change is expected to trigger more frequent and severe fire disturbances in the taiga forests (Ykhanbai 2010; Tchebakova et al. 2011). However, additional research is needed to show a clear relationship between tree species' specific growth response and fire events. Based on prior research and our results, surface fires appear to be the most plausible contributing factor for the observed differences of larch and birch growth responses.

### *Conclusions*

Direct and indirect effects of climate change will increasingly influence the forests of Northern Asia (IPCC 2013). Our results showed that precipitation is the most decisive climate factor for growth of Siberian larch in the mountain forest steppe. Frequency and severity of disturbances (especially fire) are expected to increase (Tchebakova et al. 2011; Jolly et al. 2015). General options for maximizing the adaptive capacity of ecosystems, mentioned by the IPCC WGII for Asia, include reducing the non-climate impacts, protecting areas and habitat restoration (Hijioka et al. 2014). With reference to Mongolia current initiatives for the management of protected areas and forests are increasingly considering the impact of climate factors and disturbances (MET 2016). Research on the impact of climate factors on tree growth and disturbances can provide scientific information for developing climate and disturbance resilient forest management practices in Mongolia. We found that the main difference between larch and birch concerning sensitivity to temperature coincides with the

peak of the Mongolian fire season. Eventually, furthering our knowledge of climate-growth relationships of the different tree species may support methodologies for better adapted silvicultural treatments, e.g. reforestation. Rehabilitation of larch-birch forests systematically will require advanced knowledge on species site-specific ecology. Fine-scale studies on how topography (gradient, slope and aspect) trigger the effectiveness of climate factors and disturbances (e.g. fire) and therefore influence the response of tree growth may be beneficial for the development of planning alternatives for climate resilient forest management practices.

### ***Acknowledgements***

The plots in Altansumber were established within the UNFAO-project: "*Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia*" (GCP/MON/002/NET). Field work was carried out with the Institute of Plant and Agricultural Sciences, Mongolian University of Life Sciences in Darkhan. The authors thank for financial support provided by DAAD (research grant D/12/41577). We are thankful to the Department of Wood Biology and Wood products (Universität Göttingen) and the Institute of Forest Utilization and Forest Technology (Technische Universität Dresden). We thank Albrecht Bemmann, Claus-Thomas Bues, Björn Günther, Jamsran Tsogtbaatar and the Buryat State Academy of Agriculture in Ulan-Ude. We are especially thankful to Tomas Kolář for his advice during preparation and review of this manuscript. We thank two anonymous reviewers for valuable comments on our manuscript and Aimee Orsini for linguistic corrections.

### **Author's contributions**

A.G. and O.N. conceived and coordinated the research project. A.G., B.G., O.N. and B.D. designed data collection. A.G. and O.N. did the field work with support of B.G. and B.D. A.G. analyzed the field data. A.G. and A.K. wrote the paper and B.G., O.N. and B.D. commented on it. All authors read and approved the final manuscript.

### **Competing interests**

The Authors declare that they have no competing interests.

## References

- Antonova GF, Stasova VV (1997) Effects of environmental factors on wood formation in larch (*Larix sibirica* Ledeb.) stems. *Trees* 11(8): 462-468. doi:10.1007/PL00009687
- Antropov VF, Seredkin AD, Shhepin AA (2013) Forestry of Buryatia. Editors: Krivosheev NP, Egorova AY. Ulan-Ude: EKOS, 184 p. (in Russian)
- Babushkina EA, Belokopytova LV (2014) Climatic signal in radial increment of conifers in forest-steppe of southern Siberia and its dependence on local growing conditions. *Russ J Ecol* 45(5): 325-332
- Biondi F, Waikul K (2004) DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Comput Geosci* 30: 303-311.
- Bunn A, Korpela M (2014) An Introduction to DplR. Available via DIALOG. <https://cran.r-project.org/web/packages/dplR/vignettes/intro-dplR.pdf> Accessed 10 Jun 2015
- Bunn AG (2008) A dendrochronology program library in R (dplR). *Dendrochronologia* 26(2): 115-124
- Chichocki O, Bichler M, Firneis G, Kutschera W, Müller W, Stadler P (2004) The Synchronization of Civilizations in the Eastern Mediterranean in the Second Millenium BC: Natural Science Dating Attempts. In: Buck CE, Millard A (eds): *Tools for constructing Chronologies: Crossing disciplinary boundaries*. Springer, p 260
- Cook ER (1985) A time series analysis approach to tree ring standardization. Dissertation, University of Arizona, Faculty of the School of Renewable Natural Resources, p 171
- Cook, ER, Holmes RL (1986) User's manual for program ARSTAN. In: Holmes RL, Adams RK, Fritts HC (eds) *Tree-ring Chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin*. University of Arizona, Tucson: pp 50–56
- Cropper JP (1979) Tree-ring skeleton plotting by Computer. *Tree-Ring Bull* 39: 47-59
- Cui G, Kwak H, Choi S, Kim M, Lim CH, Lee WK, Kim JS, Chae Y (2016) Assessing vulnerability of forests to climate change in South Korea. *J For Res* 27(3):489-503.doi:10.1007/s11676-015-0201-2
- Dorjsuren Ch (2014) Forest Ecosystems (in Climate change impact and exposure). Published in: Mongolia second assessment report on climate change – MARCC 2014. Ulaanbaatar, pp 94-100
- Dulamsuren Ch, Hauck M, Leuschner HH, Leuschner C (2010a) Gypsy moth-induced growth decline of *Larix sibirica* in a forest-steppe ecotone. *Dendrochronologia* 28: 207-213
- Dulamsuren Ch, Hauck M, Leuschner C (2010b) Recent drought stress leads to growth reductions in *Larix sibirica* in the western Khentey, Mongolia. *Glob Change Biol* 16: 3024-3035
- Dulamsuren Ch, Hauck M, Leuschner HH, Leuschner C (2011) Climate response of tree ring width in *Larix sibirica* growing in the drought-stressed forest-steppe ecotone of northern Mongolia. *Ann For Sci* 68(2): 275-282. doi:10.1007/s13595-011-0043-9
- Dulamsuren Ch, Khishigjargal M, Leuschner C, Hauck M (2014) Response of tree-ring width to climate warming and selective logging in larch forests in the Mongolian Altai. *J Plant Ecol* 7 (1): 24-38. doi: 10.1093/jpe/rtt019
- Eckstein D, Bauch J (1969) Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit. *Forstwiss Centralbl* 88: 230-250
- Fritts H (1976) *Tree Rings and Climate*. London, New York, San Francisco: Academic Press, 1st ed, p 567
- Gadow Kv, Hui GY (2007) Can the species-area relationship be derived from prior knowledge of the tree species richness? *Fores Stud (Metsanduslikud Uurimused)* 46: 13-22
- García-González I, Fonti P (2006) Selecting earlywood vessels to maximize their environmental signal. *Tree Physiol* 26 (10):1289–1296
- Goldammer (2002) Fire situation in Mongolia. IFFN No. 26 - January 2002, p 75-83. Global Fire Monitoring Center, Freiburg. [http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/country/mn/mn\\_11.htm](http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/country/mn/mn_11.htm) Accessed 22 Mar 2017
- Goldammer JG, Furyaev VV (1996) Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia: Ecological Impacts and Links to the Global System. In: Goldammer JG, Furyaev VV, (eds) 1996: *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht , Boston , London: pp 1-20
- Gradel A, Haensch C, Batsaikhan G, Batdorj D, Ochirragchaa N, Günther B (2017) Response of white birch (*Betula platyphylla* Sukaczew) to temperature and precipitation in the mountain forest steppe and taiga of northern Mongolia. *Dendrochronologia* 41: 24-33. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2016.03.005>
- Gradel A, Nemitz D, Guryanov M (2010) Anthropogenic drivers of biodiversity change in the mountain forest steppe of Mongolia. Input of the APMN community to the tenth meeting of the CoP on biodiversity in Nagoya, Japan, 18-29.10.2010. *Asia Pacific Mountain Courier* 10 (2): 1-4
- Gradel A, Ochirragchaa N, Altaev AA, Voinkov AA (2015a) Non-spatial structure of light taiga, damaged by surface fires in the Khentii Mountains (research area Bugant, Northern Mongolia). Paper presented at an international conference in: Kalashnikov IA, Zydypov RZ, Ton SKhA, Ilin YuM., Dardshaev VKh, Numaeva MN, Kalashnikov KI (eds): *Earth and Water Resources: Monitoring the Ecological and Economic Condition and Models of Governance: International Scientific Conference*. Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philipov, Ulan-Ude, 23-25 April, 2015, pp. 198-203. (in Russian)
- Gradel A, Ochirragchaa N, Altaev AA, Voinkov AA, Enkhtuya B (2015b) Spatial distribution of trees on light taiga plots before selective thinning. *Mongolian J Agric Sci* 15 (2): 91-99

- Haensch C (2015) Dendroklimatologische Untersuchung an Mandschurischer Birke (*Betula platyphylla* Suk.) und Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) im Khentii-Gebirge, Mongolei. Master thesis, Technische Universität Dresden, Dresden: s 106
- Hansen MC, Potapov PV, Moore R, Hancher M, Turubanova SA, Tyukavina A, Thau D, Stehman SV, Goetz SJ, Loveland TR, Kommareddy A, Egorov A, Chini L, Justice CO, Townshend JRG (2013) High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science* 342: 850-853
- Hauck M, Dulamsuren Ch, Heimes C (2008) Effects of insect herbivory on the performance of *Larix sibirica* in a forest-steppe ecotone. *Environ Exp Bot* 62:351–356. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.10.025>
- Hessl AE, Ariya U, Brown P, Byambasuren O, Green T, Jacoby G, Sutherland EK, Baatarbileg N, Maxwell RS, Pederson N, De Grandpré L, Saladyga T, Tardif JC (2012) Reconstructing fire history in central Mongolia from tree-rings. *Int J Wildland Fire* 21 (1): 86-92
- Hijioka YE, Lin JJ, Pereira, Corlett RT, Cui X, Insarov GE, Lasco RD, Lindgren E, Surjan A (2014) Asia. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Barros VR, Field CB, Dokken DJ, Mastrandrea MD, Mach KJ, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR., White LL (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, pp 1327-1370
- Holmes RL (1983) Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull.* 43: 69-75.
- Holmes RL, Adams RK, Fritts HC (1986) *Tree-ring Chronologies of Western North America: California, Eastern Oregon and Northern Great Basin with Procedures in the Chronology Development Work including Users Manuals for Computer Programs Cofecha and Arstan*. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona. Chronology Series VI, p 182
- IPCC (2013) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen S.K, Boschung J, Nauels A., Xia Y, Bex V and Midgley PM (eds) Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SPM\\_FINAL.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf) Accessed 22 Jun 2017
- Johansson T (2008) Sprouting ability and biomass production of downy and silver birch stumps of different diameters. *For Ecol Manage* 32 (10): 944-951. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.01.009> Accessed 22 Jun 2017
- Jolly WM, Cochrane MA, Freeborn PH, Holden ZA, Brown TJ, Williamson GJ, Bowman DMJS (2015) Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nat Commun* 6:7537. doi:10.1038/ncomms8537
- Kaennel M, Schweingruber FH (eds) (1995) *Multilingual Glossary of Dendrochronology. Terms and Definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian*. Paul Haupt, Bern, p 467
- Khishigjargal M, Dulamsuren C, Leuschner HH, Leuschner C, Hauck M (2014) Climate effects on inter- and intra-annual larch stemwood anomalies in the Mongolian forest-steppe. *Acta Oeco.* 55: 113-121.
- Khutakova SV, Ubugunova VI, Gradel A, Enkhtuya B (2016) Morphogenetic features of soils of larch forests of terrain Altan Sumber Orkhon-Selenga Middle Mountain. International Conference on „Central Asian Environmental and Agricultural Problems, Potential Solutions“ Institute of Plant and Agricultural Sciences, School of Agroecology and Business of the MULS in Darkhan, 21 -22 April 2016, Darkhan Uul, Mongolia: pp 127-130 (in Russian)
- Kolář T, Čermák P, Oulehle F, Trnka M, Štěpánek P, Cudlín P, Hruška J, Büntgen U, Rybníček, M, (2015) Pollution control in the 1980s contributed to unprecedented spruce growth in the “Black Triangle”, the Czech-Polish border region. *Sci Total Environ* 538: 703–711. doi:10.1016/j.scitotenv.2015.08.105
- Kopp BJ, Lange J, Menzel L (2016) Effects of wildfire on runoff generating processes in northern Mongolia. *Reg Environ Change*. (2 May 2016). doi: 10.1007/s10113-016-0962-y
- Kopp BJ, Minderlein S, Menzel L (2014) Soil moisture dynamics in a mountainous headwater area in the discontinuous permafrost zone of northern Mongolia. *Arct Antarct Alp Res* 46(2): 459-470. doi: <http://dx.doi.org/10.1657/1938-4246-46.2.459>
- Kraznoshekov Yu N (2013) Soil cover and soils of Mountain forests of Northern Mongolia. Editors: Onutshin AA. Nauka, Novosibirsk, 195 p. (in Russian)
- Kusbach A, Long JM, van Miegroet H, Shultz ML (2012) Fidelity and diagnostic species concepts in vegetation classification in the Rocky Mountains, northern Utah, USA. *Botany* 90: 678–693
- Lévesque M, Rigling A, Bugmann H, Weber P, Brang P (2014) Growth response of five co-occurring conifers to drought across a wide climatic gradient in Central Europe. *Agr For Meteorol* 197: 1–12
- Lindner M, Maroschek M, Netherer S, Kremer A, Barbari A, Gonzalo JG, Seidl R, Delzon S, Corona P, Kolström M, Lexer MJ, Marchetti M (2010) Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *For Ecol Manag* 259(4): 698-709
- Lüttge U, Kluge M, Bauer G (2005) *Botanik*. 5. Aufl. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, p 65
- MARCC (2014) *Mongolian Second Assessment Report on Climate Change*. Ministry of Environment and Green Development of Mongolia, Ulaanbaatar, p 302
- Martinsson O, Lesinski J (2007) *Siberian larch - Forestry and Timber in a Scandinavian Perspective*. Jämtlands County Council Institute of Rural Development, Sweden, p 91
- MET (Ministry of Environment and Tourism) (2016) *Multipurpose National Forest Inventory 2014-2016*, 1st edn. Ministry of Environment and Tourism, Ulaanbaatar, Mongolia.

- MOLF (2015) The purpose of this law is to regulate relations on protection, restoration, afforestation, possession, use of forests and prevention from forest and steppe fires (in Mongolian). <http://www.legalinfo.mn/law/details/12171>, Accessed 23 Mar 2017
- Mühlenberg M, Appelfelder J, Hoffmann H, Ayush E, Wilson KJ (2012) Structure of the montane taiga forests of West Khentii, Northern Mongolia. *J Forest Sci* 58(2): 45-56.
- Natsagdorj L (2014) Climate change adaptation strategy and measures. Published in: Mongolia second assessment report on Climate Change – MARCC 2014. Ulaanbaatar, p 183-202
- Otoda T, Sakamoto K, Hirobe M, Undarmaa J, Yoshikawa K (2013) Influences of anthropogenic disturbances on the dynamics of white birch (*Betula platyphylla*) forests at the southern boundary of the Mongolian forest-steppe. *J For Res* 18: 82-92
- Oyunsanaa B (2011) Fire and stand dynamics in different types of the West Khentey Mountains, Mongolia. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen, p 119
- Oyuntuya Sh, Dorj B, Shurentsetseg B, Bayarjargal E (2015) Agrometeorological information for the adaptation to climate change. In: Badmaev NB, Khutakova CB (eds): Soils of Steppe and Forest Steppe Ecosystems of Inner Asia and Problems of Their Sustainable Utilization: International Scientific Conference. Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philipov, Ulan-Ude, 135-140
- Pausas JG (2014) Bark thickness and fire regime. *Funct Ecol* 29 (3): 315-327. doi: 10.1111/1365-2435.12372
- Pausas JG, Verdu M (2005) Plant persistence traits in fire-prone ecosystems of the Mediterranean basin: a phylogenetic approach. *Oikos* 109:196-202
- Pederson N, Jacoby GC, D'Arrigo RD, Cook ER, Buckley B, Dugarjav C, Mijiddorj R, (2001) Hydrometeorological reconstructions for northeastern Mongolia derived from tree-rings: 1651-1995. *J Climate* 14: 872-881
- Pellegrini AF, Anderegg WRL, Paine CET, Hoffmann WA, Kartzinel T, Rabin SS, Sheil D, Franco AC, Pacala SW (2017) Convergence of bark investment according to fire and climate structures ecosystem vulnerability to future change. *Ecol Lett* 20 (3): 307-316. doi: 10.1111/ele.12725
- Puettmann KJ, Ammer C (2007) Trends in North American and European regeneration research under the ecosystem management paradigm. *Eur J Forest Res* 126(1): 1-9
- Sheingauz AS (1996) The Role of Fire in Forest Cover, Structure, and Dynamics in the Russian Far East. In: Goldammer JG, Furyaev VV (eds): Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht / Boston / London: 186-190.
- Schweingruber FH (2012) Der Jahrring–Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Verlag Kessel, Remagen-Oberwinter, p 234
- Schweingruber FH, Eckstein D, Serre-Bachet F, Bräker OU (1990) Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8: 9-38.
- Stokes MA, Smiley TL (1996) An Introduction to Tree-Ring Dating. Tucson : Univ. of Arizona Press, p 73
- Swanson D (1996) Susceptibility of permafrost soils to deep thaw after forest fires in interior Alaska, U.S.A., and some ecological implications. *Arctic and Alpine Research* 28(2): 217-227. doi: 10.2307/1551763
- R Development Core Team (2015) R Version 3.1.0: The R Project for Statistical Computing. <http://www.r-project.org> Accessed 20 Jun 2015
- Rydberg D (2000) Initial sprouting, growth and mortality of European aspen and birch after selective coppicing in central Sweden. *For Ecol Manage* 130 (1-3): 27-35. doi: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00187-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00187-5) Accessed 25 Mar 2017
- Tchebakova NM, Parfenova EI, Soja AJ (2011) Climate change and climate-induced hot spots in forest shifts in central Siberia from observed data. *Reg Environ Change* 11(4): 817-827. doi: 10.1007/s10113-011-0210-4
- Tikhonova IV, Korets MA, Mukhortova L (2014) Potential Soil and Climatic Ranges of Pine and Larch in Central Siberia. *Contemp Probl Ecol* 7/7: 752-758. doi:10.1134/S1995425514070130
- Viewegh J, Kusbach A, Mikeska M (2003) Czech forest ecosystem classification. *Journal of Forest Science* 49(2): 85-93. <http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/55710.pdf> Accessed 23 Mar 2017
- Vitas A (2015) A dendroclimatological analysis of European larch (*Larix decidua* Mill.) from Lithuania. *Balt For* 21, 1(40): 67-72.
- Wigley TML, Briffa KR, Jones PD (1984) On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *J Clim Appl Meteorol* 23:201–213
- Wilson R, Anchukaitis K, Briffa KR, Büntgen U, Cook E, D'Arrigo R, Davi N, Esper J, Frank D, Gunnarson B, Hegerl G, Helama S, Klesse S, Krusic PJ, Linderholm HW, Myglan V, Osborn TJ, Rydval M, Schneider L, Schurer A, Wiles G, Zhang P, Zorita E (2016) Last millennium northern hemisphere summer temperatures from tree rings: Part I: The long term context (Review). *Quaternary Science Reviews* 134: 1-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.12.005> Accessed 23 Mar 2017
- Xu Ch, Liu H, Anenkhonov O A, Korolyuk A, Sandanov D, Balsanova L D, Naidanov B B, Wu X (2016) Long-term forest resilience to climate change indicated by mortality, regeneration, and growth in semiarid southern Siberia. *Glob Change Biol* 23(6): 2370-2382. doi: 10.1111/geb.13582
- Ykhanbai H (2010) Mongolian forestry outlook study. Asia-Pacific forestry sector outlook study II. Working paper series. No. APFSOS II/ WP/ 2009/ 21 FAO. Bangkok, 2010, p 49

## KAPITEL V

### ON THE EFFECTS ON TREE GROWTH AND STAND STRUCTURE OF WHITE BIRCH (*BETULA PLATYPHYLLA* SUKACZEV) AND SIBERIAN LARCH (*LARIX SIBIRICA* LEDEB.) IN MONGOLIA

---

Published in:

Forests 8(4):105

Alexander Gradel <sup>1,\*</sup>, Christian Ammer <sup>1</sup>, Batsaikhan Ganbaatar <sup>2</sup>, Ochirragchaa Nadaldorj <sup>3</sup>, Batdorj Dovdondemberel <sup>2</sup>, Sven Wagner <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Silviculture and Forest Ecology of the Temperate Zones, Universität Göttingen, Büsgenweg 1, 37077 Göttingen, Germany; Christian.ammer@forst.uni-goettingen.de

<sup>2</sup> Institute of Geography-Geoecology, Mongolian Academy of Sciences, Post Box-81, Baruun Selbe 15, Ulaanbaatar 15170, Mongolia; batlaa\_85@yahoo.com (B.G.); batdorj\_forest@yahoo.com (B.D.)

<sup>3</sup> School of Agroecology and Business, Institute of Plant and Agricultural Sciences, Mongolian University of Life Sciences, P.O. Box 904, University St., Darkhan, 45047 Darkhan-Uul, Mongolia; ochirragchaa@gmail.com

<sup>4</sup> Chair of Silviculture, Technische Universität Dresden, Piennner Strasse 8, 01735 Tharandt, Germany; wagner@forst.tu-dresden.de

\* Correspondence: alexander.gradel@forst.uni-goettingen.de

Academic Editors: Phil G. Comeau and Timothy A. Martin

Received: 13 February 2017; Revised: 23 February 2017; Accepted: 23 March 2017; Published: 31 March 2017

Die Veröffentlichung ist hier um die deutsche und russische Übersetzungen des Titels und der Zusammenfassung erweitert.

**On the Effect of Thinning on Tree Growth and Stand Structure of White Birch (*Betula platyphylla* Sukaczew) and Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in Mongolia**

**Abstract:** The forests of North Mongolia are largely dominated either by larch (*Larix sibirica* Ledeb.) or birch (*Betula platyphylla* Sukaczew). The increasing demand for timber and firewood is currently met by removal of wood from these forest stands. Therefore, silvicultural approaches that account for both utilization and protection are needed. Thinning trials were established in the research area Altansumber, in the mountain forest steppe west of the town of Darkhan. We analyzed the response of non-spatial and spatial structure and growth of birch and larch stands on thinning. Before thinning, spatial tree distribution was largely clumped. Thinning promoted regular tree distribution. Ingrowth of new stems after thinning tended to redirect stand structure towards clumping. Both relative and absolute tree growth and competition were evaluated before, directly after, and three years after the thinning. Competition played a significant role in tree growth before thinning. A reduction in competition after thinning triggered significantly increased growth of both birch and larch. The observed positive growth response was valid in absolute and relative terms. A methodically based forest management strategy, including thinning operations and selective cuttings, could be established, even under the harsh Mongolian conditions. Our findings could initiate the development of broader forest management guidelines for the light-taiga dominated stands.

**Keywords:** thinning; mountain forest steppe; Siberian larch; birch; growth response; spatial forest structure; forest management; Mongolia



**Über die Auswirkungen von Durchforstungen auf Baumwachstum und Bestandesstruktur der Asiatischen Weiß-Birke (*Betula platyphylla* Sukaczew) und Sibirischen Lärche (*Larix sibirica* Ledeb.) in der Mongolei**

**Zusammenfassung:** Die Wälder der Nordmongolei sind weitgehend von Lärche (*Larix sibirica* Ledeb.) oder Birke (*Betula platyphylla* Sukaczew) dominiert. Die zunehmende Nachfrage nach Industrie- und Brennholz wird derzeit durch Einschlag aus diesen Waldbeständen gedeckt. Daher sind waldbauliche Ansätze, die sowohl die Nutzung als auch den Schutz berücksichtigen, erforderlich. Im Forschungsgebiet Altansumber, in der Gebirgswaldsteppe westlich der Stadt Darchan, wurden Durchforstungsversuche eingerichtet. Wir analysierten die Reaktion der nicht-räumlichen und räumlichen Struktur und des Wachstums von Birken- und Lärchenbeständen auf Durchforstung. Vor dem Durchforsten war die räumliche Baumverteilung weitgehend geklumpt. Die Durchforstung förderte regelmäßige Baumverteilung. Das Einwachsen neuer Stämme nach der Durchforstung führte tendenziell dazu, dass die Bestandesstruktur Richtung Klumpung zurückgeführt wurde. Sowohl das relative als auch das absolute Baumwachstum und die Konkurrenz wurden vor, unmittelbar nach und drei Jahre nach der Durchforstung ausgewertet. Die Konkurrenz spielte bereits vor der Durchforstung eine bedeutende Rolle für das Baumwachstum. Eine Verringerung der Konkurrenz nach der Durchforstung führte zu einem signifikant erhöhten Zuwachs von Birke und Lärche. Die beobachtete positive Zuwachsreaktion war sowohl in absolutem wie auch relativem Maße feststellbar. Eine methodisch fundierte Waldbewirtschaftungsstrategie, einschließlich Durchforstungsoperationen und selektivem Einschlag, könnte selbst unter den harten, mongolischen Bedingungen, etabliert werden. Unsere Erkenntnisse könnten die Entwicklung von breiteren Waldbewirtschaftungsrichtlinien für die, von heller Taiga dominierten Bestände einleiten.

**Schlüsselwörter:** Durchforstung; Gebirgswaldsteppe; Sibirische Lärche; Birke; Zuwachsreaktion; Räumliche Waldstruktur; Waldbewirtschaftung; Mongolei

**Влияние прореживания на рост и структуру Березы (*Betula platyphylla* Sukaczew) и Сибирской Лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.) в Монголии**

**Резюме:** В лесах Северной Монголии в основном доминируют лиственница (лиственница Ledeb.) или береза (*Бетула platyphylla*). Растущий спрос на древесину и дрова в настоящее время удовлетворяются за счет вырубki древесины из этих древостоев. При этом необходимы меры лесоводства, которые учитывают не только использование леса, но и его защиту. В исследовательском районе Алтансумбэр, в Горно-лесной степи к западу от города Дархан были проведены эксперименты по прореживанию. Мы проанализировали реакцию непространственной и пространственной структуры и прирост березовых и лиственничных древостоев на рубки ухода. До рубки пространственное размещение деревьев являлось агрегированным. Рубка способствует регулярному размещению деревьев.

Дальнейший рост новых молодых стволов после рубки приводил к тому, что структура древостоев менялась обратно в направлении агрегированной. Как относительный, так и абсолютный рост деревьев и конкуренция были оценены до, сразу после и через три года после рубки. Конкуренция играет значительную роль в росте деревьев до рубки. Снижение конкуренции после выборочной рубки привело к статистически значительному приросту березы и лиственницы. Наблюдаемая положительная реакция прироста была установлена как в абсолютном, так и в относительном выражении. Методически основанную стратегию лесопользования, включая рубки ухода и выборочные рубки, можно создать даже в суровых монгольских условиях. Результаты, выводы нашего исследования могут инициировать разработку широких директив лесопользования древостоев, где преобладает светлая тайга.

**Ключевые слова:** прореживание (выборочная рубка); горная лесостепь; лиственница сибирская; береза; реакция прироста; пространственная структура леса; лесопользование; Монголия

## 1. Introduction

After the political reversal and breakdown of support from the former USSR and other Comecon-states at the end of the 20th century, the forest sector of Mongolia declined. Forest degradation increased due to frequent fires, irregular logging and climate change [1–3]. Thus, management approaches and silvicultural strategies that provide both a sustainable supply of resources and simultaneous protection of the forests are needed.

The dominant species of the mountain forest steppe zone in Mongolia [4,5] are shade-intolerant pioneers—so-called light taiga tree species [6]: Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Aspen (*Populus tremula* L.) and white birch (*Betula platyphylla* Sukaczew). *Larix* and *Betula* comprise the largest area of Mongolian forests today. According to a recent forest inventory, larch and birch forests (basal area threshold 75% of either birch or larch) cover more than 70% of the northern Mongolian forests [7]. Siberian larch is by far the most common tree species in the country [8]. Its core distribution is in Siberia and it is known for its tolerance of very low temperatures [9]. Management of larch species generally requires early and intensive thinning during the first 50 years of the rotation period [10]. White birch, also known as Siberian silver birch, Asian or Japanese white birch, or Manchurian birch [11] is the second most common tree species in Mongolia. It grows well under a variety of environmental conditions, is frost-resistant, but it is drought-sensitive [12]. *Betula platyphylla* is very closely related to *Betula pendula* Roth [13]. Silvicultural management of birch usually requires intensive and early thinning in order to ensure good crown development, which is needed for good yield and good timber quality [14]. Its silvicultural treatment is similar to that of larch [10].

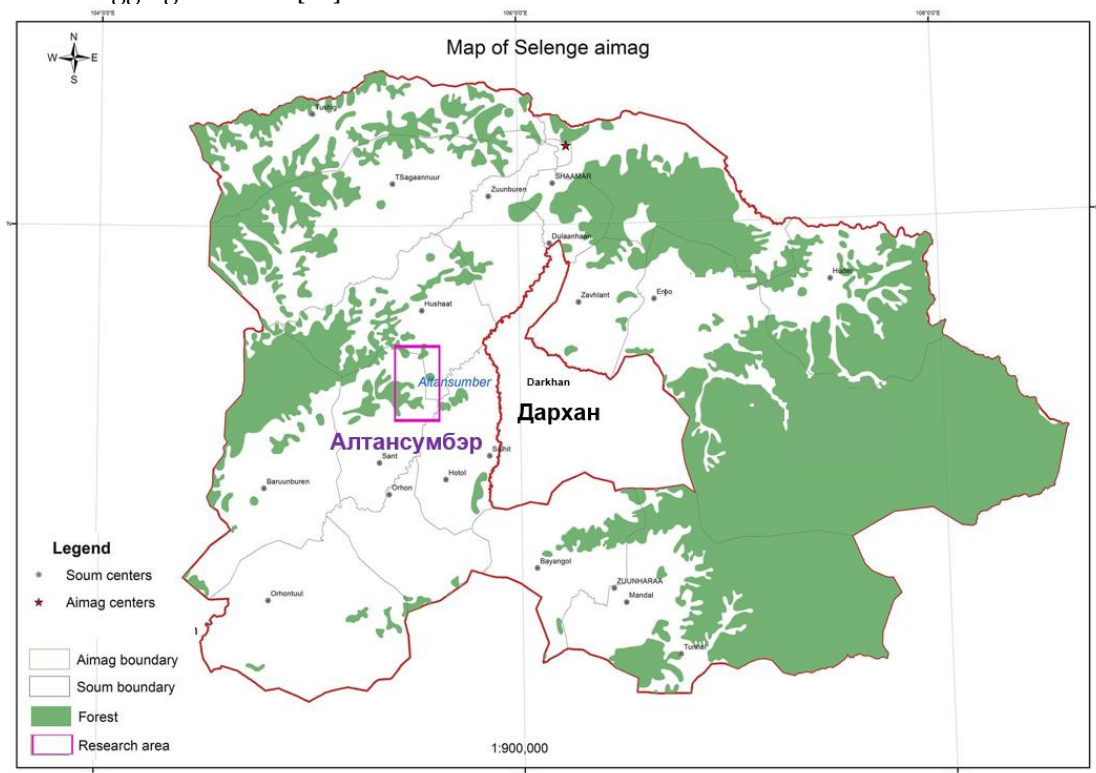
Thinning regimes are usually defined by some key characteristics [15–17]. Common criteria for the selection of trees favored by modern thinning regimes are vitality, quality as evaluated by potential production objectives (e.g., stem shape), as well as spatial distribution relative to the neighboring trees [18]. It is well known that thinnings have the potential to increase tree growth [19–22]. However, planned silvicultural interventions that focus not only on timber harvest but also reduce competition for target trees, improve their growth and quality [15,16] or experimental thinning trials [23], are basically unknown in Mongolia. We do not know of any scientific study that has tested the impact of thinning on forest structure and growth of the tree species that dominate Mongolia's mountain forest steppe zone. Therefore, the response of trees after cutting under these particular regional conditions is unknown; the expected impact of the suggested management activities is based, therefore, on assumptions rather than on empirical data. We hypothesized that, as in less continental climatic regions, the intensity of competition between trees is the dominant factor influencing the growth of birch and larch trees in the arid mountain forest steppe and that these two light demanding tree species can still respond with significant growth to competition relief even in relatively late stages of stand development. Therefore, a reduction of competition should trigger a growth response by the remaining trees.

Specifically, we were interested (i) in the response of stand structure on thinning and (ii) in the growth response of the remaining trees.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Participatory Establishment of the Thinning Trials in the research area (RA) Altansumber

In 2009, research plots were established by the Mongolian University of Life Sciences (MULS; formerly University of Agriculture) in Darkhan and the forest user group (FUG) Altansumber (Mongolian: *Golden peak*) [24,25] in the framework of a joint project between the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and the Mongolian government [24,26]. The RA Altansumber is situated west of the town of Darkhan (Figure 1; 49°29'07.29" N; 105°31'30.36" E), in the foothills of the Buren Nuruu ridge, and belongs to the northeastern Khangairagion [27]. The recent national forest inventory listed the area as part of the eastern Khuvsgul region [7]. The northern slopes of the mountain forest steppe at Altansumber are dominated by naturally regenerated larch and birch forests (Figure 1). The forest stands are affected by fire and many of them also show signs of previous small-scale logging activities [24].



**Figure 1.** Map of the Selenge aimag with the research area Altansumber (Institute of Geography-Geoecology, Mongolian Academy of Sciences; [24]).

For this study, two birch stands and two larch stands were selected according to the following criteria [24]: they are typical forest stands in North Mongolia (topography, tree species, stand quality); have relatively good accessibility, harvest potential, and intention for wood utilization by the local population (Table 1). In each stand, three plots were established on representative sites based on expert judgement. All plots exceed the minimum plot area size of 900 m<sup>2</sup>, recommended for the assessment of taiga forests in Mongolia [28]. This included one plot of medium intensity treatment (removal of up to 50% of stem number depending on stand structure), one with low intensity treatment (removal of up to 25% of stem number depending on stand structure), and one without any treatment. On each plot, the following data were collected prior to thinning (autumn 2009) and in autumn 2012 [24]: species, diameter size, and stem coordinates of every living tree with a minimum diameter at breast height (DBH) of 7 cm. Height was measured on a subsample of at least 30 trees of each main tree species in each stand. After the initial inventory, thinning was carried out on the

respective plots. Table 1 provides an overview of the basic data of the study stands. Table 2 provides an overview of tree density, mean diameter (Dg: quadratic mean diameter; D: arithmetic mean diameter) and stand age of each forest stand. See also appendix (Figures A1–A4).

**Table 1.** Background information on the light taiga study stands in the mountain forest steppe of Altansumber [24]. \*. Two out of the three plots in stand BI were 1550 m<sup>2</sup> in size.

Reference Stand	Main Tree Species	Height above Sea Level	Exposition	N (Plots)	Plot Size (m <sup>2</sup> ) 2009	Indication of Disturbances	Year of First Assessment
BI *	birch	934	N	3	2500 (1550)	s.f.	2009
BII	birch	966	N	3	2500	s.f.	2009
LI	larch	911	NW	3	2500	s.f.	2009
LII	larch	976	NW	3	2500	s.f., s.p.l.	2009

L: larch stands (larch: 94–100%); B: birch stands (birch: 92.5–100%); I: forest stand with predominantly small diameters; II: forest stand with predominantly medium diameters; s.f.: signs of fire impact; s.p.l.: signs of previous logging (stumps).

**Table 2.** Density measures and average dimensions and age of the light taiga study stands. Dg<sub>200</sub>: quadratic mean diameter of the 200 strongest trees; D<sub>200</sub>: arithmetic mean diameter of the 200 strongest trees; stand age = average age of trees based on wood cores + 5 years; SD = standard deviation; age (N): number of cores initially sampled in each stand of the main tree species.

Forest Stand	N/ha	Dg	D	Dg <sub>200</sub>	SD	D <sub>200</sub>	SD	Stand Age	SD	Age (N)
BI	1229	11.2	10.4	18.8	3.650	18.4	1.436	44	18.820	38
BII	1103	14.2	13.6	20.1	2.913	19.9	1.478	68	13.314	34
LI	1389	11.9	11.0	19.4	6.891	18.2	3.987	22	2.392	22
LII	565	22.8	21.8	29.2	4.257	28.8	2.999	61	3.296	36

## 2.2. Methods

### 2.2.1. Characterisation of Thinning Type and Intensity—Non-Spatial Harvest Event Analysis

We characterised the thinnings by thinning weight (rG ratio; [29]) and thinning type (NG ratio) [17]. Thinning weight reflects thinning intensity. The NG ratio indicates the thinning type, e.g., thinning from below or above. Values below one indicate thinning from above, values higher than one indicate thinning from below. A value near one indicates indifferent thinning [30], meaning that the proportion of removed stems was proportional to the removed basal area:

$$rG = \frac{G_{removed}(m^2/ha)}{G_{total}(m^2/ha)} \quad (1)$$

$$NG = \frac{(N_{removed}/N_{total})}{G_{removed}/G_{total}} \quad (2)$$

where,  $N$  = stem number;  $G$  = basal area

### 2.2.2. Evaluation of Spatial Tree Distribution on the Plots during the Observation Period

Assessment of spatial tree distribution pattern was done by testing the hypothesis of complete spatial randomness (CSR), [31]. The cumulative K-function [32] indicates the spatial tree distribution; it can be regular, irregular (clumped), or random. To better interpret  $K(r)$  visually, we used the square-root transformation of the univariate K-function [33], the univariate L-function  $L(r)$  [32,34]. Usually,  $L(r)$  is plotted using a diagonal or horizontal view (the latter is sometimes also denoted as  $L^*(r)$ ; [35]). Here,

we applied the horizontal view.  $L_{(r)} > 0$  indicates aggregation of the pattern up to distance  $r$ , and  $L_{(r)} < 0$  indicates regularity up to distance  $r$  [33]. See Formula (3):

$$L_{(r)} = \sqrt{\frac{K(r)}{\pi}} - r \quad \text{with } L_{(r)} = 0 \text{ for } r \geq 0 \quad (3)$$

where,  $K(r)$  = first derivative of the Ripley's K-function;  $r$  = distance in meters

We also applied the non-cumulative pair correlation function [31,33,35];  $g(r) > 1$  indicates aggregation of the pattern at the distance  $r$ ,  $g(r) < 1$  indicates regularity of the pattern at the distance  $r$ . See Formula (4) [33,36]:

$$g_{(r)} = \frac{dK(r)}{dr} / (2\pi r) \quad \text{with } g_{(r)} = 1 \text{ for } r \geq 0 \quad (4)$$

where,  $dr = \lambda$  (density);  $dK$  = density function of  $K(r)$ ;  $r$  = distance in meters

The two-sided 95% confidence envelope of both functions was constructed using the Monte Carlo method [31]. Simulations (999) were computed to derive critical values for  $\alpha = 0.05$  for each data set. We constructed graphs for the data sets of the plots for the end of the observation period (2012) and directly after the thinning 2009 with  $r_{max}$  ( $L_{(r)}$ ) = 14 m and for the small-scale analysis  $r_{max}$  ( $g_{(r)}$ ) = 7 m. The analyses were conducted using Excel 2007 (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA) and the Programita software [33,37,38].

### 2.2.3. Evaluation of Single Tree Growth Response

We collected cores in autumn 2012 from dominant and co-dominant trees of the respective species on each plot, when possible on the side facing the sun [39] by expert sampling [40]. Cores of 5 mm in diameter were taken with an increment corer at a height of 1 m above the ground, according to Dulamsuren et al. [41]. The cores were dried and mounted. Data were recorded and evaluated using the Time Series Analysis and Presentation (TSAP)-Win software (RinnTech). The birch cores required special treatment, i.e., cores were cut with a core-microtome [42] and coloured with Basic blue 140 at the Chair of Forest Utilization, Technische Universität Dresden.

We defined absolute growth (*abs.gr*) as the sum of the annual basal area growth of tree  $i$  after the thinning event (2010–2012). In order to quantify the relative change in basal growth of tree  $i$  (*rel.gr*), we divided *abs.gr* by the mean annual growth of basal area (derived from the stem cores and initial DBH-measurements) of the three years preceding the thinning event (2007–2009):

$$rel.gr = \frac{\overline{w}_{(period\ 2)}}{\overline{w}_{(period\ 1)}} \quad (5)$$

where,  $\overline{w}_{(period\ 1)}$  = mean annual growth of basal area of tree  $i$  (2007–2009);  $\overline{w}_{(period\ 2)}$  = mean annual growth of basal area of tree  $i$  (2010–2012)

We quantified competition from tree neighbors for each sample tree before and after thinning based on a distance weighted DBH-relation according to [43]. For selection of the competitors, we used two different approaches. First, we multiplied the average nearest neighbor distance (NND) on each plot after thinning by 2 and rounded this to classes of meters. We used the resulting values as competitor search radii (NNDSR) which ranged, depending on stem density, between 3 and 7 meters. The search radius (NNDSR) for each plot was also used as the buffer zone/guard distance of each plot. Second, we applied the cone-method suggested by Pretzsch [44] using an inverted cone with an opening angle of 60° at 60% tree height. All neighboring trees that entered the cone of tree  $i$  were considered as competitors. For this approach, we used maximum height of the stand to determine the buffer/guard distances to potential competitors outside the plot.

We used the software Crocom Version 2.2 [45,46], for calculations of the competitors on each plot and the calculation of the Hegyi-index before and after thinning:

$$HgCI_i = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{d_i} \cdot \frac{1}{dist_{ij}} \quad (6)$$

where,  $d_i$  = diameter of tree  $i$ ;  $d_j$  = diameter of competitor tree  $j$ ;  $dist_{ij}$  = distance between tree  $i$  and tree  $j$

We quantified the relative effect of a reduction in competition by calculating  $CI_{diff}$  (*absolute competition difference*: the difference between the Hegyi-index before and after thinning) and dividing the result by the Hegyi-index before thinning ( $CI_{rel}$ , Equation (7)).

$$CI_{rel} = \frac{HgCI_1 - HgCI_2}{HgCI_1} \quad (7)$$

where,  $HgCI_1$  = Hegyi index of tree  $i$  before the thinning;  $HgCI_2$  = Hegyi index of tree  $i$  after the thinning

$CI_{rel}$  (*relative competition relief*) can reach values between 0 and 1. The higher the value, the greater the reduction in competition. We tested the performance of this method of determining competition with Spearman's rank correlation [47]. We hypothesized that the *rel.gr* of larch and birch positively correlate to  $CI_{rel}$ . Each tree  $i$  in plot  $j$  of stand  $k$  represents a sample unit. To avoid pseudoreplication, we used a linear mixed model approach (LMM), which includes fixed effects (competition quantified by CI, DBH) and random effects (stand, plot) [48,49]. All models were optimized based on the restricted maximum likelihood method (REML) [49]. We also tested for interactions between initial DBH and  $CI_{rel}$ . Criteria for selecting the best model were Akaike's Information Criterion (AIC), BIC and the value of the log likelihood, the plausibility of the intercept, the distribution of residuals and the plausibility of the respective model from an ecological point of view. The validity of each approach was evaluated by a standard procedure of regression diagnostics. Outliers were detected and eliminated based on the distribution of internally studentised residuals in QQplots [50] with a 95% confidence envelope. We accounted for spatial autocorrelation within stands in the mixed model procedure [49]. However, in no case was it necessary to incorporate a spatial dependence structure in the model. We then described *abs.gr* by initial DBH and the difference between the competition effect before and directly after thinning  $CI_{diff}$  of tree  $i$ . The following models were finally selected:

$$abs.gr_{ijk} = (\beta_0)Intercept + (\beta_{1,i})DBH + (\beta_{2,i})CI_{diff} + (b_{2,j})plot + (b_{3,k})sta + \varepsilon_{ijk} \quad (8)$$

where  $\beta_0, \beta_{1,i}, \beta_{2,i}, b_{2,j}, b_{3,k}$  are the parameter estimates of the intercept, the DBH, the  $CI_{diff}$  of the tree, the plot and the stand (sta) respectively;  $\varepsilon_{ijk}$  = error term of tree  $i$  in plot  $j$  of stand  $k$

The LMM for the description of *rel.gr* of tree  $i$  in plot  $j$  of stand  $k$  consisted of the following elements:

$$rel.gr_{ijk} = (\beta_0)Intercept + (\beta_{1,i})CI_{rel} + (b_{2,j})plot + (b_{3,k})sta + \varepsilon_{ijk} \quad (9)$$

where  $\beta_0, \beta_{1,i}, b_{2,j}, b_{3,k}$  are the parameter estimates of the intercept, the  $CI_{rel}$  of the tree, the plot and the stand (sta) respectively;  $\varepsilon_{ijk}$  = error term of tree  $i$  in plot  $j$  of the stand.

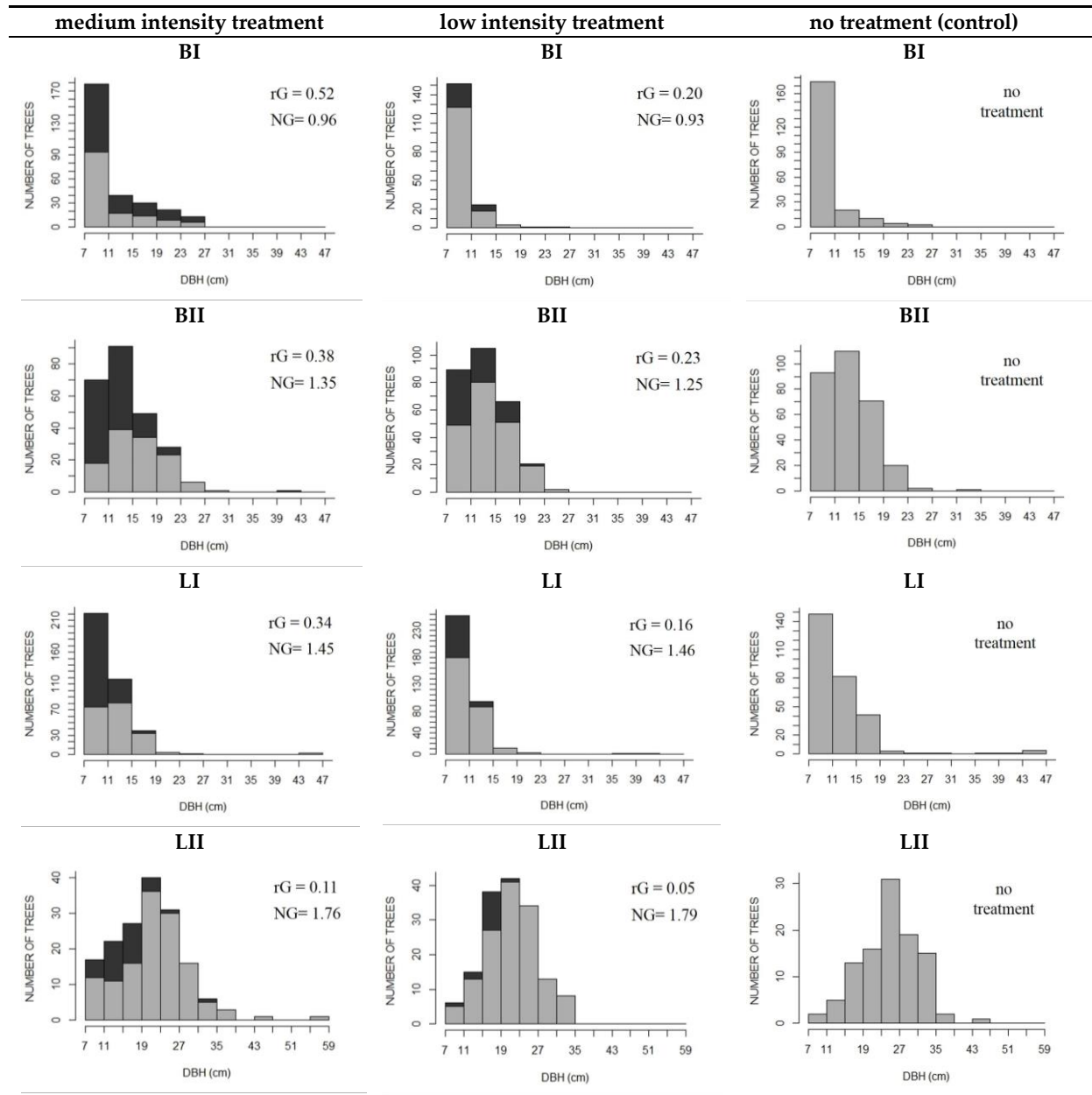
We used the following software packages/routines: Crocom version 2.2 (2001–2006) [45], R-statistics [51] with the packages nls2 [52], nlme [53], ncf [54], car [55], lattice [56], and SAS Version 9.3 (proc nlin).

### 3. Results

#### 3.1. Characterisation of the Thinning Impact—Non-Spatial Harvest Event Analysis

Thinning weight (rG) ranged from heavy (*BII-medium intensity treatment*) to very weak (*LII-low intensity treatment*). Removals on the thinned plots varied between 50.8% (*BII-medium intensity treatment*) and 9.6% (*LII-low intensity treatment*) in terms of stem number, and between 52.4% (*BI-medium intensity treatment*) and 5.4% (*LII-low intensity treatment*) in terms of basal area. Overall, removals on the plots with smaller mean diameters (I-series) tended to be heavier than on the plots with larger mean diameters and less stem density (II-series) (Table 3). The stem number–basal area ratio (NG-ratio) and quadratic mean diameter (Dg) showed a positive relationship: NG-ratio above 1 led to a higher Dg, indicating thinning from below; NG-ratio below 1 led to a lower Dg, indicating thinning from above. The NG-values and changes in the Dg indicated predominantly thinnings from below (Figure 2 and Table 2). The plots with the smaller diameters (I-series) showed the strongest relative growth with regard to basal area after thinning (Table 3). Stem number and Dg on some plots indicated that the increase in basal area in the years after thinning was due only to the growth response of the remaining trees (*LII medium intensity treatment*, *BII low intensity treatment*), whereas on other plots the increase was also due to ingrowth of young trees (e.g., *BI medium intensity treatment*, *LII low intensity treatment*). Over the course of the observations, the Dg changed more strongly on the thinned plots than on the unthinned plots. The actual thinning effect becomes clearer when focusing on the strongest trees only. The mean diameters of the top 200 larch trees per ha remained nearly unchanged after the tree removals. In contrast, for birch, a slight reduction in mean diameter of the top 200 trees was observed indicating that some of the larger trees were harvested (Table 4). The diameter coefficient of variation (CV or DBH-differentiation according to von Gadow and Hui [57], respectively) on the plots did change only little (Table 3). However, on all plots of the II-series, the CV decreased slightly in response to thinning. The dominant height of the main species was only slightly affected by thinning.





**Figure 2.** Non-spatial harvest event analysis of the Altansumber birch and larch thinning trials; grey: trees remaining after thinning; black: trees removed during the thinning.

**Table 3.** Stand measures of the plots before (2009<sub>before</sub>), after the thinning (2009<sub>after</sub>) and at the end of the observation period in 2012. N/ha = stem number per hectare; BA/ha=basal area per hectare; dom. height (m) = dominant height; CV: diameter coefficient of variation; m. int. = medium intensity treatment; low int. = low intensity treatment; unth. = no treatment (unthinned).

Stand	Plot	2009 <sub>before</sub>	2009 <sub>after</sub>	2012	Stand	Plot	2009 <sub>before</sub>	2009 <sub>after</sub>	2012
<i>N/ha</i>					<i>N/ha</i>				
<b>BI</b>	<i>m. int.</i>	1144	568	736	<b>LI</b>	<i>m. int.</i>	1528	776	868
	<i>low int.</i>	1174	961	1045		<i>low int.</i>	1504	1148	1268
	<i>unth.</i>	1368	<i>unth.</i>	1510		<i>unth.</i>	1136	<i>unth.</i>	1200
<b>BII</b>	<i>m. int.</i>	984	484	500	<b>LII</b>	<i>m. int.</i>	656	524	524
	<i>low int.</i>	1136	808	796		<i>low int.</i>	624	564	624
	<i>unth.</i>	1188	<i>unth.</i>	1192		<i>unth.</i>	416	<i>unth.</i>	420
<i>BA (m<sup>2</sup>)/ha</i>					<i>BA (m<sup>2</sup>)/ha</i>				
<b>BI</b>	<i>m. int.</i>	14.659	6.974	8.567	<b>LI</b>	<i>m. int.</i>	16.707	11.039	14.404
	<i>low int.</i>	8.690	6.988	8.746		<i>low int.</i>	13.513	11.320	15.165
	<i>unth.</i>	10.841	<i>unth.</i>	12.223		<i>unth.</i>	15.657	<i>unth.</i>	18.749
<b>BII</b>	<i>m. int.</i>	17.289	10.791	11.366	<b>LII</b>	<i>m. int.</i>	24.878	22.026	23.692
	<i>low int.</i>	17.387	13.359	14.310		<i>low int.</i>	23.025	21.786	23.025
	<i>unth.</i>	17.895	<i>unth.</i>	19.249		<i>unth.</i>	21.635	<i>unth.</i>	23.154
<i>dom. height (m)</i>					<i>dom. height (m)</i>				
<b>BI</b>	<i>m. int.</i>	12.3	11.8	11.9	<b>LI</b>	<i>m. int.</i>	12.1	12.0	12.6
	<i>low int.</i>	10.2	10.3	10.7		<i>low int.</i>	11.4	11.4	12.0
	<i>unth.</i>	11.0	<i>unth.</i>	11.6		<i>unth.</i>	12.8	<i>unth.</i>	13.1
<b>BII</b>	<i>m. int.</i>	14.9	14.8	15.0	<b>LII</b>	<i>m. int.</i>	16.4	16.4	16.5
	<i>low int.</i>	14.4	14.4	14.6		<i>low int.</i>	16.0	16.0	16.0
	<i>unth.</i>	14.5	<i>unth.</i>	14.7		<i>unth.</i>	16.5	<i>unth.</i>	16.7
<i>CV</i>					<i>CV</i>				
<b>BI</b>	<i>m. int.</i>	0.424	0.426	0.416	<b>LI</b>	<i>m. int.</i>	0.359	0.373	0.364
	<i>low int.</i>	0.251	0.246	0.251		<i>low int.</i>	0.311	0.316	0.310
	<i>unth.</i>	0.352	<i>unth.</i>	0.329		<i>unth.</i>	0.473	<i>unth.</i>	0.449
<b>BII</b>	<i>m. int.</i>	0.333	0.279	0.286	<b>LII</b>	<i>m. int.</i>	0.362	0.342	0.340
	<i>low int.</i>	0.276	0.263	0.263		<i>low int.</i>	0.269	0.260	0.267
	<i>unth.</i>	0.278	<i>unth.</i>	0.232		<i>unth.</i>	0.249	<i>unth.</i>	0.252

**Table 4.** Stand measures of the plots before (2009<sub>before</sub>), after the thinning (2009<sub>after</sub>) and at the end of the observation period in 2012. Dg: quadratic mean diameter of all trees; D: arithmetic mean diameter of all trees; Dg\_200: quadratic mean diameter of the 200 strongest trees; D\_200: arithmetic mean diameter of the 200 strongest trees; m. int. = medium intensity treatment; low int. = low intensity treatment; unth. = no treatment (unthinned).

Stand	Plot	2009 <sub>before</sub>	2009 <sub>after</sub>	2012	Stand	Plot	2009 <sub>before</sub>	2009 <sub>after</sub>	2012
<i>D</i>					<i>D</i>				
BI	<i>m. int.</i>	11.8	11.5	11.2	LI	<i>m. int.</i>	11.1	12.6	13.7
	<i>low int.</i>	9.4	9.3	10.0		<i>low int.</i>	10.2	10.7	11.8
	<i>unth.</i>	9.5	<i>unth.</i>	9.7		<i>unth.</i>	12.0	<i>unth.</i>	12.9
BII	<i>m. int.</i>	14.0	16.0	16.4	LII	<i>m. int.</i>	20.7	21.9	22.7
	<i>low int.</i>	13.4	14.0	14.6		<i>low int.</i>	20.8	21.5	20.9
	<i>unth.</i>	13.3	<i>unth.</i>	13.8		<i>unth.</i>	24.9	<i>unth.</i>	30.9
<i>Dg</i>					<i>Dg</i>				
BI	<i>m. int.</i>	12.8	12.4	12.2	LI	<i>m. int.</i>	11.8	13.5	14.5
	<i>low int.</i>	9.7	9.6	10.3		<i>low int.</i>	10.7	11.2	12.4
	<i>unth.</i>	10.0	<i>unth.</i>	10.2		<i>unth.</i>	13.2	<i>unth.</i>	14.1
BII	<i>m. int.</i>	15.0	16.8	17.0	LII	<i>m. int.</i>	22.0	23.1	24.0
	<i>low int.</i>	13.9	14.5	15.1		<i>low int.</i>	21.7	22.2	22.0
	<i>unth.</i>	13.8	<i>unth.</i>	14.3		<i>unth.</i>	25.7	<i>unth.</i>	26.5
<i>D_200</i>					<i>D_200</i>				
BI	<i>m. int.</i>	21.1	16.8	17.7	LI	<i>m. int.</i>	18.0	17.9	20.0
	<i>low int.</i>	13.4	12.7	14.0		<i>low int.</i>	15.6	15.6	17.5
	<i>unth.</i>	16.1	<i>unth.</i>	16.3		<i>unth.</i>	20.3	<i>unth.</i>	21.8
BII	<i>m. int.</i>	21.0	20.3	21.0	LII	<i>m. int.</i>	28.9	28.7	29.8
	<i>low int.</i>	19.4	19.0	19.8		<i>low int.</i>	22.2	22.6	28.4
	<i>unth.</i>	19.4	<i>unth.</i>	20.2		<i>unth.</i>	30.0	<i>unth.</i>	30.9
<i>Dg_200</i>					<i>Dg_200</i>				
BI	<i>m. int.</i>	21.3	17.4	18.2	LI	<i>m. int.</i>	19.0	18.9	20.8
	<i>low int.</i>	13.7	13.0	14.3		<i>low int.</i>	16.4	16.4	18.2
	<i>unth.</i>	16.6	<i>unth.</i>	16.8		<i>unth.</i>	22.1	<i>unth.</i>	23.4
BII	<i>m. int.</i>	21.4	20.4	21.2	LII	<i>m. int.</i>	29.5	29.3	30.4
	<i>low int.</i>	19.5	19.1	19.9		<i>low int.</i>	27.5	27.5	28.6
	<i>unth.</i>	19.5	<i>unth.</i>	20.3		<i>unth.</i>	30.2	<i>unth.</i>	31.1

### 3.2. Thinning Impact on Spatial Tree Distribution Pattern

Both pair-correlation and L-function analyses before thinning indicated initially clumped to random tree distributions on the birch plots of the BI-series (Figure 3) and largely random spatial tree distributions on the plots of the BII-series (Figure 4). Pair correlation functions indicated clumping especially over very short distances (less than 2 m). The larch plots of the LI-series exhibited clumped tree distributions (Figure 5) and the LII-series exhibited clumped to random spatial tree distributions before harvest (Figure 6). The pair correlation functions of the larch plots

(Figures 5 and 6) indicated that clumping was less pronounced, but occurred over a greater distance when compared with the birch plots (Figures 3 and 4). On most plots, the spatial distribution was strongly affected by thinning. The thinning intervention reduced clumping and resulted in a more uniform distribution. Some patterns shifted toward a significant regular distribution pattern even at lower distances; see especially medium intensity treatments in BI, BII, LI (Figures 3–5). Three years after thinning, some of the plots had buffered some of the thinning effects by ingrowth of stems (see e.g., *BI-medium intensity treatment*; Figure 3), developing away from the observed thinning event-induced regularity. On the plot *BI-low intensity treatment*, thinning even appeared to result in a significantly clumped spatial tree distribution (Figure 3).

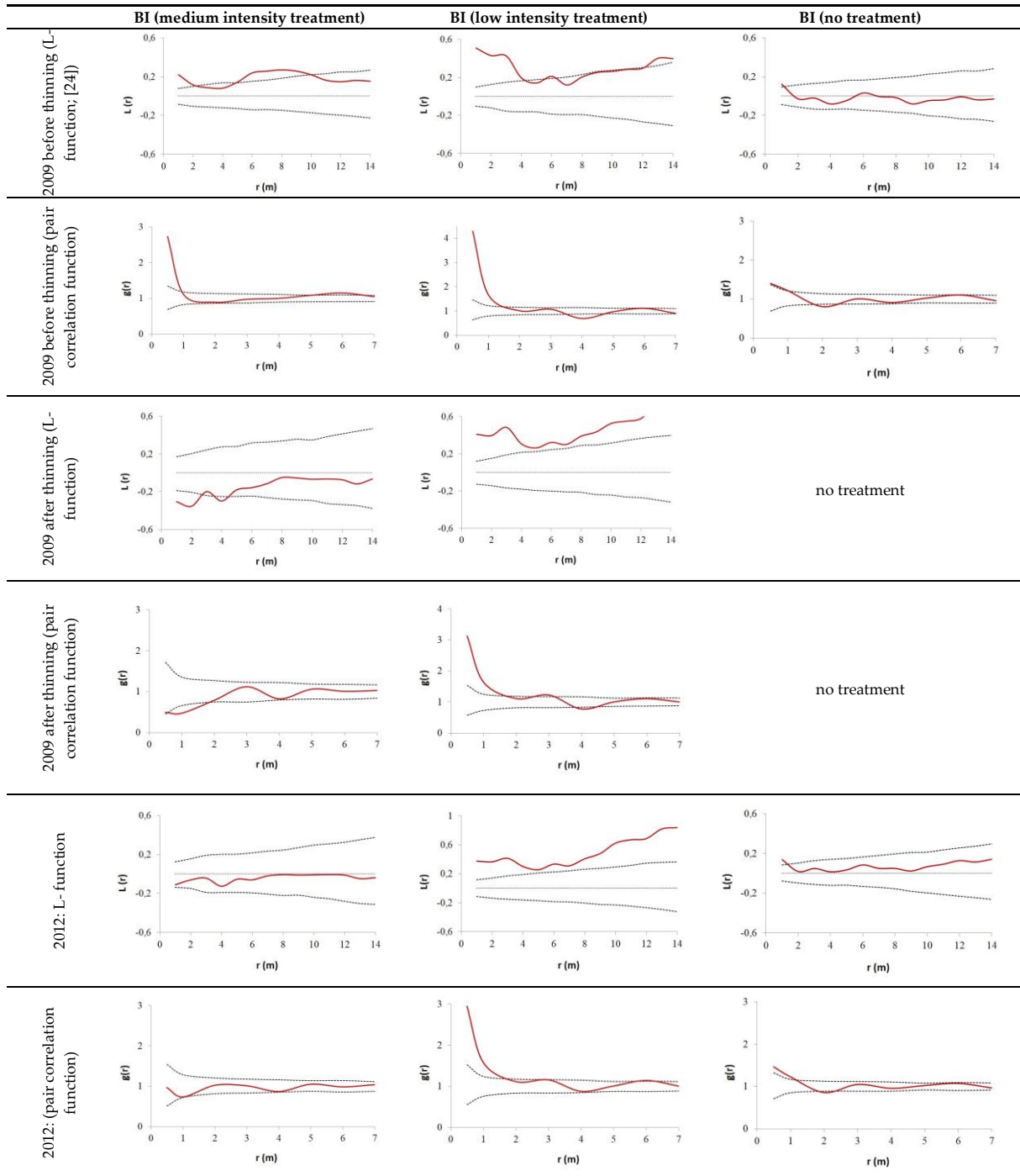


Figure 3. L-function and pair correlation function of the plots in stand BI before and after the thinning in 2009 and at the end of the observation period in 2012.

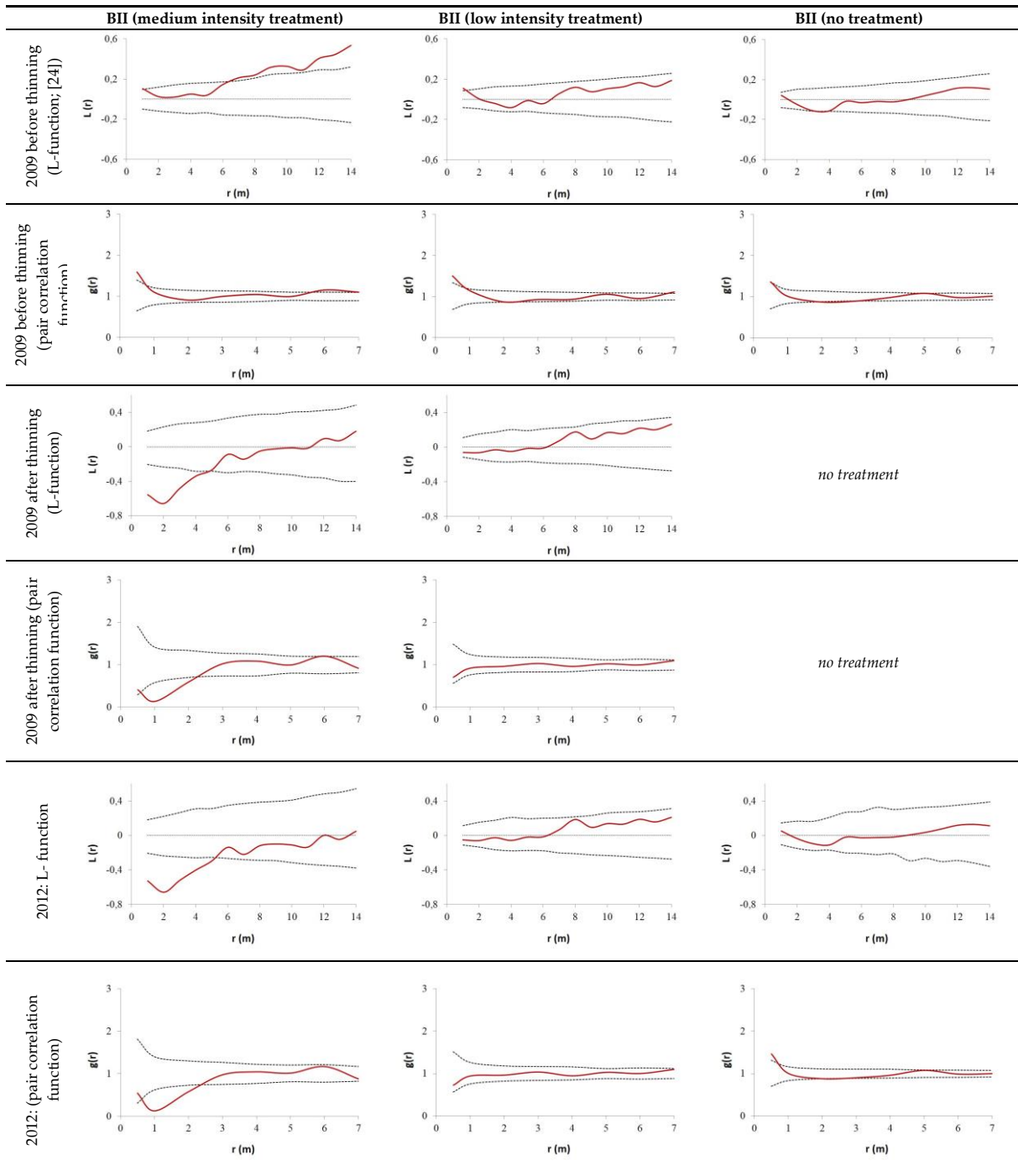


Figure 4. L-function and pair correlation function of the plots in stand BII before and after thinning in 2009 and at the end of the observation period in 2012.

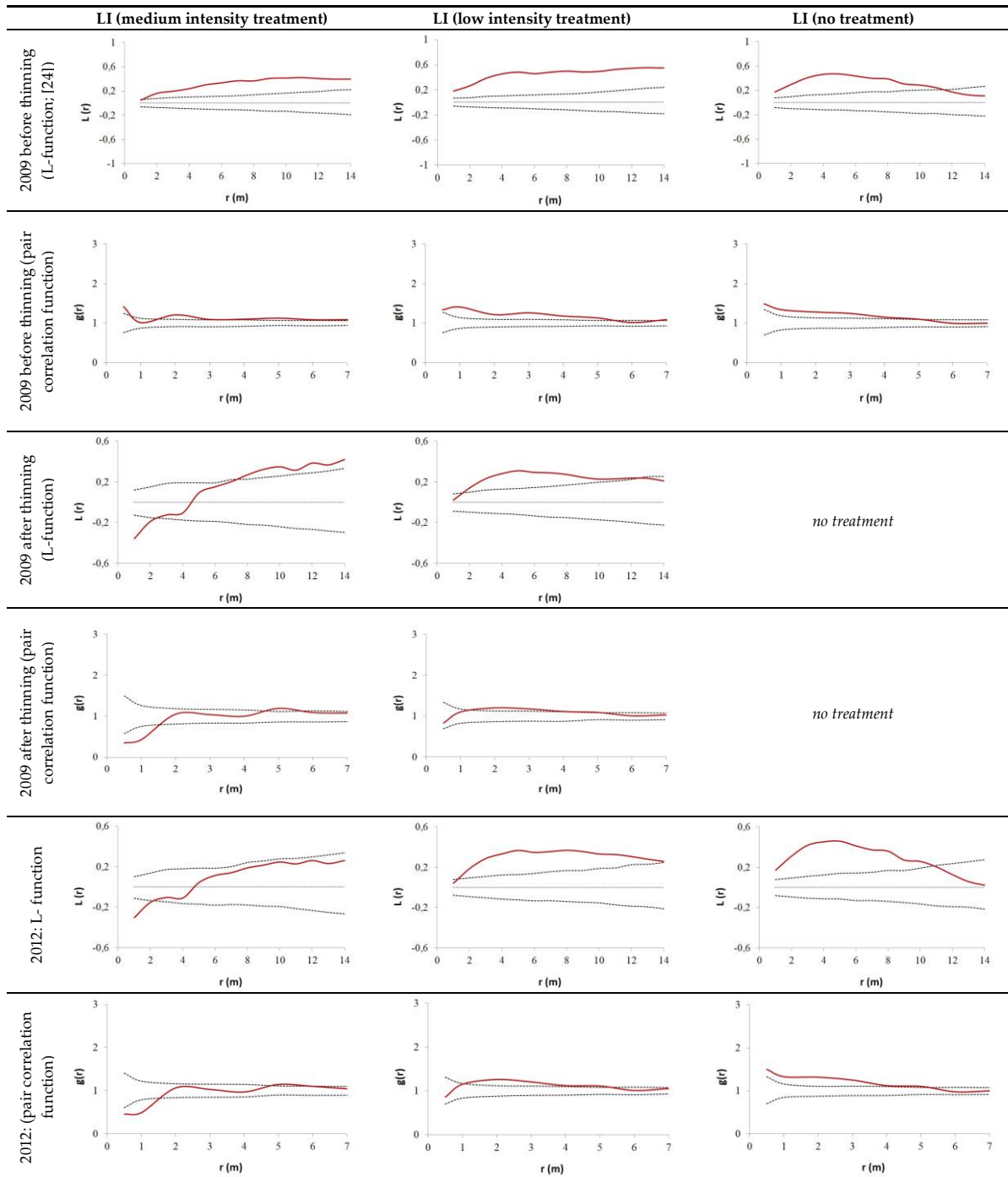


Figure 5. L-function and pair correlation function of the plots in stand LI before and after thinning in 2009 and at the end of the observation period in 2012.

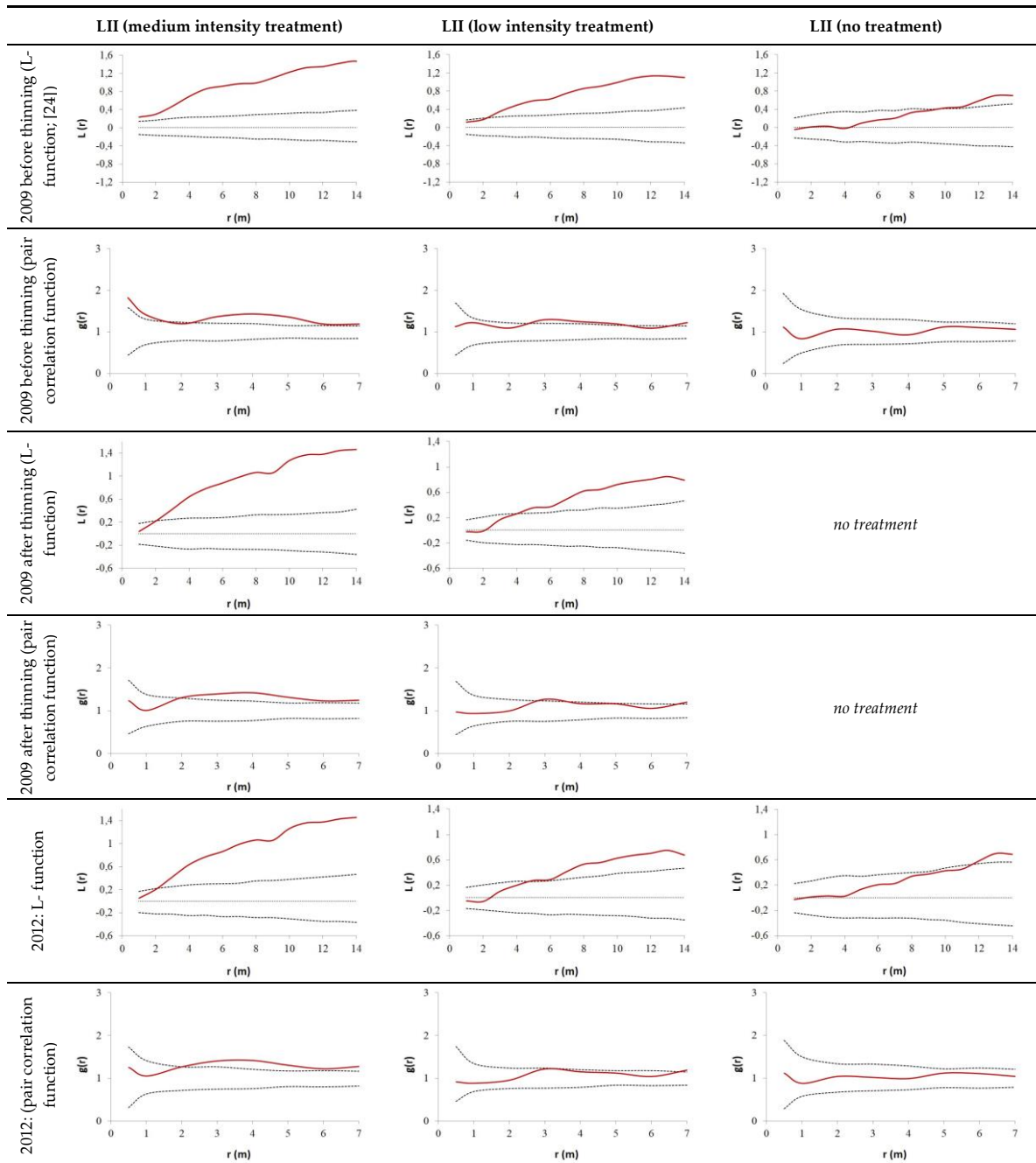


Figure 6. L-function and pair correlation function of the plots in stand LII before and after thinning in 2009 and at the end of the observation period.

### 3.3. Quantification of Thinning Impact on Growth of Birch and Larch Trees

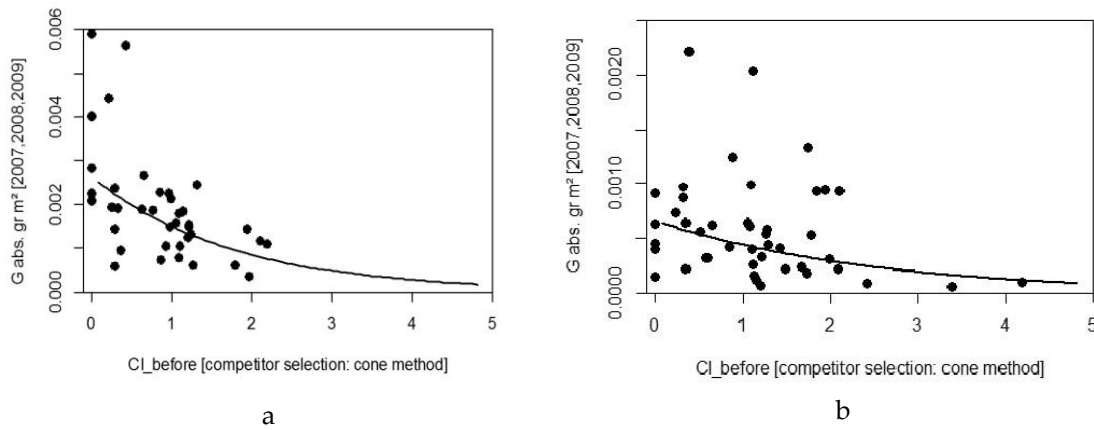
Competition significantly affected growth of both tree species. However, both growth and the correlation between competition and absolute growth before thinning was higher for larch (Figure 7) than for birch. Both explanatory approaches (*abs.gr* and *rel.gr*) for growth after thinning resulted in significant  $p$ -values for the explanatory variables. The absolute competition difference ( $CI_{diff}$ ) and initial DBH and the relative competition relief ( $CI_{rel}$ ) significantly influenced both absolute basal area growth and the relative change in basal area growth (Table 5). Though the lowest AIC values were achieved with the *abs.gr*-model approach, results of the *rel.gr*-model are noteworthy. They confirm that the relative change in growth of both larch and birch could be explained, in part, by  $CI_{rel}$ , indicating a positive effect of a reduction in competition on the relative increase of tree growth in our study plots three years after the intervention (Table 5). The  $p$ -values of the intercept were also highly significant for all *rel.gr*-models. The values for each species, however, differed (Table 5). Figure 8 provides a graphical representation of the relation between  $CI_{rel}$  and *rel.gr*.



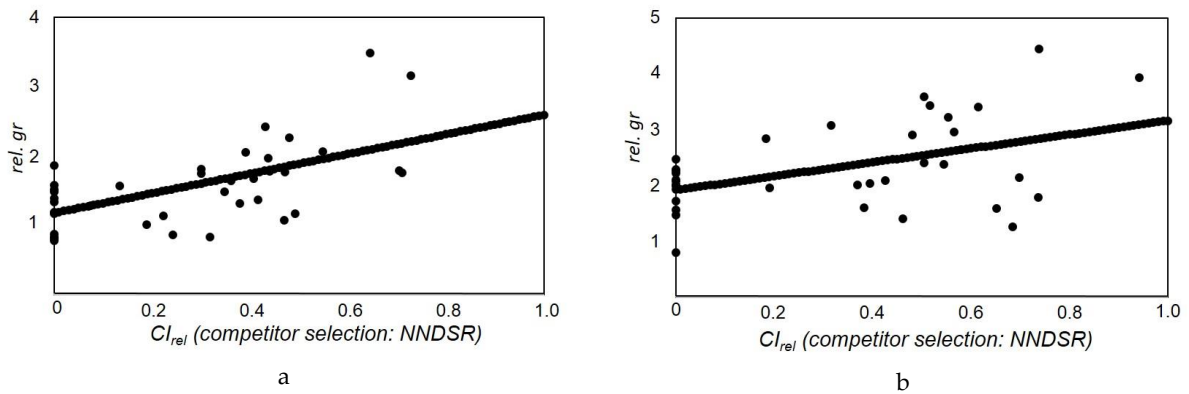
## KAPITEL V

**Table 5.** Overview of the selected competition-growth models (fixed and mixed effect models). The different competitor selections are NNDSR = search radius class, based on the double NND; cone = cone method [44,45].  $CI_{diff}$  = difference in absolute competition before and after thinning;  $CI_{rel}$  = relative competition relief; DBH = diameter at breast height of tree *i* at the end of the vegetation period 2009; AIC= Akaike's Information Criterion.

Model	Species	Variable	Fixed Effects	Competitor Selection	Degrees of Freedom	Model Parameter (Fixed Effects)						AIC of the Model		
						Intercept	<i>p</i> -Value	$CI_{rel}$	<i>p</i> -Value	$CI_{diff}$	<i>p</i> -Value		DBH	<i>p</i> -Value
1	Birch	abs.gr	$CI_{diff} + DBH$	cone	31	-0.0009	0.0485			0.0003	0.0487	0.0002	0.0000	-400.95
	Birch	abs.gr	$CI_{diff} + DBH$	NNDSR	37	-0.0008	0.1638			0.0003	0.0214	0.0002	0.0000	-455.48
	Larch	abs.gr	$CI_{diff} + DBH$	cone	27	-0.0013	0.5163			0.0008	0.0440	0.0002	0.0000	-336.97
	Larch	abs.gr	$CI_{diff} + DBH$	NNDSR	31	-0.0018	0.2836			0.0006	0.0044	0.0002	0.0000	-388.26
2	Birch	rel.gr	$CI_{rel}$	cone	29	2.1084	0.0000	0.7111	0.0387					96.48
	Birch	rel.gr	$CI_{rel}$	NNDSR	29	1.9163	0.0000	1.2444	0.0052					87.82
	Larch	rel.gr	$CI_{rel}$	cone	31	1.4020	0.0000	0.6776	0.0159					70.17
	Larch	rel.gr	$CI_{rel}$	NNDSR	36	1.1756	0.0000	1.4156	0.0001					68.64



**Figure 7.** (a) Relationship between competition index (CI\_before) and basal area growth (2007 to 2009) of larch prior to thinning:  $R^2 = 0.3257$ ,  $p < 0.05$ . (b) Relationship between competition index (CI\_before) and basal area growth (2007 to 2009) of birch prior to thinning:  $R^2 = 0.1695$ ,  $p < 0.05$ .



**Figure 8.** (a) Graph of the relationship between the relative competition relief (CI<sub>rel</sub>) and relative change in basal area growth (rel.gr) of larch. (b) Graph of the relationship between the relative competition relief (CI<sub>rel</sub>) and relative change in basal area growth (rel.gr) of birch.

## 4. Discussion

### 4.1. Stand Level: Non-Spatial Forest Structure

Our short-term observation/monitoring of the non-spatial structure showed (i) that diameter distribution and diameter CV were not greatly changed by thinning, that (ii) on all plots BA growth, and that (iii) on most plots the ingrowth of young trees was promoted by thinning. An increase in stem number and basal area in the short period after the harvest events was noticeable. It was strongest for birch-series I and demonstrated that, in the studied forest type, thinning led to growth release of the remaining trees and promoted the ingrowth of smaller trees. Both responses are in line with findings from many other forest types [58–60]. The ratio between removed stem number and removed basal area (NG-ratio) indicated that, on most plots, smaller trees were preferentially removed, indicating thinning from below. This was also indicated by measured changes in the quadratic mean diameter ( $D_g$ ). The shape of the diameter distributions and the diameter CV before the harvest event were largely retained, although the lower diameter classes decreased proportionally more than the larger diameter classes. Results confirmed earlier findings that thinning can have positive effects on total yield [22,61,62].

### 4.2. Stand Level: Spatial Forest Structure

Our results showed that two of the birch I plots in particular exhibited a special clumping structure with strong clumping at very short distances before thinning, indicated by the pair-correlation functions in our study (Figure 3). This was due to sprouting, common among many birch species. Clumping in the larch was often less pronounced and occurred at the medium and larger distances, indicating both larger sized and relatively less closely packed groups of single trees. Clumping seems to be a characteristic feature of the disturbance prone birch and larch forests in Mongolia [24,63]. However, one reason for the observed differences in the structure and clumping ranges between the two species is that larch is not able to sprout. Different clumping tendencies are common for unthinned stands, and can occur even where trees were planted [64]. The observation that the spatial tree distribution pattern tended towards regularity after thinning is common for many selective harvest regimes, as described for thinned larch plots in Northern China [64]. On our plots, thinning mostly promoted “de-clumping” and a tendency towards regular or random distribution. The same was found in other studies, e.g., in Norway spruce stands [65]. In the RA Altansumber, this thinning effect was, however, counterbalanced by the ingrowth of new trees, which on some plots reversed the thinning effect. These observations demonstrated that forest stands have the potential to “buffer” thinning effects; the spatial structure showed a certain degree of resilience. In a recent profit optimization study, Pukkula et al. [66] concluded that for forest stands with irregular (clumped) tree distribution, the most profitable option is to remove the smaller trees in densely stocked areas and leave larger trees in sparsely stocked places. This recommendation is similar to the thinning approach in Altansumber.

### 4.3. Single Tree Level

Our results showed that the basal area growth response of both pioneer species was significantly positively influenced by a reduction in competition within a relatively short time period. However, the intercept values (growth at  $CI_{rel} = 0$ ) of the *rel.gr* model (Table 5) indicated that, independent of the significant impact of competition reduction, the growth conditions for both species had already improved in the period after thinning compared to the period prior to thinning. A comparison of the annual course of the main climate factors (precipitation and temperature; Sukhbaatar station) between the period before and after the thinning showed low indication of better climate conditions in the period after the thinning: in the period after the thinning, the monthly precipitation was, on average,

higher and the monthly temperature slightly lower up to beginning of June (see diagram in supplementary; Sukhbaatar station). It was shown that in the RA Altansumber growth is positively correlated with higher precipitation in late winter and early spring (young birches [67] and larch [68]) and negatively correlated with temperature (young and old birches [67]). However, across-years competition reduction triggered absolute and relative tree growth in both birch and larch stands (see  $p$ -values for  $CI_{diff}$  and  $CI_{rel}$  in Table 5). This was also significant in the years before the thinning (Figure 7). This finding, which is in line with numerous studies in other forest types [21,69–73], is important for the current discussion on regional forest management in Mongolia. The ability of the remaining trees to positively respond to competition relief was significant despite the fact that some trees had already reached a considerable age. Most studies from Mongolia concluded that water availability is the most decisive factor affecting vegetation and tree growth in the region [5,41]. It is well known that thinning improves the water availability of the remaining trees [21,22]. However, as competition reduction permits better utilization of light for photosynthesis as well, our results showed that light is a key resource even in the rather open forest stands of the Mongolian mountain forest steppe. The less clear relationship between competition and BA-growth for birch (Figure 7) may be due to the disturbance sensitivity and stem shape of this tree species. Birch is more sensitive to low intensity surface fires, which are very common in the region, than trees with thicker bark such as larch [10]. It also may be that the competition index used in this study may be better suited to larch trees than to birch individuals. Larch grows straight and the crown competition is more or less represented by the stem position. In contrast, birch often grows in a curved shape, partly due to coppice regeneration. Crown competition may therefore be less accurately reflected by stem position.

#### 4.4. Management Issues: Development of a Mongolian Silviculture

In Mongolia, larch is the preferred tree species for various products, whereas birch has played a very small role in forest economic terms to date. In terms of wood production, it is therefore important to know if larch wood quality is negatively affected by thinning. A study on different larch species from plots in Sweden [74] found that ring widths greater than 3 mm were associated with a marked reduction in wood density. However, the average annual ring width of the target trees of our study were, even in the years after thinning, below this threshold. The nomads in Selenge aimag and other Mongolian regions rarely use birch, even for firewood, but continue to rely on larch, despite the fact that, due to over-utilization, larch is increasingly being replaced on a largescale by birch in some accessible areas [3].

Due to the increase in birch distribution over the last decades, it would be useful to support and develop new products and markets for this tree species in Mongolia (e.g., charcoal production). This could also help to avert overharvesting of the remaining larch trees close to the settlements. In Fennoscandia, pure and mixed birch stands are managed to produce high quality saw timber or plywood [14], which may be, in the long term, an option for Mongolia as well. Thinnings and cleanings could provide energy wood for local markets and simultaneously increase stand quality and shorten rotation periods. Studies on silver birch suggest that density and wood quality, for example, are not reduced by its more rapid growth [75,76]. In Finland, the first commercial thinning for planted silver birch stands is recommended at 13–15 m stand height to a density of about 700–800 trees/ha. It is suggested that the second commercial thinning be done about 15 years after the first thinning [14]. In general, high thinning intensities, from 30–40 percent, are applied to birch stands [14,77,78]. However, Mongolian forests differ from the intensively managed forest stands in Finland in density, age, spatial structure, and dead wood [6]. Environmental conditions also differ. The soils of the larch plots in the RA Altansumber exhibit neutral to alkaline ph-values and experience permafrost at depths below approximately one m [79]. Insular permafrost is typical for this region and is important for supplying sufficient water throughout the vegetation period, especially in dry summers [80]. Exposition and sunblocking forest cover result in the disjunctive occurrence of permafrost [81,82]. This is one reason why continuous cover forestry systems [17,30,83] are considered a preferred option. Shelterwood

systems are, for example, proposed for natural regeneration in birch stands in northern Europe [84,85]. Our results indicate that even under the harsh conditions of the Mongolian mountain forest steppe, more methodical and scientifically based forest management, comprising, among other strategies, repeated thinnings, could be established.

## 5. Conclusions

Forests close to the settlements are likely to experience more, not less, utilization pressure in the future. It is therefore necessary to identify and enact sustainable management approaches (regional silvicultural treatments) and appropriate control measures to ensure ecologically sound management and to provide direction for forest utilization. The results of our study indicate that birch and larch trees respond to thinning with significant increases in absolute and relative growth. This finding could be a starting point for developing comprehensive forest management guidelines for both the larch and birch dominated stands. Reference plots and thinning trials, as shown in the example of the plots in Altansumber, can serve as a basis for analysis of silvicultural measures, training of prospective forest managers and creation of specific thinning models as well as providing a cooperation instrument for stakeholders with widely varying needs.

**Acknowledgments:** The plots in Altansumber were established during the UNFAO-project „Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia“ (GCP/MON/002/NET), financed by the government of the Netherlands. Field work was carried out with the School of Agroecology and Business, Institute of Plant and Agricultural Sciences of the Mongolian University of Life Sciences in Darkhan. The authors thank numerous students from the Mongolian University of Life Sciences in Darkhan for their assistance during the reassessment of the plots and collection of wood cores in 2012 and for financial support provided by DAAD (research grant D/12/41577). Increment borers were provided by the Department of Wood Biology and Wood products (Göttingen). We are thankful to Stefan Teusan, Albrecht Bemann, Björn Günther, Claus-Thomas Bues, Jamsran Tsogtbaatar, Heinz Röhle and Michael Mühlenberg for their support. Additional thanks go to Kathleen Regan for linguistic corrections.

**Author Contributions:** A.G. and O.N. conceived and coordinated the research project. A.G., B.G., O.N. and B.D. designed data collection. A.G. and O.N. did the field work with support of B.G. and B.D. A.G. under supervision of S.W. and C.A. analyzed the field data. A.G. wrote the paper and all co-authors commented on it. C.A. and S.W. revised it.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest. The founding sponsors had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; and in the decision to publish the results.

Appendix A. Pictures from the RA Altansumber



**Figure A1.** The research area Altansumber.



**Figure A2.** Birch stand BII during the data collection in 2012.



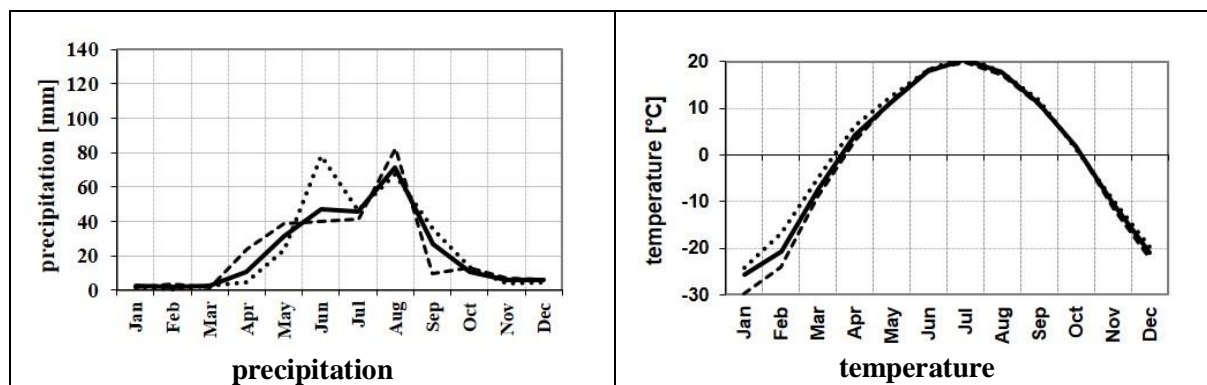
**Figure A3.** View of the larch stand LI.



**Figure A4.** After the thinning 2009: larch stump with the respective tree number.

Supplementary (Forests 8(4): 105)

Comparison of the climate factors precipitation and temperature for the period before the thinning (2007-2009) and the period after the thinning (2010-2012)



Sukhbaatar station; Selenge Aimag (2003-2014)

**Straight line:** average 2003-2014; **dotted line:** average 2007-2009; **dashed line:** 2010-2012.

Other supplementary material of the original publication are already presented in this chapter (Figure 3-6).



## References

1. Tsogtbaatar, J. Forest Policy Development in Mongolia. IUFRO Task Force Science/Policy Interface. p. 11. 2008. Available online: <http://iufro-archive.boku.ac.at/iufro/taskforce/ftscipol/chennai-papers/ftsogtbaatar.pdf> (accessed on 15 March 2016).
2. Ykhanbai, H. *Mongolian Forestry Outlook Study; Asia-Pacific Forestry Sector Outlook Study II. Working Paper Series*; FAO: Bangkok, Thailand, 2010; p. 49.
3. Gradel, A.; Petrow, W. Forstpolitische Entwicklungen im Transformationsland Mongolei. *AFZ-DerWald*. **2014**, *17*, 36–39. (In German)
4. Yunatov, A.A. *The Main Features of the Vegetation Cover of the Mongolian People's Republic*; Proceedings of the Mongolian Commission of the Academy of Sciences of the USSR: Moscow, Russia, 1950; p. 223. (In Russian)
5. Dulamsuren, Ch. *Floristische Diversität, Vegetation und Standortbedingungen in der Gebirgstaiga des Westkhentej, Nordmongolei*; Universität Göttingen: Göttingen, Germany, 2004; p. 290. (In German)
6. Mühlenberg, M.; Appelfelder, J.; Hoffmann, H.; Ayush, E.; Wilson, K.J. Structure of the montane taiga forests of West Khentii, Northern Mongolia. *J. For. Sci.* **2012**, *58*, 45–56.
7. Ministry of Environment and Tourism. *Multipurpose National Forest Inventory 2014–2016*, 1st ed.; Ministry of Environment and Tourism: Ulaanbaatar, Mongolia, 2016.
8. Dorjsuren, C. Forest Ecosystems (in Climate change impact and exposure). In *Mongolia Second Assessment Report on Climate Change—MARCC 2014*; Damdin, D., Zamba B., Luvsan N., Eds.; Ministry of Environment and Green Development: Ulaanbaatar, Mongolia, 2014; pp. 94–100.
9. Antropov, V.F.; Sereдкин, A.D.; Shhepin, A.A. *Forestry in Buryatia*; EKOS: Ulan-Ude, Russian Federation, 2013; p. 184. (In Russian)
10. Martinsson, O.; Lesinski, J. *Siberian Larch—Forestry and Timber in a Scandinavian Perspective*; Jämtlands County Council Institute of Rural Development: Östersund, Sweden, 2007; p. 91.
11. EIC, Environmental Information Centre Ulaanbaatar (Oin nociin medeellin san. Oin modny torol.). Available online: <http://www.eic.mn/forestresource/forestresource.php?id=10> (accessed on 15 June 2016). (In Mongolian)
12. Puhua, H. *Betula platyphylla* SUK. In *Enzyklopädie der Holzgewächse—Handbuch und Atlas der Dendrologie*; Schütt, P., Weisgerber, H., Schuck, H., Lang, U.M., Roloff, A., Eds.; Schütt, P., Translator; Ecomed: Landsberg am Lech, Germany, 2013; p. 6. (In German)
13. Zyryanova, O.A.; Terazawa, M.; Koike, T.; Zyryanov, V.I. White birch trees as resource species of Russia: Their distribution, ecophysiological features, multiple utilizations. *Eurasian J. For. Res.* **2010**, *13*, 25–40.
14. Hynynen, J.; Niemistö, P.; Viherä-Aarno, A.; Brunner, A.; Hein, S.; Velling, P. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry* **2010**, *83*, 103–119.
15. Von Gadow, K. *Forsteinrichtung. Analyse und Entwurf der Waldentwicklung*; Universitätsverlag Göttingen, Reihe Universitätsdrucke: Göttingen, Germany, 2005; p. 342. (In German)
16. Pretzsch, H. *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2009; p. 664
17. Von Gadow, K.; Zhang, Y.C.; Wehenkel, C.; Pommerening, A.; Corral-Rivas, J.; Korol, M.; Myklush, S.; Hui, G.Y.; Kiviste, A.; Zhao, X.H. Forest Structure and Diversity. In *Continuous Cover Forestry*; Pukkala, T., von Gadow, K., Eds.; Springer Netherlands: Dordrecht, The Netherlands, 2012; pp. 29–83.
18. Röhrig, E.; Bartsch, N.; Lüpke, B.V. *Waldbau auf ökologischer Grundlage*, 7th ed.; Eugen Ulmer: Stuttgart, Germany, 2006; p. 479. (In German)
19. Assmann, E. Grundflächenhaltung und Zuwachsleistung Bayerischer Fichten-Durchforstungsreihen. *Forstwiss. Cent.* **1954**, *73*, 257–271. (In German)
20. Mäkinen, H.; Isomäki, A. Thinning intensity and growth of Norway spruce stands in Finland. *Forestry* **2004**, *77*, 349–364.
21. Gebhardt, T.; Häberle, K.H.; Matyssek, R.; Ammer, C. The more, the better? Water relations of Norway spruce stands after progressive thinning. *Agric. For. Meteorol.* **2014**, *197*, 235–243.
22. Olivar, J.; Bogino, S.; Rathgeber, C.; Bonnesoeur, V.; Bravo, F. Thinning has a positive effect on growth dynamics and growth-climate relationships in Aleppo pine (*Pinus halepensis* L.) trees of different crown classes. *Ann. For. Sci.* **2014**, *71*, 395–404.

23. Von Gadow, K. Messung und Modellforschung—Grundlagen der Forsteinrichtung. *Allg. Forst Jagdztg.* **2012**, 184, 143–158. (In German)
24. Gradel, A.; Ochirragcha, N.; Altaev, A.A.; Voinkov, A.A.; Enkhtuya, B. Spatial distribution of trees on light taiga plots before selective thinning. *Mong. J. Agric. Sci.* **2015**, 15, 91–99.
25. Gradel, A.; Ochirragcha, N.; Altaev, A.A.; Voinkov, A.A.; Enkhtuya, B. Capacity development and forest research on the light taiga plots of the School of Agroecology and Business of the Mongolian University of Life Sciences in Darkhan. In *Current Environmental Issues—Approaches to Solutions, Proceedings of the 20th Anniversary of the Professional Environmental Studies Program, Mongolian University of Life Sciences, Darkhan, Mongolia, 29 May 2015*; pp. 44–51.
26. Food and Agriculture Organization (FAO). *Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia (GCP/MON/002/NET)*; Financed by the Government of the Netherlands; FAO: Rome, Italy, 2006; p. 47. Available online: <http://www.mne.mn/files/page792/Oi-4%20en.pdf> (accessed on 30 June 2016).
27. Kraznoshekov, Y.N. *Soil Cover and Soils of Mountain forests of Northern Mongolia*; Nauka: Novosibirsk, Russian Federation, 2013; p. 196. (In Russian)
28. Von Gadow, K.; Hui, G.Y. Can the species-area relationship be derived from prior knowledge of the tree species richness? *For. Stud./Metsanduslikud Uurim.* **2007**, 46, 13–22.
29. Murray, D.M.; von Gadow, K. A flexible yield model for regional timber forecasting. *South. J. Appl. For.* **1993**, 17, 112–115.
30. Vitikova, L.; Dhubhain, A.N.; Pommerening, A. Agreement in Tree Marking: What is the uncertainty of human tree selection in selective forest management? *For. Sci.* **2016**, 62, 288–296.
31. Stoyan, D.; Stoyan, H. *Fractals, Random Shapes, and Point Fields: Methods of Geometrical Statistics*; Wiley: Chichester, UK, 1994; pp. 406.
32. Ripley, B.D. *Spatial Statistics*; Wiley: New York, NY, USA, 1981; p. 252.
33. Wiegand, T. *Introduction to Point Pattern Analysis with Ripley's L and the O-Ring Statistic Using the Programita Software*, 2nd ed, UFZ-Centre for Environmental Research: Leipzig, Germany, 2004; p. 166.
34. Besag, J. Contribution to the discussion of Dr. Ripley's paper. *J. R. Stat. Soc. B Met.* **1977**, 39, 193–195.
35. Illian, J.; Penttinen, A.; Stoyan, H.; Stoyan, D. *Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns*; Wiley: New York, NY, USA, 2008; p. 534.
36. Zhang, C.; Zhao, X.; Gadow, K. Spatial distributions and spatial associations of dominant tree species in Korean pine broadleaved old-growth forests in Changbai Mountains. *Balt. For.* **2010**, 16, 66–75.
37. Wiegand, T.; Moloney, K.A. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos* **2004**, 104, 209–229.
38. Wiegand, T.; Moloney, K.A. *A Handbook of Spatial Point Pattern Analysis in Ecology*; Chapman and Hall/CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2014; p. 538.
39. Mäkinen, H.; Vanninen, P. Effect of sample selection on the environmental signal derived from tree-ring series. *For. Ecol. Manag.* **1999**, 113, 83–89.
40. Riemer, T. *Über die Varianz von Jahrringbreiten—Statistische Methoden für die Auswertung der jährlichen Dickenzuwächse von Bäumen unter sich ändernden Lebensbedingungen*; Forschungszentrum Waldökosysteme der Universität Göttingen: Göttingen, Germany, 1994; p. 375. (In German)
41. Dulamsuren, C.; Hauck, M.; Leuschner, H.H.; Leuschner, C. Climate response of tree ring width in *Larix sibirica* growing in the drought-stressed forest-steppe ecotone of northern Mongolia. *Ann. For. Sci.* **2011**; 68, 275–282.
42. Gärtner, H.; Nievergelt, D. The core-microtome: A new tool for surface preparation on cores and time series analysis of varying cell parameters. *Dendrochronologia* **2010**, 28, 85–92.
43. Hegyi, F. A simulation model for managing jack-pine stands. In *Growth Models for Tree and Stand Simulation*; Royal College of Forestry: Stockholm, Sweden, 1974; p. 74–90.
44. Pretzsch, H. Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. Jahrestagung Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten—Sektion Ertragskunde, Joachimsthal. *Allg. Forst Jagdztg.* **1995**, 160, 190–200. (In German)
45. *Crocom*, 3.0, Software erstellt unter Delphi V (Münder, Schildbach und Schröder); Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik, Professur für Waldwachstums- und Holzmesskunde der TU Dresden; Tharandt, Germany, 2007. (In German)

46. Münder, K. Konkurrenzuntersuchungen und Wachstumsmodellierung in Waldumbaubeständen des Mittleren Erzgebirges. Ph.D. Thesis, Technische Universität Dresden, Dresden, Germany, 2005; p. 160. (In German)
47. Bachmann, M. *Indizes zur Erfassung der Konkurrenz von Einzelbäumen. Methodische Untersuchungen in Bergmischwäldern*; Forstliche Forschungsberichte München Nr. 171; Technische Universität München Wissenschaftszentrum Weihenstephan: München, Germany, 1998; p. 245. (In German)
48. Crawley, M.J. *The R-Book*; Wiley: New York, NY, USA, 2007; p. 942.
49. Zuur, A.F.; Ieno, E.N.; Walker, N.J.; Saveliev, A.A.; Smith, G.M. *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R*; Springer: New York, NY, USA, 2009; p. 574.
50. Robinson, A.P.; Hamann, J.D. *Forest Analytics with R—An Introduction*; Springer: New York, NY, USA, 2011; p. 354.
51. R Development Core Team. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, Version 3.0.2; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2013. Available online: <http://www.R-project.org/> (accessed on 20 July 2016).
52. Grothendieck, G. nls2: Non-Linear Regression with Brute Force. R Package Version 0.2. Available online: <http://CRAN.R-project.org/package=nls2> (accessed on 30 May 2016).
53. Pinheiro, J.; Bates, D.; DebRoy, S.; Sarkar, D.; R Development Core Team. nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models; R Package Version 3.1-113. Available online: <http://packages.renjin.org/package/org.renjin.cran/nlme/3.1-113> (accessed on 29 March 2017).
54. Bjornstad, O.N. ncf: Spatial Nonparametric Covariance Functions. R Package Version 1.1-5. Available online: <http://CRAN.R-project.org/package=ncf> (accessed on 29 May 2016).
55. Fox, J.; Weisberg, S. *An R Companion to Applied Regression*, 2nd ed.; Sage: Thousand Oaks, CA, USA. Available online: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion> (accessed on 30 April 2016).
56. Sarkar, D. *Lattice: Multivariate Data Visualization with R*; Springer: New York, NY, USA, 2008; p. 268.
57. Von Gadow, K.; Hui, G.Y. Characterizing forest spatial structure and diversity. In *Sustainable Forestry in Temperate Regions*; Björk, L., Ed.; SUFOR, University of Lund: Lund, Sweden, 2002; pp. 20–30.
58. Huss, J. Zur Durchforstung engbegründeter Fichtenjungbestände. *Forstwiss. Cent.* **1990**, *109*, 101–118. (In German)
59. Juodvalkis, A.; Kairiukstis, L.; Vasiliauskas, R. Effects of thinning on growth of six tree species in north-temperate forests of Lithuania. *Eur. J. For. Res.* **2005**, *124*, 187–192.
60. Štefančík, I. Development of target (crop) trees in beech (*Fagus sylvatica* L.) stand with delayed initial tending and managed by different thinning methods. *J. For. Sci.* **2013**, *59*, 253–259.
61. Pretzsch, H. Stand density and growth of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.): Evidence from long-term experimental plots. *Eur. J. For. Res.* **2005**, *124*, 193–205.
62. Gizachew, B.; Brunner, A. Density–growth relationships in thinned and unthinned Norway spruce and Scots pine stands in Norway. *Scand. J. For. Res.* **2011**, *26*, 543–554.
63. Gradel, A.; Mühlenberg, M. Spatial characteristics of near-natural Mongolian forests at the southern edge of the taiga. *Allg. Forst Jagdztg.* **2011**, *182*, 40–52.
64. Lei, X.; Lu, Y.; Peng, C.; Zhang, X.; Cnag, J.; Hong, L. Growth and structure of semi-natural larch-spruce-fir (*Larix olgensis*-*Picea jezoensis*-*Abies nephrolepis*) forests in northeast-China: 12-year result after thinning. *For. Ecol. Manag.* **2012**, *240*, 165–177.
65. Bachofen, H.; Zingg, A. Effectiveness of structure improvement thinning on stand structure in subalpine Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands. *For. Ecol. Manag.* **2001**, *145*, 137–149.
66. Pukkula, T.; Lähde, E.; Laiho, O. Which trees should be removed in thinning treatments? *For. Ecosyst.* **2015**, *2*, doi:10.1186/s40663-015-0056-1
67. Gradel, A.; Haensch, C.; Batsaikhan, G.; Batdorj, D.; Ochirragchaa, N.; Günther, B. Response of white birch (*Betula platyphylla* Sukaczew) to temperature and precipitation in the mountain forest steppe and taiga of northern Mongolia. *Dendrochronologia* **2017**, *41*, 24–33.
68. Gradel, A.; Batsaikhan, G.; Ochirragchaa, N.; Batdorj, D.; Kusbach, A. Climate-growth relationships and pointer year analysis of a Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) chronology in the Mongolian mountain forest steppe. Submitted to *For. Ecosyst.*
69. Abetz, P. Reaktionen auf Standraumerweiterung und Folgerungen fuer die Auslesedurchforstung bei Fichte. *Allg. Forst Jagdztg.* **1976**, *147*, 72–75. (In German)

70. Zhang, S.; Burkhart, H.E.; Amateis, R.L. The influence of thinning on tree height and diameter relationships in loblolly pine plantations. *South. J. Appl. For.* **1997**, *21*, 199–205.
71. Ammer, C.; Ziegler, C.; Knoke, T. Zur Beurteilung von intra- und interspezifischer Konkurrenz von Laubbaumbeständen im Dickungsstadium. *Allg. Forst Jagdztg.* **2005**, *176*, 85–94. (In German)
72. Roberts, S.D.; Harrington, C.A. Individual tree growth response to variable-density thinning in coastal Pacific Northwest forests. *For. Ecol. Manag.* **2008**, *255*, 2771–2781.
73. Klädtke, J.; Kohnle, U.; Kublin, E.; Ehring, A.; Pretzsch, H.; Uhl, E.; Spellmann, H.; Weller, A. Wachstum und Wertleistung der Douglasie in Abhängigkeit von der Standraumgestaltung. *Schweiz. Z. Forstwes.* **2012**, *163*, 96–104. (In German)
74. Karlman, L.; Mörling, T.; Martinsson, O. Wood density, annual ring width and latewood content in Larch and Scots pine. *Eurasian J. For. Res.* **2005**, *8*, 91–96.
75. Heräjärvi, H. Technical properties of mature birch (*Betula pendula* and *B. pubescens*) for saw milling in Finland. *Silva Fenn.* **2001**, *35*, 469–485.
76. Cameron, A.D.; Dunham, R.A.; Petty, J.A. The effects of heavy thinning on stem quality and timber properties of silver birch (*Betula pendula* Roth). *Forestry* **1995**, *68*, 275–285.
77. Oikarinen, M. Growth and yield models for silver birch (*Betula pendula*) plantations in southern Finland. In *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 113*; Finnish Forest Research Institute (Luke): Helsinki, Finland, 1983; pp. 1–75. (In Finnish).
78. Rytter, L.; Karlsson, A.; Karlsson, M.; Stener, L.G. Skötsel av björk, al och asp. In *Skogsskötselserien nr 9*; 1st ed, Swedish Forest Agency (Skogsstyrelsen): Helsinki, Sweden, 2008; pp. 1–122. (In Swedish)
79. Khutakova, S.V.; Ubugunova, V.I.; Gradel, A.; Enkhtuya, B. Morphogenetic features of soils of larch forests of terrain Altan Sumber Orkhon-Selenga Middle Mountain. In *Central Asian Environmental and Agricultural Problems, Potential Solutions*; Institute of Plant and Agricultural Sciences, School of Agroecology and Business of the MULS in Darkhan: Darkhan, Mongolia, 2016; pp. 127–130. (In Russian)
80. Sugimoto, A.; Yanagisawa, N.; Naito, D.; Fujita, N.; Maximov, T.C. Importance of permafrost as a source of water for plants in east Siberian taiga. *Ecol. Res.* **2002**, *17*, 493–503.
81. Savin, E.N.; Milyutin, L.I.; Krasnoshhekov, Ju.N.; Korotkov, I.A.; Suncov, A.V.; Dugarzhav, Ch.; Cogoo, Z.; Dorzhsuren, Ch.; Zhamjansurjen, S.; Gombosuren, N. *Forests of the Mongolian People's Republic (Larch forests of the Eastern Khentey)*, *Soviet-Mongolian Expedition*; Nauka, Siberian Department: Novosibirsk, Russia, 1988; p. 176. (In Russian)
82. Kopp, B.J.; Minderlein, S.; Menzel, L. Soil moisture dynamics in a mountainous headwater area in the discontinuous permafrost zone of northern Mongolia. *Arct. Alp. Res.* **2014**, *46*, 459–470.
83. Vitikova, L. Transformation to Continuous Cover Forestry in Ireland. Ph.D. Thesis, University College Dublin, Dublin, Ireland, 2014, p. 159.
84. Cameron, A.D. Managing birch woodlands for the production of quality timber. *Forestry* **1996**, *69*, 357–371.
85. Karlsson, M. Natural Regeneration of broadleaved tree Species in Southern Sweden. Ph.D. Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Southern Swedish Forest Research Centre, Alnarp. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria*, Sweden, 2001, Volume 196, p. 44.

## KAPITEL VI

### DIE VERJÜNGUNGSSCHICHT IN DEN DURCHFÖRSTUNGS- VERSUCHEN UND REFERENZFLÄCHEN DER FORSCHUNGS- GEBIETE ALTANSUMBER UND BUGANT

---

## **DIE VERJÜNGUNGSSCHICHT IN DEN DURCHFÖRSTUNGSVERSUCHEN UND REFERENZFLÄCHEN DER FORSCHUNGSGEBIETE ALTANSUMBER UND BUGANT**

Eine Grundvoraussetzung, um eine angepasste ökologische Nutzung in der Gebirgswaldsteppe durchführen zu können, ist eine ausreichende Verjüngung der Bestände. Verjüngung wird hierbei als Prozess der Bestandenerneuerung entsprechend Ammer et al. (2004) verstanden. Der wichtigste Bestandteil des Verjüngungsprozesses ist der Jungwuchs. Jungwuchs schließt hierbei Bestände oder Bestandesteile, die durch Naturverjüngung, Saat, Pflanzung oder auf vegetativem Wege entstanden sind, bis zum Eintritt des Bestandesschlusses ein (Röhrig und Gussone 1990 zitiert nach Ammer et al. 2004). Die Verjüngungsschicht (Jungwuchs und Bäume < 7cm BHD) wird zumeist in verschiedenen Höhenklassen aufgenommen (Pretzsch 2002, Gadow 2005). Je größer die jungen Bäume sind desto wahrscheinlicher ist es, dass aus ihnen eines Tages auch tatsächlich Einwüchse (hier Kluppschwelle ab 7cm BHD) in den stehenden Bestand werden. Wie in Kapitel 2 ausgeführt, fand die Aufnahme der Verjüngungsschicht in Stichprobenkreisen mit 10 Meter Abstand systematisch auf den Forschungsflächen statt, wobei jeder Kreis eine Fläche von 4m<sup>2</sup> aufweist. Die während der Feldaufnahmen aufgenommenen Daten wurden im Bezug auf die Anzahl pro Hektar und ihrer Verteilung für jede Fläche und jeden Bestand ausgewertet. In den Beständen kann die Anzahl der Stichprobenpunkte höher als die Summe der Punkte aller Flächen eines Bestandes sein, wenn Flächen miteinander Kontakt haben, und sich damit für das Stichprobenraster die Möglichkeit weiterer Stichprobenpunkte auf Basis des 10x10 Meter Rasters ergeben hat. Die Ergebnisse aus den Forschungsgebieten Altansumber (Aufnahmejahr 2012) und Bugant (Aufnahmejahr 2011) sowie Wiederholungsaufnahmen einiger Flächen im Gebiet Bugant (Aufnahmejahr 2013) sind in den Tabellen 6.3, 6.4 und 6.5 dargestellt. Für die Auswertung habe ich die Daten zu Höhenklassen zusammengefasst, die sich an der aktuellen Forstinventur, der MPNFI (MET 2016), orientieren. In der MPNFI wurde die Verjüngungsschicht in folgenden Höhenklassen aufgenommen: 10-50 cm, 50-150 cm und >150 cm bei < 6cm BHD. Da die Aufnahme auf den Flächen dieses Projektes in 20 cm-Schritten erfolgte und der minimale BHD für die Aufnahme im Bestand bei 7 cm liegt, ist eine Angleichung der Höhenklassen für einen Vergleich nur begrenzt möglich (siehe Tabelle 6.1).

**Tabelle 6.1:** Vergleich der Einteilung der Höhenklassen in der Aufnahme der Verjüngungsschicht in der MPNFI (Mongolian Multipurpose National Forest Inventory) und der Auswertung der Verjüngungsschicht in den Forschungsgebieten Altansumber und Bugant. Eine vollkommene Angleichung der Aufnahmeklassen war nicht möglich.

**Table 6.1:** Comparison of height classes in the regeneration assessment in the MPNFI (Mongolian Multipurpose National Forest Inventory) and the evaluation of regeneration assessment in the research areas Altansumber and Bugant. A perfect adjustment of the height classes was not possible.

**Таблица 6.1** - Сравнение классификации классов уровня высоты при инвентаризации подроста с результатами MPNFI (Монгольская Многоцелевая Национальная лесная инвентаризация) и оценка инвентаризации подроста в рамках проекта в районах исследования Алтансумбер и Бугант. Идеальное выравнивание классов уровня высоты не возможно.

Height classes	
Regeneration according to MPNFI (MET 2016)	Regeneration in the RA Altansumber and RA Bugant
10-50 cm	20-60 cm
50-150cm	50-160cm
>150cm and DBH <6cm	>160cm and DBH <7cm

Zur Einordnung werden die Zahlen der Verjüngungsschicht aus den Ergebnistabellen (6.3; 6.4 und 6.5) mit den Zahlen für die jeweiligen Regionen aus der aktuellen Stichprobeninventur verglichen. Das Forschungsgebiet Bugant wurde in der MPNFI zur Inventurregion Khentii, das Gebiet Altansumber zur Inventurregion Khovsgul gerechnet (MET 2016). Tabelle 6.2 gibt einen Überblick über die durchschnittlichen Zahlen innerhalb der zwei Inventurregionen, aufgeschlüsselt nach Höhenklassen im borealen Durchschnittswald sowie Wirtschaftswald (MET 2016).

**Tabelle 6.2:** Durchschnittliche Werte zur Verjüngungsschicht (Anzahl/ha) im borealen Durchschnittswald (gesamter borealer Wald) und im Wirtschaftswald entsprechend der MPNFI (Zahlen entsprechend MET 2016; durch Auf- bzw. Abrunden können in der Summe geringe Abweichungen vorkommen).

**Table 6.2:** Average regeneration (number / ha) in the boreal average forest and in the production forest according to MPNFI (numbers according to MET 2016; by rounding up or downwards, small deviations can occur in total).

**Таблица 6.2** – Среднее число подроста на гектар в бореальных лесах общего и делового леса по результатам MPNFI (число соответствует MET 2016, при округлении сумм могут произойти незначительные отклонения).

Region	Boreal Average Forest				Boreal Production Forest			
	Height Class			Total	Height Class			Total
	<50 cm	50-150 cm	>150 cm		<50 cm	50-150 cm	>150 cm	
Mongolia	1317	749	959	3025	1261	707	934	2902
Khentii	1280	992	1345	3617	884	887	1443	3215
Khuvsgul	1581	767	913	3260	1765	824	955	3544

Die durchschnittliche Jungwuchszahl in den Inventurregionen Khentii und Khovsgul ist im Vergleich zu allen inventarisierten borealen Regionen der Mongolei höher und kann als

Richtwert für eine gerade ausreichende Anzahl in der Verjüngungsschicht angesehen werden (MET 2016).

### **Die Anzahl in der Verjüngungsschicht variiert stark zwischen den Beständen**

Der Vergleich der Ergebnisse der MPNFI mit den Ergebnissen aus den Forschungsgebieten Altansumber und Bugant ergab Folgendes: Während sich die Zahlen im Forschungsgebiet Altansumber (Tabelle 6.3), abgesehen von Bestand BI, zumeist klar unterhalb des Mittelwertes für die Inventurregion Khovsgul bewegen, liegen die Jungwuchszahlen in den meisten Beständen des Forschungsgebietes Bugant in der Nähe des Mittelwertes der Inventurregion Khentii (zumeist über 3000/ha) oder deutlich darüber (Tabelle 6.4). Ein Grund mag sein, dass die Inventurregion Khovsgul sehr groß gefasst wurde und eigentlich verschiedene Waldwuchsregionen umfasst. In einigen dichter bewaldeten Gebieten (die Taigazone am Khovsgulsee) kommen wahrscheinlich höhere Zahlen als in der eigentlichen Gebirgswaldsteppe vor. Das Forschungsgebiet Altansumber ist als Wuchszone eigentlich eine typische „Khangairegion“ und wurde auch bei verschiedenen Autoren zum Khangai gezählt (Korotkov 1978, Krasnoshekov 2013, Khutakova et al. 2016). Die Jungwuchszahlen der MPNFI für die Khangairegion liegen in Wirtschaftswäldern zwischen 1600 und 1700 Stück pro Hektar (MET 2016), was deutlich näher an den Werten aus Altansumber liegt.

Bei der Anzahl in der Verjüngungsschicht nach Höhenklassen ist zu beachten, dass diese in den überwiegend gleichaltrigen Lärchenbeständen im Zusammenhang mit Waldentwicklungsstadien (Korpel 1995, Wagner und Fischer 2008) auch berücksichtigt werden müssen. So dominieren im schwachen Lärchenstangenholz (LI) vor allem hochgewachsene junge Bäume, die aber noch nicht die nötige Kluppschwelle erreicht haben. Im reiferen Lärchenbestand LIII (geringes Baumholz) hingegen dominiert vor allem Jungwuchs unter 60 cm Höhe.

#### *Artenverteilung des Jungwuchses*

Bei der Artenverteilung dominieren in Altansumber vor allem Lärche und Birke, im Forschungsgebiet Bugant Birke, Waldkiefer und Espe, was mit den aktuellen Waldinventurergebnissen korrespondiert (MET 2016). Vereinzelt kommen in Bugant auch Sibirische Zirbelkiefern (*Pinus sibirica*) und sehr selten einzelne Tannen (*Abies sibirica*) in der Verjüngungsschicht vor (z.B. BPI). Das deutet darauf hin, dass zumindest einige der Flächen im Forschungsgebiet Bugant, wenn sie langfristig ungestört bleiben würden (kein



Waldbrand, kein Holzeinschlag etc.) das Potenzial zu reiferen Waldtypen bis hin zur dunklen Taiga haben. Auf eine detaillierte Aufschlüsselung der Arten je Fläche wird aus Platzgründen, und da es für die waldbauliche Betrachtung vor allem um die Hauptbaumarten geht, an dieser Stelle verzichtet.

**Die Verteilung der Verjüngungspflanzen innerhalb der Waldbestände ist zumeist unregelmäßig**

Die Standardabweichung (SD) sowie die minimalen und maximalen Zahlen in den jeweiligen Kreisen veranschaulicht die Verteilung der Verjüngungspflanzen innerhalb der jeweiligen Gesamtaufnahme (einzelne Fläche oder Bestand). Die Auswertung der Verteilung der Daten auf den jeweiligen Flächen zeigt teilweise große Unterschiede zwischen den Beständen und zumeist geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Flächen eines Bestandes.

Auf Flächen, auf denen im Bestand und in der Verjüngungsschicht Birke oder Espe (z.B. Bugant: BPV, BPVI; Altansumber: BI, BII1) dominieren, ist die SD tendenziell höher als auf den Flächen, die z.B. von Lärchen dominiert sind (z.B. Altansumber: LI, LII, LIII1 und LIII3). Eine Ausnahme stellt hierbei der ebenfalls von Birken und Espen dominierte Bestand BPII dar, bei dem aber auch insgesamt eine vergleichsweise geringe Anzahl in der Verjüngungsschicht vorkommt. Die absolut höchste SD und die höchsten Zahlen lassen sich auf den von Espen dominierten fast kahlgeschlagenen Flächen im Bestand AI finden. Hier, wie auch auf den übrigen Flächen, wird der Verjüngungsprozess von Birke und Espe von Stockausschlag bzw. auch Wurzelbrut bestimmt. Die intensive vegetative Vermehrung fördert die beim Jungwuchs ohnehin schon verbreitete Tendenz einer kleinräumig „geklumpten“ Verteilung.

Die Auswertung der Verjüngungsschicht in den Lärchenwaldflächen des Forschungsgebietes Altansumber lässt ebenfalls auf unregelmäßige Verteilung schließen, jedoch in geringerer Ausprägung als bei den stockausschlagenden Laubbaumarten. Auf den Unterschied in der Intensität der „Klumpung“ zwischen Birke und Lärche beim stehenden Bestand wurde im Rahmen dieses Projektes bereits hingewiesen (Kapitel II; Gradel et al. 2015c und Kapitel V; Gradel et al. 2017c).

*Entwicklung der Verjüngungsschicht auf Flächen und in Beständen im Forschungsgebiet Bugant (2011-2013)*

In folgenden Beständen wurden im Forschungsgebiet Bugant 2013 Wiederholungsaufnahmen des Jungwuchses durchgeführt: BPIV, BPV, BPVI (Tabelle 6.5). Die Zahlen deuten an, dass sich der Jungwuchs in den Beständen BPV und BPVI leicht erhöht, im Bestand BPIV leicht verringert hat. Eine zu erwartende zukünftige Verschiebung in den Höhenklassen wird im Vergleich zur Erstaufnahme vor allem in den Beständen BPV und BPVI deutlich, wo die Höhenklasse über 160 cm zahlenmäßig zugenommen, die Höhenklasse zwischen 60 und 160 cm abgenommen hat. Dieses Ergebnis spiegelt das erfolgreiche Wachstum wieder. Auf einzelnen Flächen (BPV-13; BPVI-18) ist die Anzahl der Jungwuchs in der Klasse zwischen 60 und 160 cm ebenfalls leicht gestiegen.

## KAPITEL VI

**Tabelle 6.3 :** Übersicht über die Verteilung nach Höhenklassen, die Gesamtzahl und die Verteilung der erfassten Verjüngungspflanzen in den Stichprobepunkten und die wichtigsten Arten je Fläche und Bestand aus der Aufnahme der Verjüngungsschicht 2012 im Forschungsgebiet Altansumber. \*= die Flächen BI2 und BI3 hatten bei der Aufnahme 2012 eine Größe von 1550 m<sup>2</sup> und damit jeweils nur 12 Stichprobepunkte je Fläche; treatment (removal)=Durchforstungsintensität nach Grundfläche (med. int. = mittlere Intensität mit max. 52 %; low int. =niedriger Intensität mit max. 23 %; no treat. = keine Behandlung; siehe dazu Gradel et al. 2017c).

**Table 6.3:** Overview of the distribution by height classes, the total number and the distribution of the recorded regeneration in the sampling points and the most important species per plot and stand from the 2012 regeneration assessment in the research area Altansumber. \*= The plots BI2 and BI3 had a size of 1550 m<sup>2</sup> at the time of regeneration assessment in 2012 and thus only 12 sample points per area; Treatment (removal) = Intensity of thinning by basal area (median int. = Average intensity with a maximum of 52%, low int. = Low intensity with a maximum of 23%, no treat = no treatment, see Gradel et al. 2017c).

**Таблица 6.3** - Обзор распределения классов по уровню высоты, общее количество и распределение подроста в точках выборки и основных видов на единицу площади и древостоя при инвентаризации подроста в 2012 году в районе исследования Алтансумбер. \*= Исследованные площади BI2 и BI3 имели при инвентаризации в 2012 размер 1550 кв.м и только 12 точек выборки на каждой площади; treatment (removal)= интенсивность вырубki по площади сечения (med. int. = средняя интенсивность с максимумом 52%, low int. = низкая интенсивность с максимумом 23%; no treat. =отсутствие вырубki; см. Gradel et al. 2017c).

Site information				Regeneration per hectare					Distribution on the sample points			
				Height class N(/ha) in cm			Total (N/ha)	Main species	sample points (N)	Max (N/ha)	Min (N/ha)	sample points (SD)
Forest habitat type	Stand	Plot	treatment (removal)	20-60	60-160	>160 and <7cm DBH						
Betula - Larix	LI	1	med. int.	0	156	1250	1406	Larix	16	7500	0	2230
Betula - Larix	LI	2	low int.	0	0	1250	1250	Larix	16	5000	0	1581
Betula - Larix	LI	3	no treat.	0	0	4219	4219	Larix	16	15000	0	5141
Betula - Larix	LI	stand		0	52	2240	2292	Larix	48	15000	0	3567
Betula - Larix	LII	1	med. int.	0	781	938	1719	Betula, Larix	16	12500	0	4254
Betula - Larix	LII	2	no treat.	0	625	625	1250	Larix	16	7500	0	2415
Betula - Larix	LII	3	low int.	0	0	0	0	Larix	16	0	0	0
Betula - Larix	LII	stand		0	469	521	990	Larix, Betula	48	12500	0	2859
Betula - Larix	LIII	1	no treat.	1719	156	0	1875	Larix	16	12500	0	3476
Betula - Larix	LIII	2	no treat.	2656	1250	0	3906	Larix, Betula	16	22500	0	7010
Betula - Larix	LIII	3	no treat.	156	156	0	313	Larix	16	5000	0	1250
Betula - Larix	LIII	stand		1563	469	0	2031	Larix, Betula	48	22500	0	4717
Betula - Larix	BI	1	med. int.	313	4844	2344	7500	Betula	16	37500	0	10328
Betula - Larix	BI	2	no treat.	0	625	5000	5625	Betula	12 (16)	10000	0	4281
Betula - Larix	BI	3	low int.	1250	1875	1667	4792	Betula, Salix	12 (16)	20000	0	6258
Betula - Larix	BI	stand		500	2688	2938	6125	Betula	40	37500	0	7658
Betula - Larix	BII	1	med. int.	313	2500	1406	4219	Betula	16	17500	0	5680

## KAPITEL VI

Betula - Larix	BII	2	low int.	156	938	0	1094	Betula	16	10000	0	2734
Betula - Larix	BII	3	no treat.	313	1719	156	2188	Betula	16	10000	0	3750
Betula - Larix	BII	stand		260	1719	521	2500	Betula	48	17500	0	4345

**Tabelle 6.4:** Übersicht über die Verteilung nach Höhenklassen, die Gesamtzahl und die Verteilung in der Verjüngungsschicht in den Stichprobepunkten und die wichtigsten Arten je Fläche und Bestand aus der Erstaufnahme im Forschungsgebiet Bugant (BPI-BPVI: Aufnahmejahr 2011; AI: Aufnahmejahr 2013); treatment (removal)=ungefähre Durchforstungsintensität (Anteil der frischen Baumstümpfe die auf Fällungen 2009 zurückgeführt werden konnten); no treat. = keine Behandlung; fire reg.= Regenerationsfläche nach Waldbrand.

**Table 6.4:** Overview of the distribution by height classes, the total number and the distribution of the recorded regeneration in the sample points and the most important species per plot and stand from the initial regeneration assessment in the research area Bugant); Treatment (removal) = approximate thinning intensity (basis is the proportion of fresh stumps that could be attributed to 2009 measures); no treat=no treatment; fire reg. = regeneration area after forest fire.

**Таблица 6.4** - Обзор распределения классов по уровню высоты, общее количество и распределение подростa в точках выборки и основных видов на единицу площади и древостоя при инвентаризации подростa в районе исследования Бугант (BPI-BPVI: инвентаризация 2011; AI: инвентаризация 2013); treatment (removal)=приблизительная интенсивность вырубki (количество свежих пеньков, которые указывают на вырубку в 2009 г.); no treat. =отсутствие вырубki; fire reg.=регенерации после лесного пожара.

KAPITEL VI

Table 6.4

Site information				Regeneration per hectare					Distribution on the sample points			
				Height class N(/ha) in cm			Total (N/ha)	Main species	sample points (N)	Max (N/ha)	Min (N/ha)	sample points (SD)
Forest habitat type	Stand	Plot	treatment (removal)	20-60	60-160	>160 and <7cm DBH						
Pinus sylv.	BPI	1	20%	1406	1406	1094	3906	Betula, Populus	16	12500	0	3976
Pinus sylv.	BPI	2	30%	1250	938	1250	3438	Betula, Pinus sylv.	16	17500	0	5391
Pinus sylv.	BPI	3	no treat.	1406	1094	625	3125	Betula, Pinus sylv., Pinus sib.	16	17500	0	4699
Pinus sylv.	BPI	stand		1490	1394	962	3846	Betula, Pinus sylv., Pinus sib.	52	17500	0	4887
Pinus sylv.- Betula	BPII	6	no treat.	1094	0	0	1094	Betula	16	10000	0	2734
Pinus sylv.- Betula	BPII	7	no treat.	156	313	313	781	Betula	16	10000	0	2536
Pinus sylv.- Betula	BPII	8	no treat.	1250	0	0	1250	Betula	16	7500	0	2739
Pinus sylv.- Betula	BPII	stand		1027	268	89	1384	Betula, Populus	56	22500	0	3811
Pinus sylv.- Betula	BPIII	9	no treat.	938	4531	156	5625	Betula, Populus	16	35000	0	9811
Pinus sylv.- Betula	BPIII	10	no treat.	469	2969	1094	4531	Betula	16	17500	0	5931
Pinus sylv.- Betula	BPIII	11	no treat.	156	1563	156	1875	Betula	16	15000	0	5123
Pinus sylv.- Betula	BPIII	stand		446	3125	536	4107	Betula, Populus	56	35000	0	6866
Pinus sylv.- Betula	BPIV	12	no treat.	2188	1875	625	4688	Populus, Pinus sylv.	16	17500	0	4990
Pinus sylv.- Betula	BPIV	13	20%	1563	1719	313	3594	Betula	16	15000	0	5161
Pinus sylv.- Betula	BPIV	14	30%	0	0	0	0	(Betula)	16	0	0	0
Pinus sylv.- Betula	BPIV	stand		1205	1429	268	2902	Betula, Populus, Pinus sylv.	56	17500	0	4666
Pinus sylv.- Betula	BPV	15	no treat.	1719	7031	1563	10313	Populus, Betula	16	22500	0	6115
Pinus sylv.- Betula	BPV	16	no treat.	2656	2969	0	5625	Populus, Betula	16	22500	0	6292
Pinus sylv.- Betula	BPV	17	no treat.	3125	7813	313	11250	Populus, Betula	16	42500	0	10992
Pinus sylv.- Betula	BPV	stand		2679	5491	625	8795	Populus, Betula	56	42500	0	8118
Pinus sylv.- Betula	BPVI	18	fire reg.	156	1719	11719	13594	Populus, Salix	16	32500	5000	8754
Pinus sylv.- Betula	BPVI	19	fire reg.	156	2188	13906	16250	Populus, Betula	16	35000	7500	7638
Pinus sylv.- Betula	BPVI	20	fire reg.	0	5938	15313	21250	Populus, Betula, Alnus	16	52500	7500	10840
Pinus sylv.- Betula	BPVI	stand		89	3259	14018	17366	Populus, Betula, Alnus	56	52500	5000	8975
Populus tremula	AI	4	60%	0	22656	14688	37344	Populus	16	97500	0	24503
Populus tremula	AI	5	80%	156	12969	5156	18281	Populus	16	60000	0	16220
Populus tremula	AI	stand		78	17813	9922	27813	Populus	32	97500	0	22618

## KAPITEL VI

**Tabelle 6.5:** Übersicht über die Verteilung nach Höhenklassen, die Gesamtzahl und die Verteilung in der Verjüngungsschicht in den Stichprobepunkten und die wichtigsten Arten je Fläche und Bestand aus der Wiederholungsaufnahme im Forschungsgebiet Bugant (BPIV-BPVI: Aufnahmejahr 2013); treatment (removal)=ungefähre Durchforstungsintensität (Anteil der frischen Baumstümpfe die auf Fällungen 2009 zurückgeführt werden konnten); **no treat.** = keine Behandlung; fire reg.=Regenerationsfläche nach Waldbrand.

**Table 6.5:** Overview of the distribution by height classes, the total number and the distribution of the recorded young population in the sampling points and the most important species per plot and stand of the re-assessment of regeneration in the research area Bugant (BPIV-BPVI: assessment year 2013); Treatment (removal) = approximate thinning intensity (basis is the proportion of fresh stumps that could be traced back to 2009 cuttings); **no treat.** = keine Behandlung; fire reg.=Regenerationsfläche nach Waldbrand.

**Таблица 6.5** - Обзор распределения классов по уровню высоты, общее количество и распределение подроста в точках выборки и основных видов на единицу площади и древостоя при повторной инвентаризации подроста в районе исследования Бугант (BPIV-BPVI: инвентаризация 2013); treatment (removal)=приблизительная интенсивность вырубki (количество свежих пеньков, которые указывают на вырубку в 2009 г.); no treat. =отсутствие вырубki; fire reg.=регенерации после лесного пожара.

Site information				Regeneration per hectare					Distribution on the sample points			
				Height class N(/ha) in cm			Total (N/ha)	Main species	sample points (N)	Max (N/ha)	Min (N/ha)	sample points (SD)
Forest habitat type	Stand	Plot	treatment (removal)	20-60	60-160	>160 and <7cm DBH						
Pinus sylv.- Betula	BPIV	12	no treat.	3125	469	625	4219	Populus, Pinus sylv.	16	15000	0	4446
Pinus sylv.- Betula	BPIV	13	20%	625	1250	469	2344	Betula	16	12500	0	3815
Pinus sylv.- Betula	BPIV	14	30%	0	156	0	156	(Betula)	16	2500	0	625
Pinus sylv.- Betula	BPIV	stand		1161	670	357	2188	Betula, Populus, Pinus sylv.	56	15000	0	3664
Pinus sylv.- Betula	BPV	15	no treat.	625	3125	5156	8906	Populus, Betula	16	17500	0	5914
Pinus sylv.- Betula	BPV	16	no treat.	625	2656	1563	4844	Populus, Betula	16	17500	0	4422
Pinus sylv.- Betula	BPV	17	no treat.	2969	6563	938	10469	Populus, Betula	16	37500	0	9001
Pinus sylv.- Betula	BPV	stand		1563	3973	2232	7768	Populus, Betula	56	37500	0	6820
Pinus sylv.- Betula	BPVI	18	fire reg.	0	2500	14063	16563	Populus, Salix	16	40000	5000	11397
Pinus sylv.- Betula	BPVI	19	fire reg.	0	1875	14375	16250	Populus, Betula	16	30000	7500	6646
Pinus sylv.- Betula	BPVI	20	fire reg.	313	2500	18438	21250	Populus, Betula, Alnus	16	37500	5000	10528
Pinus sylv.- Betula	BPVI	stand		179	2188	15536	17902	Populus, Betula, Alnus	56	40000	5000	9217

### **Künstliche Verjüngung durch Unterpflanzen und Aufforstung**

Wo die natürlichen Verjüngungsprozesse nicht greifen, die Waldfläche schnell vergrößert werden soll oder zielgerichtet eine Baumart aufgrund der waldbaulichen Zielsetzung gefördert werden soll, stellen Formen der Aufforstung oder Förderungsmaßnahmen der Verjüngung Alternativoptionen dar. Waldbauliche Maßnahmen zur Förderung der Verjüngung sind in der Literatur beschrieben (z.B. Röhrig et al. 2006, Morat 2015) und sollten für die Mongolei erprobt werden. In diesem Abschnitt soll nur kurz auf Aufforstung und Unterpflanzen als direkte Maßnahmen eingegangen werden.

In den innerasiatischen Ländern gibt es besondere Schwierigkeiten bei der Aufforstung, was verschiedene Gründe hat (Klima, Infrastruktur, Kapazitäten). Dazu gehört zunächst die Auswahl einer geeigneten Fläche, die Prüfung und Sicherung der Pflanzgutqualität (Herkünfte; oft gibt es keine Saatgutbestände), der Transport des Pflanzgutes, die Vorbereitung der Pflanzlöcher, Technik und Zeitpunkt des Pflanzens, Pflanzschema unter Beachtung der örtlichen Verhältnisse sowie ausreichender Schutz und ggf. Pflege der Aufforstungsflächen, z.B. vor Vieh oder Konkurrenz durch andere Pflanzen. In einer Studie der Weltbank zu Aufforstungen in der Mongolei wurde festgestellt, dass, wenn tatsächlich gepflanzt wurde, insbesondere aufgrund von Feuer, Verbiss durch Viehherden und Wassermangel eine zumeist sehr geringe Überlebensrate festgestellt wurde (Mühlenberg et al. 2006). Besonders wichtig für die erfolgreiche Begründung einer Kultur (im Sinne von Ammer et al. 2004) in der Mongolei sind offensichtlich die Klimafaktoren. Insbesondere die Menge und das zeitliche Auftreten des Niederschlages hat, vor allem im ersten Jahr, einen signifikanten Einfluss auf die Überlebensrate und somit den Erfolg der Aufforstung. Das konnte für die Mongolei anhand von langjährigen Feldaufzeichnungen zu Kiefernauaufforstungen im Gebiet Tujyin nars, unweit von Darchan, gezeigt werden (Gerelbaatar et al. 2017). Das Gebiet Tujyin nars kann als eine Erfolgsgeschichte in Bezug auf Aufforstungen in der Mongolei angesehen werden. Hier entstanden, dank der Wiederaufforstungen im ehemals bereits mit Kiefernwäldern bestockten Areal wieder große Waldflächen. Mikroklima variiert vor allem in Hanglagen stark und diesbezüglich sind Pflanzschemata ggf. anzupassen. Neue Studien zeigen, dass das trupp- und gruppenweise Pflanzen von Bäumen auch aus wirtschaftlicher Sicht erfolgversprechender sein kann, als die üblichen Reihenpflanzungen (Saha 2017). Zukünftig wären in der Mongolei auch Versuche zur örtlichen Förderung bestimmter Mischbaumarten (Gerelbaatar et al. 2017) bis hin zur Überführung zu anderer Zielbestockung denkbar, z.B. durch Unterpflanzen. Die

Bereitstellung von ausreichendem Pflanzmaterial kann nur durch den Aufbau und die Förderung von Baumschulen erreicht werden. Der Aufbau von Baumschulkapazitäten ist eine Aktivität des tschechisch-mongolischen Projektes *“Development of Forests and the Gene Pool of Local Forest Tree Ecotypes in Mongolia“* (Kusbach et al. 2017) das zusammen mit der MULS in Darchan durchgeführt wird.

### **Diskussion**

Gebirgswaldsteppenzone und Taigazone unterscheiden sich insbesondere bezüglich der Anzahl in der Verjüngungsschicht. In der Taigazone sind Anzahl und Artenvielfalt in der Verjüngungsschicht höher (es kommen unter anderem auch Tannen und Zirbelkiefern vor). Die Verjüngungsaufnahmen in Bugant stützen die dunkle Taiga-Hypothese, in der davon ausgegangen wird, dass es in der Mongolei eine beachtliche Anzahl von Waldbeständen der hellen Taiga gibt, die ein Produkt häufiger Störungen darstellen und eigentlich das



Standortpotenzial zu einer Weiterentwicklung zur dunklen Taiga besitzen würden (Gradel 2007).

Die Anzahl in der Verjüngungsschicht im Forschungsgebiet Bugant ist insbesondere im schwer feurgeschädigten Bestand BPVI und auf den fast kahlgeschlagenen Flächen im Bestand AI enorm. Vor allem im letztgenannten Bestand spielt Stockauschlag die entscheidende Rolle, während im erstgenannten Bestand auch viele Bäumchen aus Sämlingen entstanden sind. Ein weiteres Monitoring dieser Flächen könnte gute Zeitreihenentwicklungen zur Sukzession nach Störungen für diese Bestände liefern.

Das Phänomen der „Klumpung“ tritt in der hellen Taiga offensichtlich in artspezifischer Ausprägung bereits intensiv im Jungwuchs auf, und entwickelt sich erst durch die Konkurrenz- und Verdrängungseffekte während des Wachstums zunehmend in Richtung zufälliger Verteilung. Die, durch Waldbrand und lokale irreguläre Nutzung störungsreiche, helle Taiga weist in Altansumber aber häufig weiterhin eine geklumpte Verteilung auf. Eine unregelmäßige, geklumpte Verteilung der Verjüngungsschicht ist auch in vielen anderen Waldtypen verbreitet (Ammer et al. 2004, Winter 2016).

Standardabweichungen und Maximalzahlen auf den Probekreisen haben sich im Beobachtungszeitraum nur wenig verändert. Das deutet darauf hin, dass die Verjüngungsaufnahme insgesamt gut funktioniert hat, obgleich es keine festen Probekreise gab und mit freien Transekten gearbeitet wurde. Es ist darauf hinzuweisen, dass für Jungwuchsaufnahmen generell eine zufällige Auswahl empfohlen wird, da systematische Aufnahmen zumeist fehlerbehafteter sind, insbesondere bei geklumpter Verteilung (Ammer et al. 2004). Für die Aufnahme auf den Referenz- und Durchforstungsflächen war die durchgeführte systematische Aufnahme aber praktikabler.

In Bezug auf die künstliche Verjüngung, insbesondere Aufforstung, sind für die Planung und erfolgreiche Umsetzung gute Logistik und ausreichende Finanzmittel notwendig. Hier besteht Bedarf zur Verbesserung, damit Gelder und Arbeitseinsatz wirklich effektiv eingesetzt werden können und Aufforstungen zum gewünschten Ziel führen.

# KAPITEL VII

## SYNTHESE

---

## SYNTHESE

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde die Reaktion von hellen Taigabeständen auf Klimafaktoren und Störungen, insbesondere selektive Holznutzung und Waldbrandeinflüsse anhand von Versuchsflächen analysiert. Die Ergebnisse sollen vor dem Hintergrund von Nutzung und Schutz für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung beleuchtet werden, um letztendlich Schlussfolgerungen für einen angepassten ökologischeren Waldbau (*ecosystem based forest management*) und weitere Forschungsaufgaben in der Mongolei abzuleiten.

### Beobachtete Reaktion der Waldbestände auf Klimafaktoren und Störungen

#### *Einfluss von Feuer allgegenwärtig*

Die Interpretation der Ergebnisse aus den Einzelstudien zeigte, dass die untersuchten Einflüsse nicht völlig getrennt voneinander betrachtet werden können. Obgleich kein Kapitel dieser Arbeit sich ausschließlich mit Waldbrandeinflüssen befasst, waren der Einfluss von Feuerstörungen und die Reaktion des verbleibenden Bestandes in allen Beständen und in allen Kapiteln dieser Arbeit von Belang, da aus allen aufgenommenen Beständen der hellen Taiga Anzeichen von Feuerstörungen berichtet wurden (Gradel et al. 2015a, 2015b, 2015c, 2015d). Die Waldökosysteme in den Forschungsgebieten Altansumber und Bugant sind offensichtlich großflächig feuergestört und das muss bei der Ergebnisinterpretation entsprechend berücksichtigt werden. Auch die Ergebnisse der Forstinventur zeigen, dass Waldbrände in der Nordmongolei weit verbreitet sind und besonders häufig im Selenge Aimag auftauchen. So liegt der Anteil von, durch kürzlich von Waldbränden beeinflussten Waldflächen laut MPNFI in der gesamten Mongolei in den Inventurregionen Khuvsgul und Khentii bei 13,2 % bzw. 34,7 % (MET 2016). Für den Ortskundigen sind die Zahlen, insbesondere in Hinblick auf die Angaben zum Bulgan Aimag, als Teil der Inventurregion Khuvsgul, eher unterschätzt.

Die Art und Ausprägung der Feuerstörung hat, entsprechend den zu Anfang genannten Kriterien (Ausdehnung, Intensität, Häufigkeit und zeitliches Auftreten) offensichtlich einen unterschiedlichen Einfluss auf die Dynamik und Artenzusammensetzung der Wälder. Zudem weisen die Ergebnisse aus Gradel und Mühlenberg (2011) und die Interpretation der Ergebnisse aus diesem Projekt darauf hin, dass auch die räumliche Struktur, sowie die Wachstumsleistung einzelner Baumarten von Waldbränden unterschiedlich stark beeinflusst werden (Gradel et al. 2015c, Gradel et al. 2017a, 2017b, 2017c). Generell ist zunächst das Auftreten von heller und dunkler Taiga und die Altersstruktur neben den standörtlichen Faktoren stark vom Störungsregime und der Reaktion des Waldökosystems abhängig. Dabei

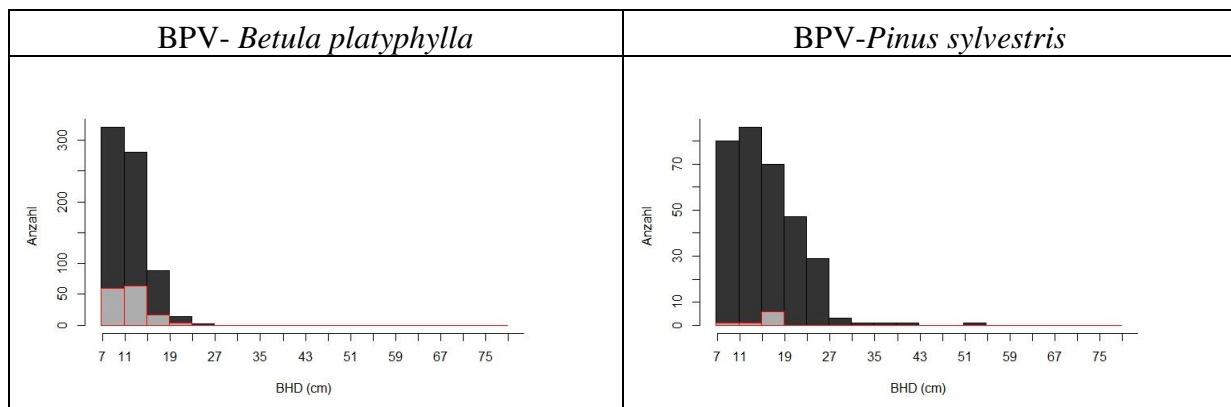
werden in den borealen Wäldern Nordeurasiens verschiedene Störungsregime unterschieden (Shorohova et al. 2009). Gleichaltrige, zumeist auf großer Fläche ähnlich aufgebaute, strukturärmere Bestände sind typisch für Waldgebiete mit großen, intensiven Störungen, die oft auch bestandeserneuernd wirken können, z.B. hervorgerufen durch große und intensive Waldbrände (Goldammer und Furyaev 1996) und typisch für die helle Taiga. Das Dominieren von kleinräumigen Störungsregimen (*gap-driven dynamics*) ist typisch für Wälder, die lange Zeiträume von großflächigen Störungen verschont geblieben sind. In den borealen Breiten ist ein solch kleinräumiges, durch interne Konkurrenzprozesse gesteuertes Störungsregime vor allem auf intakte und langfristig störungsfreie Waldbestände beschränkt. Dies ist typisch für Standorte, auf denen entsprechende Bodenverhältnisse und ausreichende Feuchtigkeit vorhanden sind und dunkle Taigaarten dominieren (Shorohova et al. 2009; Schulze et al. 2012). Diese Prozesse führen zu ungleicher Alters- und Durchmesserverteilung und der Bestand ist durch ein kleinflächiges Nebeneinander verschiedener Phasen der Waldentwicklung gekennzeichnet (siehe auch Korpel 1995). In der dunklen Taiga ist die Waldstruktur zugleich Resultat und Motor des kleinräumigen Störungsregimes. Die Forschungsergebnisse deuten außerdem darauf hin, dass die horizontale räumliche Verteilung der Bäume in der dunklen Taiga tendenziell häufiger "zufällig" sein kann (Gradel und Mühlenberg 2011), als beispielsweise in der hellen Taiga (Gradel et al. 2015c, Gradel et al. 2017c).

*Die Störungsintensität von Feuern ist eine Steuergröße von Baumartenkonkurrenz*

Abhängig von ihrer Intensität beeinflussen Waldbrände die interspezifischen Konkurrenzverhältnisse in der hellen Taiga offensichtlich ganz unterschiedlich. Dieses hängt zum einen mit der Intensität des Feuers, zum anderen mit den Schutz- und Regenerationsmechanismen der Baumarten selbst zusammen. Die Intensität der Feuerschädigung und das Feuerverhalten hängen vermutlich insbesondere von der Art der Bodenvegetation ab (Fischborn 2011). Es ist weitgehend akzeptiert und bekannt, dass hochintensive, bestandeserneuernde Waldbrände, zu denen zumeist auch Kronenbrände gehören, aufgrund der Fähigkeit zum Stockausschlag einen gewissen Vorteil für Birken und Espen darstellen können. Dies ist allerdings nur möglich, wenn diese Baumarten bereits vorher im Bestand vorhanden waren. Feuer kann bei geringerer Intensität aber ganz andersartige Wirkungen entfalten. Ergebnisse aus spezialisierten Studien zur Wirkung von Waldbränden in den borealen Regionen (Barett et al. 2011) werden manchmal generalisiert betrachtet und daher ist es eine verbreitete Annahme, dass Waldbrände in der borealen Zone

Laubbaumarten wie Birke gegenüber Nadelbäumen generell bevorzugen. Ich schlussfolgere, dass die beobachteten Unterschiede von Lärche und Kiefer (Klima-Wachstums-Beziehung, stärkeres Jahrringwachstum) im Vergleich zu den Birken (Gradel et al. 2015a, Gradel et al. 2017a, 2017b, 2017c) zumindest teilweise auf den Einfluss von Bodenfeuern zurückgehen könnten, die nicht bestandserneuernd wirken, sondern vielmehr einige Bäume, insbesondere die Birken, chronisch in ihrem Wachstum geschädigt haben. Da es vor dem RForStand-Projekt kaum Wachstumsanalysen und noch keinerlei Klima-Wachstums-Analyse zur Birke in der Mongolei gab, und Beschreibungen zu Feuerschäden beider Arten aus dem gleichen Bestand fehlten, konnte dieser Aspekt für die Mongolei und die angrenzenden Regionen bisher noch nicht in dieser Form interpretiert werden. Eine aktuelle Studie konnte die enge Verbindung von feuerbeeinflussten Ökosystemen und Baumarten mit dicker Borke auf globaler Ebene über Vegetationszonen hinweg belegen (Pellegrini et al. 2017). Pausas (2014) zeigte, dass es vor allem vom dominierenden Feuerregime innerhalb eines Ökosystems abhängt, inwieweit eine dicke Borke generell einen besonderen Schutz gegen Brände gewährleisten kann. So gibt es Feuerregime, die vor allem dicke Borke am unteren Stamm (Bodenfeuer) oder auf der ganzen Pflanze (durch hohe Gräser genährte Kronenfeuer) selektieren oder sogar Feuerregime, in denen hochintensive Kronenfeuer dominieren, in welchen dann der ressourcenverbrauchende Aufbau einer dicken Borke keine Anpassungsvorteile mehr bringt (Pausas 2014). Für die Nordmongolei sollte man davon ausgehen, dass die dickborkigen Nadelbaumarten (*Pinus* und *Larix*) einen besseren Schutz gegen Feuerschäden von bodennahen Bränden haben als die Birken. In einer Fallstudie aus dem Forschungsgebiet Bugant zu den Beständen BPIV und BPV konnte aufgezeigt werden, dass in feuergeschädigten Beständen Rindenschäden bei Birken deutlich häufiger auftreten als bei den dort vorkommenden Waldkiefern (Gradel et al. 2015a). Da Brände oft unregelmäßig verlaufen, wurden bei der Erfassung nur rußgeschwärzte Stämme lebender Bäume gezählt, die in den ersten 80 cm vom Boden aus mindestens 25 cm<sup>2</sup> beschädigte Rinde aufwiesen (Rinde entweder lose abgestorben oder völlig fehlend). Ab wann Teile des Kambiums so geschädigt sind, dass das Dickenwachstum in den Folgejahren signifikant eingeschränkt wird, lässt sich wahrscheinlich von außen nicht immer sicher beurteilen, aber es ist davon auszugehen, dass mindestens das Kollektiv der aufgenommenen Bäume dazugehört. Wahrscheinlicher ist aber, dass Bäume mit deutlich geringeren äußeren Schäden bereits in ihrem Wachstum negativ beeinflusst wurden und somit die Anzahl der chronisch geschädigten Bäume deutlich höher liegt. In Abbildung 7.1 sind die Aufnahmen zu feuerverursachten Rindenschäden aus dem Bestand BPV aus dem Forschungsgebiet Bugant beispielhaft dargestellt (nach Gradel et al.

2015c). Auf Basis von dendrochronologischen Untersuchungen ist aus den gleichen Beständen das mittlere Jahrringwachstum der Kiefer im Durchschnitt mit  $1,94 \text{ mm} \pm 0,61\text{SD}$  und für den Datensatz der etwa gleichalten Birken mit  $1,13 \text{ mm} \pm 0,59 \text{ SD}$  ermittelt worden. (Haensch 2015). Dabei kamen in den Chronologien bei beiden Arten dominante Individuen in Bezug zu ihren Nachbarn vor (quantifiziert über die Dominanz nach Gadow und Hui 2002 entsprechend der Anpassung in Gradel und Mühlenberg 2011) und auch das Alter war für beide Gruppen sehr ähnlich: die Mehrzahl der Kerne beider Chronologien beginnt zwischen 1940 und 1960 (Haensch 2015). Zudem war die Sensitivität gegenüber exogenen Faktoren bei dominanten Birken niedriger als bei unterdrückten. Diese Beziehung konnte für die Kiefer nicht gefunden werden (Haensch 2015). Oyunsanaa (2011) konnte die Feuerhistorie für verschiedene Waldstandorte im Gebiet um Khonin Nuga rekonstruieren. So liegt die Häufigkeit von Waldbränden in den Kiefernwäldern des nordwestlichen Khentiigebirge bei durchschnittlich 11,6 Jahre (Oyunsanaa 2011).



**Abbildung 7.1:** Erfasste feuergeschädigte Bäume im Bestand BPV aus dem Forschungsgebiet Bugant. Absolute Verteilung der Durchmesser in Stufen von 4 cm. Alle Bäume (schwarz) und von Bodenfeuer geschädigte Bäume (grau); (Gradel et al. 2015c).

**Figure 7.1:** Assessed fire-damaged trees in stand BPV from the research area Bugant. Absolute distribution of the diameters in steps of 4 cm. All trees (black) and surface fire damaged trees (gray); (Gradel et al. 2015c).

**Рисунок 7.1** - Количество поврежденных лесными пожарами деревьев в древостое BPV района исследования Бугант. Абсолютное распределение диаметров по ступени в 4 см. Все деревья (черный цв.) и поврежденные низовыми пожарами (серый цв.); (Gradel et al. 2015c).

Das deutet, insbesondere für die Birken, auf eine womöglich fast dauerhafte Beeinträchtigung über das gesamte Bestandesalter hinweg, da es sicher mehrere Jahre braucht bevor die Rindenschäden überwältigt sind. Eine Hypothese die sich aus der Gesamtbetrachtung der hier dargestellten Untersuchungen und Indizien entwickelt und für die Mongolei quantifiziert werden müsste ist, dass dickborkige Nadelbäume im selben oder auch benachbarten Bestand der hellen Taiga bei regelmäßig auftretenden Bodenfeuern einen Wachstumsvorteil gegenüber den Birken aufweisen. Ob hierbei nur der unmittelbare Störungseffekt (Halpern und Spies 1995) oder aber Folgeeffekte (z.B. potential mehrjährig verringertes Dickenwachstum aufgrund der Schädigung oder Besiedlung durch Pilze an den Feuerschäden) eine Rolle

spielen könnten ist zu klären. Das Feuerregime würde demnach also selektiv die Artenkonkurrenz je nach Intensität ganz verschiedenartig regulieren, was Pausas (2014) allgemein bereits im Hinblick auf andere Regionen indirekt postulierte. Die Indizien zum Baumwachstum aus dem Forschungsgebiet Altansumber (Gradel et al. 2017a, 2017b, 2017c) unterstützen diese Hypothese.

*Klimafaktoren sind eine entscheidende Steuergröße für Störungsart und Störungsintensität sowie von Wachstums- und Regenerationsprozessen im Bestand*

Die Auswertung der Klima-Wachstums-Beziehungen unterstützt ebenfalls die zuvor gestellte Hypothese, dass Bodenfeuer in der hellen Taiga einen relativen Wachstumsvorteil für die Nadelbaumarten darstellen können: Der größte Unterschied im Zuwachsverlauf zwischen Birke und Lärche war die Beziehung zum Klimafaktor Temperatur während dem Höhepunkt der Feuersaison im Frühjahr. Alle Birkenchronologien aus Altansumber (nördliche Hangausrichtung) zeigten hier signifikant negative Korrelationen im Mai, alle Birkenchronologien aus Bugant (teils südliche Hangausrichtung) zeigten signifikant negative Korrelationen im April, die Korrelationen der Lärche hingegen waren nur schwach negativ (Kapitel III und IV; Gradel et al 2017a, 2017b). Es ist wahrscheinlich, dass hierbei nicht nur die Klimafaktoren selbst, sondern auch das durch Klimaeinflüsse gesteuerte Störungsregime (in diesem Fall insbesondere Waldbrände) den Zuwachs beeinflusst hat. Höhere Lufttemperaturen und niedrige Luftfeuchtigkeit sind neben direkter Sonneneinstrahlung und Wind die wichtigsten natürlichen Faktoren bei der Entstehung von Bränden (Tanskanen et al. 2008, Onderka and Melichercik 2010). Ein weiteres Beispiel für die indirekte Beziehung zwischen Klimafaktoren und Störungen ist die bereits von Dulamsuren et al. (2011) aufgestellte Schlussfolgerung, dass sich überdurchschnittliche tiefe Temperaturen und geringe oder fehlende Niederschläge im Winter positiv auf das Wachstum von Lärchen im westlichen Khentiigebirge auswirken, da diese Umstände Insektenpopulationen besonders hart treffen. Unsere Ergebnisse aus den Klima-Wachstums-Analysen deuten darauf hin, dass dieser Umstand und Insektenkalamitäten generell eine stärkere Rolle in der Taiga-Zone, als in der Gebirgswaldsteppenzone spielen könnten (Kapitel III und IV; Gradel et al. 2017a, 2017b). Dieses müsste aber noch stärker auch anhand von Aufzeichnungen zu Kalamitäten und zielgerichteten Weiserjhranalysen untersucht werden.

Die gute Übereinstimmung von Lärche und Birke in Bezug auf die Weiserjhranalysen im Forschungsgebiet Altansumber bestätigen, dass in der Gesamtbetrachtung beide Baumarten

ähnlich auf die direkteren Einflüsse der Klimafaktoren reagieren. Der wichtigste Aspekt ist hierbei die Verfügbarkeit von Wasser. Dass Niederschlag der wichtigste limitierende Faktor für das Wachstum von Nadelbäumen in vielen mongolischen Wäldern ist, wurde durch einige Studien in unterschiedlicher Form für Nadelbäume dargelegt (z.B. Dulamsuren et al. 2011, James 2011, Gradel et al. 2017b). Sowohl die monatsweise Klima-Wachstums-Analyse als auch die ganzjährige und die saisonweise Weiserjhranalyse bestätigen dies (Kapitel IV; Gradel et al. 2017b). In ähnlicher Form ist dieses nun auch für die Birke bestätigt worden (Kapitel III; Gradel et al. 2017a).

Generell zeigten die Ergebnisse, dass ausreichende Niederschläge gegen Ende der Vegetationsperiode im Vorjahr sowie kurz vor und während der Anfangsphase im aktuellen Jahr besonders wichtig für das Baumwachstum sind. Dieses tritt im Forschungsgebiet Altansumber (Gebirgswaldsteppe) deutlicher hervor als im Forschungsgebiet Bugant (Taiga-Zone). In aktuellen Projektionen wird in der Mongolei zunehmend von wärmeren und deshalb auch trockeneren Bedingungen ausgegangen, die auch im Falle potentiell leicht steigender Niederschlagsmengen (IPCC 2013) aufgrund stärkerer Temperaturerhöhung eintreten würden. In dieser Hinsicht lassen die Ergebnisse des RForStand-Projektes die Schlussfolgerung zu, dass sich die Produktivität von Birke und Lärche zumindest in den untersuchten Höhenlagen verringert und der Trockenstress der Bäume zunimmt. Hinzu kommt, dass Klimafaktoren eine Haupttriebkraft für Waldbrände darstellen und wärmere und trockenere Klimabedingungen die Häufigkeit und Intensität von Waldbränden verstärken (Tchebakova et al. 2011, Shvidenko und Schepaschenko 2013, Jolly et al. 2015).

Klimaereignisse bzw. Jahre mit besonders förderlichen Klimabedingungen beeinflussen nicht nur das Wachstum und die Regeneration der bereits stehenden Bäume, sondern spielen offensichtlich eine wichtige Rolle bei der Verjüngung der Waldbestände. Untersuchungen aus dem Darchadtal im Khovsgul Aimag legen nahe, dass die Verjüngung von Sibirischer Lärche und Sibirischer Fichte in Form von episodischen Ereignissen stattfindet. Dabei wird vermutet, dass das Aufeinanderfolgen von positiven Klimabedingungen nach Feuerstörungen die Verjüngung von Beständen synchronisiert (James 2011). Die Jahrringanalysen und der Bestandaufbau von LI deuten darauf hin, dass dieser Bestand, abgesehen von einzelnen alten Solitäräbäumen, durch solche Ereignisjahre entstanden ist.



*Durchforstung kann Bestandesklima kurzfristig positiv beeinflussen, langfristige Einflüsse sind in der Mongolei noch zu erforschen*

Die Durchforstungstudie (Kapitel V; Gradel et al. 2017c) zeigte, dass der Zuwachs von Lärche und Birke in der Periode nach der Durchforstung interessanterweise nicht nur in Abhängigkeit von Konkurrenz, sondern auch ganz ohne Konkurrenzreduktion höher war als in der Periode vor der Durchforstung. Dass Durchforstungen sich positiv auf die Ressourcenverfügbarkeit, insbesondere auf Wasserverfügbarkeit und Licht, und somit den Zuwachs auswirken können, ist in verschiedenen Studien z.B. aus Europa gezeigt worden (Gebhardt et al. 2014, Olivar et al. 2014). Eine Studie zu Kieferndurchforstungen zeigte, dass zumindest kurzfristig negative Effekte von Trockenereignissen kurzfristig abgepuffert werden können (Sohn et al. 2016). Inwieweit diese Beobachtungen auch auf die untersuchten Bestände in Altansumber zutrifft kann an dieser Stelle nicht abschließend geklärt werden. Die Beobachtung allerdings, dass sich der Zuwachs länger unabhängig von Konkurrenzänderungen in der Periode nach der Durchforstung verändert hat, könnte auf eine größerflächige Verbesserung der Ressourcenverfügbarkeit hindeuten, die über die Fläche der direkten Konkurrenzinteraktion zwischen den benachbarten Bäumen hinausgeht. Weitere Erklärungsmöglichkeiten wären, dass die Klimabedingungen in der zweiten Periode insgesamt vorteilhafter waren oder dass in der Periode direkt vor der Durchforstung Störereignisse in allen Beständen auftraten, die in der zweiten Periode fehlten. Hierzu sind die Ergebnisse nicht eindeutig. Die Auswertung von Klimadaten zeigt aber, dass in der ersten Jahreshälfte der Periode nach der Durchforstung durchschnittlich bessere Klimabedingungen herrschten als zuvor (Kapitel V; Gradel et al. 2017c: supplementary materials). Unklar bleiben aber auch die langfristigen Auswirkungen. Positive Effekte von Durchforstungen auf die Abpufferung von Trockenphasen können sich langfristig nicht nur abschwächen, sondern sogar umkehren (Sohn et al. 2016). Dass sich Durchforstungseffekte kurzfristig umkehren können zeigt auch eine Studie aus Skandinavien (Lagergren et al. 2008 zitiert nach Bolte et al. 2010). Hier war die Transpiration auf der durchforsteten Fläche während eines Trockenjahres sogar höher als auf der nicht durchforsteten. Bolte et al. (2010) schlussfolgern, dass Durchforstungen durchaus die Trockenresistenz auf der Einzelbaumebene erhöhen können, es aber zu sehr unterschiedlichen Effekten auf der Bestandesebene kommen kann, da es hier auf eine Reihe von Variablen ankommt (z.B. Bodenvegetation). Wichtig ist zudem zwischen Kurz- und Langzeiteffekten zu unterscheiden (Sohn et al. 2016). Bei den Langzeitbeobachtungen von Forstnutzungseffekten in der Mongolei sollte dem Boden zukünftig besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden (Wecking 2017). Ergebnisse zu

mehrfähriger Aufnahmen in unterschiedlich stark genutzten Beständen aus Lärchen und teils auch Birken aus dem Ostkhentii zeigten, dass die Eingriffsstärke wichtige Faktoren, wie beispielsweise die Temperatur, Luftfeuchtigkeit, das hydrologische Regime und die Mikroflora im Boden direkt beeinflusst (Savin et al. 1988). So nahmen die Durchschnittswerte der Temperatur über dem Boden mit zunehmender Einschlagintensität zu, die Luftfeuchtigkeit hingegen ab. Dabei waren die Effekte direkt über dem Boden höher als in 200 cm Höhe. Der Unterschied des durchschnittlichen Temperaturverlaufes zwischen der Kahlschlagsfläche und der unbeeinflussten Kontrollfläche in Lärchenbeständen betrug während der Vegetationsperiode 5 cm über dem Boden bis zu 7,8 °C (Savin et al. 1988). Inwieweit Durchforstungen oder selektive Holznutzung auf bestimmten Standorten in der Mongolei kurz- und langfristig, insbesondere die Verfügbarkeit von Wasser verändern, da sie diskontinuierlichen oder sporadisch auftretenden Permafrost beeinträchtigen könnten, wäre eine wichtige Forschungsaufgabe. Es ist wahrscheinlich, dass es dabei in der Nordmongolei Unterschiede zur kontinuierlichen Permafrostzone, je nach Hangneigung (Iwahana et al. 2005) und nach Eingriffsstärke, gibt.

*Selektive Holznutzung in dichten Beständen als waldbauliche Maßnahme um Bestandesstabilität gegen Störungen zu erhöhen*

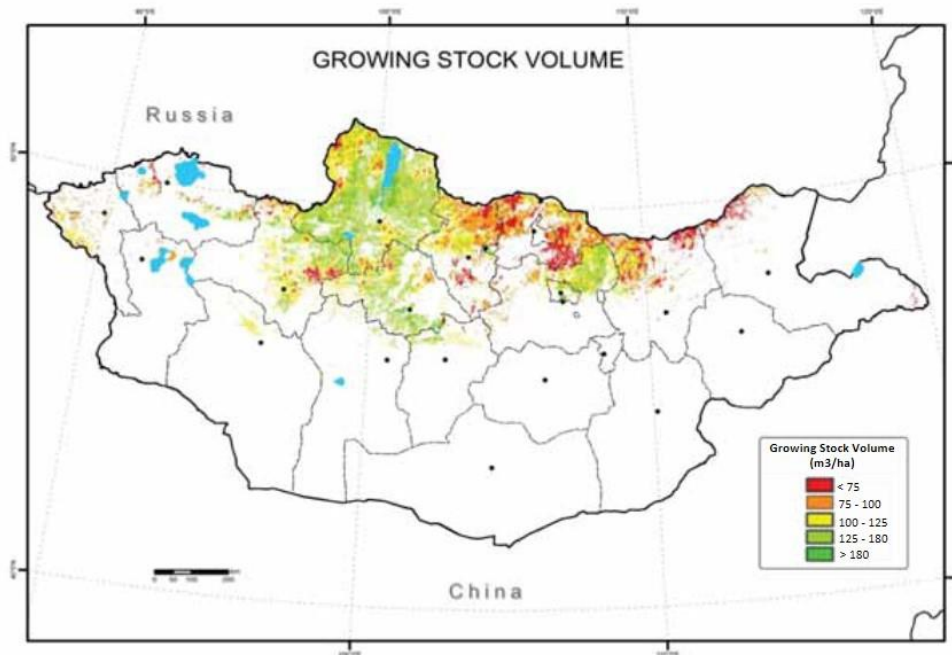
Allgemein können gerichtete waldbauliche Maßnahmen zumindest den Einfluss von Störungen verringern indem sie die Störungseffekte (z.B. Borkenkäferbefall nach Windwurf) verringern (Bolte et al. 2010). Es sollte längerfristig beobachtet werden, inwieweit die Bestandesstabilität z.B. gegenüber häufig auftretenden Ereignissen wie Schneebruch, Insekten und Feuer nach der Durchforstung zu bewerten ist. Die verbreitete Ansicht, dass Durchforstung durch Reduktion von Biomasse die Waldbrandgefahr oder die Waldbrandintensität senken, kann jedenfalls nicht zweifelsfrei belegt werden. Großangelegte Studien, wie z. B. der Hayman fire report (Graham 2003) zeigten, dass das Feuerverhalten zwar offensichtlich geändert wird, wenn ein Bestand durchforstet wurde, er aber nicht unbedingt besser geschützt ist. Vielmehr sind es vor allem Klimafaktoren, Standortbedingungen und aktuelle Wetterbedingungen (Wind!), die den Verlauf des Waldbrandes bestimmen. Zumindest vor Schäden durch Bodenfeuer sollten durchforstete Bestände etwas besser geschützt sein, da im verbleibenden Bestand, aufgrund der Zuwachssteigerung, schneller größere Baumdimensionen erreicht werden. Größere

Baumdimensionen ermöglichen bei Feuerereignissen nachgewiesen bessere Überlebenschancen bei Waldbränden (Fischborn 2011).

Generell konzentrieren sich die wesentlichen Durchforstungseffekte auf gesteigerte Wertleistung und Vitalität. Durchforstungen in Lärchen- und Birkenbeständen, unter Bedingungen wie sie in Altansumber herrschen und unter Anwendung der von uns verwendeten Durchforstkriterien und -stärken führen zumindest kurzfristig zu einer Zuwachssteigerung auf Einzelbaumebene.

### *Einordnung der Durchforstungsversuche in Altansumber in den Nutzungskontext mongolischer Wälder*

Die Intensität der Waldbewirtschaftung ist in der Mongolei aktuell sehr ungleich verteilt. Daraus resultiert inzwischen eine sehr unterschiedliche Bestockung in den einzelnen Regionen, die offensichtlich mit Siedlungsdichte und Zugänglichkeit negativ korrelieren. Abbildung 7.2 zeigt die räumliche Verteilung der durchschnittlichen Bestockung in den mongolischen Wäldern. Auffällig ist, dass gerade in den dichter besiedelten und besser erreichbaren Regionen entlang der Hauptverkehrsachse Russland-China (Selenge Aimag) die Bestockung oft unter den durchschnittlichen Werten des Landes liegen, wohingegen in den abgelegenen und weniger erschlossenen Regionen (beispielsweise nordöstlicher Teil des Khuvsgul Aimag) häufiger höhere Werte verbreitet sind. Die erfassten Werte zur Bestockung können unter Berücksichtigung des unterschiedlichen Standortpotenzials als Indikator für die Nutzungsintensität herangezogen werden. Siehe Abbildung 7.2.



**Abbildung 7.2:** Die Ergebnisse der aktuellen Waldinventur geben einen Überblick über die Waldverteilung und die Bestockung in den einzelnen Regionen des Landes (ohne Saxaulbuschland im Süden des Landes; Quelle: MET 2016).

**Figure 7.2:** The results of the current forest inventory provide an overview of the distribution of forests and growing stock volume in the different regions of the country (without Saxaul bushland in the south of the country; source: MET 2016).

**Рисунок 7.2** - Результаты текущей инвентаризации лесов обеспечивают обзор распределения лесов и полноты насаждений в отдельных регионах страны (без кустарниковых зарослей саксаула на юге страны; источник: MET 2016).

Die Werte des durchschnittlichen borealen Waldes (MET 2016) aus den einzelnen Inventurregionen können mit den Werten der Versuchsflächen verglichen werden, um diese in den Gesamtkontext einordnen zu können. In der Inventurregion Khuvgul stehen im Durchschnitt 121,9 m<sup>3</sup>/ha und die mittlere Stammzahl beträgt 586 N/ha. Im Forschungsgebiet Altansumber entspricht das etwa den Vorräten in den Beständen BII und LIII und ziemlich genau den Stammzahlen im Bestand LII vor der Durchforstung (Gradel et al. 2015b, 2015d). Für die Inventurregion Khentii sind knapp 96m<sup>3</sup>/ha und 444 N/ha als Durchschnittswerte angegeben (MET 2016). Im Forschungsgebiet Bugant liegen die Werte, bis auf die von Waldbrand bzw. Einschlag sehr stark reduzierten Bestände AI und BPVI auch noch nach der Durchforstung, klar darüber. Es ist davon auszugehen, dass die gemittelten Werte aus der MPNFI (MET 2016) nicht unbedingt einen verbreiteten Standard, sondern einen Mittelwert mit großer Varianz bzgl. Vorrat und Stammzahl darstellen.

Die Feststellung des Bestockungsgrades ist in der Mongolei schwierig. Es gibt erste Referenzwerte in einfachen Ertragstafeln (Dorjsuren et al. 2012), die aber überprüft werden

sollten. Die Ergebnisse der MPNFI deuten an, dass die Ertragstafeln die Bestockung tendenziell überschätzen, weshalb im Vergleich die tatsächlichen Bestockungsgrade sehr niedrig erscheinen (mündl. Mitteilung Schmidt-Corsitto 2017). Bei einem Vergleich auf Basis von Mittelhöhe und Grundfläche ergaben sich mit einfachen mongolischen Ertragstafeln (Dorjsuren et al. 2012) für die Bestände der Durchforstungsversuche in Altansumber beispielsweise folgende Bestockungsgrade vor der Durchforstung (Werte nach der Durchforstung jeweils in Klammern): BI (mittlere Intensität): 0,9 (0,43); BI (niedrige Intensität): 0,58 (0,46); BI (ohne Eingriff): 0,72; BII (mittlere Intensität): 0,96 (0,6); BII (niedrige Intensität): 0,96 (0,74); BII (ohne Eingriff): 1,0; LI (mittlere Intensität): 0,66 (0,44); LI (niedrige Intensität): 0,53 (0,45); LI (ohne Eingriff): 0,58; LII (mittlere Intensität): 0,83 (0,73); LII (niedrige Intensität): 0,75 (0,71); LII (ohne Eingriff): 0,72. Wie bereits angemerkt stellen diese Werte nur Ansatzpunkte zur Orientierung dar. Insbesondere die Referenzwerte für Lärche scheinen in der Ertragstafel zu hoch angesetzt zu sein, weshalb die realen Werte sehr niedrig erscheinen. Die Werte können hier nicht abschließend beurteilt werden. Die Überprüfung der Ertragstafeln wäre also wichtig, um eine Orientierung für den Waldbau zu schaffen. Auch wäre es möglich dynamische Wachstumsmodelle zu entwickeln und zu nutzen. Für beides ist ein waldwachstumskundliches Flächennetzwerk als Bestandteil einer Infrastruktur zur Informationsbereitstellung wertvoll, um über Messreihen die Bestockungsdichten und Bestandesbedingungen mit dem Zuwachs direkt verknüpfen zu können. Allgemein sind die mongolischen Wälder von geringer Produktivität geprägt. Es überwiegen niedrige Bonitäten (Dugarshav 1996, Dorjsuren 2009, Krasnoshekov 2013). Den Beständen in Altansumber konnten auf der Basis von Vergleichen mit aktuellen Ertragstafeln aus Regionen des angrenzenden Russlands Bonitäten zwischen II (Bestand LI) und II-III (Bestand BII, LII, LIII) und III (Bestand BI) zugewiesen werden (Gradel et al. 2015b, Khutakova et al. 2016).

Die Nutzung in den Schutzwäldern ist auf die lokale Selbstversorgung beschränkt (hauptsächlich NHWP und Brennholz). Die Bewirtschaftung des Wirtschaftswaldes wird von privaten Forstunternehmen durchgeführt, welche beim Umweltministerium entsprechend registriert sein müssen und nur im Rahmen von Lizenzen arbeiten dürfen (UNREDD 2013, MET 2016). Da der örtliche und nationale Bedarf an Holz eher steigt als sinkt und auch die Nutzung selbst in den letzten Jahren gestiegen ist und wieder steigen wird (Ykhanbai 2010, UNREDD 2013) und unsere Ergebnisse zeigen, dass die Zuwachsreaktion des verbleibenden Bestandes auf Durchforstungen signifikant positiv und die Struktur ausreichend resilient ist,

erscheint die geregelte Nutzung junger, dichter Bestände in Form von kontrollierten Eingriffen aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll.

#### *Ergebnisse im Kontext von Reformen und Initiativen zu partizipativer Waldbewirtschaftung*

Die Durchforstung in Altansumber wurde von den örtlichen Nomaden, die sich zur Waldnutzerguppe (WNG) Altansumber zusammengeschlossen haben, durchgeführt. Aktuell sollen etwa 25 % der mongolischen Wälder zu Gebieten von WNGn gehören (Gilmour 2016) und es soll insgesamt über 900 WNGn geben (MET 2016). WNGn können vom Staat Wald für bis zu 60 Jahre mieten. Die WNGn führen allerdings kaum Aktivitäten, die unserem Verständnis von Forstbewirtschaftung entsprechen, durch und dürfen keine stehenden Bäume, ob lebend oder tot, schlagen (MET 2016). Generell spielt Waldbau in Initiativen zu Community forestry kaum eine Rolle (Gilmour 2016). Trotz Projekten und Reformansätzen bleiben die lokalen Anwohner oft bei ihren Nutzungsgewohnheiten, die sich an ihren aktuellen Präferenzen orientieren. Im mongolischen Kontext heißt das erfahrungsgemäß, dass bevorzugt Nadelbäume in den zugänglichen Bereichen in der Nähe von Wegen und Wohnorten in unregelmäßiger Form genutzt werden. Obgleich eine eigentliche Holznutzung lebender Bäume durch WNGn kaum stattfinden soll, wird die Einbeziehung von WNGn für Durchforstungen von Stangenholz und umfangreichere Maßnahmen zur Entfernung von Totholz diskutiert. Aktuell dürfen WNGn nur in sehr geringem Umfang für den Eigenbedarf Holz- und Brennholzverkauf auf Basis von Totholzsäuberungen durchführen, wobei stehendes Totholz nicht genutzt werden soll. Unsere Analyse der Durchforstung im Forschungsgebiet Altansumber (Kapitel V; Gradel et al. 2017c) zeigt, dass es basierend auf unseren Auswahlkriterien, überwiegend zu einer Niederdurchforstung gekommen ist. Aufgrund der Auswahlkriterien sind in den Birkenbeständen teilweise auch einige größere Bäume gefällt worden, wenn sie Schäden aufwiesen und standräumlich durch andere Bäume substituiert werden konnten. Die spezifischen Durchmesserverteilungen haben sich nur wenig geändert. Auf der Fläche BI3 kam es zu Abweichungen zwischen geplanter Umsetzung und tatsächlicher Durchführung. Die Fläche weist eine stärkere Hangneigung auf und ist von dichtem Strauchwerk bedeckt, was die Begehung deutlich erschwert. Zusätzlich ist das Nutzungspotential der überwiegend kleinen und gebogenen Birken niedrig. Dies sind wahrscheinlich Gründe dafür gewesen, dass die WNG-Mitglieder von unseren Vorgaben auf Fläche BI3 abwichen und nur im unteren, leichter erreichbaren Teil der Fläche bevorzugt grössere Bäume fällten, was eher ihren üblichen Präferenzen entspricht. Die Fläche weist

deshalb die niedrigste NG-ratio (0,93) auf und die unregelmäßige Verteilung wurde durch den Eingriff sogar noch verstärkt, wohingegen bei allen übrigen Flächen eine „Entklumpung“ stattfand. Die Vorgehensweise der WNG unterstützt die Vermutung, dass die beobachteten unregelmäßigen Baumverteilungsmuster in der hellen Taiga, neben Sukzessionsprozessen vor allem nach Feuerstörungen, teilweise auch auf die Nutzungspräferenzen der Einheimischen zurückzuführen sein könnten (Gradel et al. 2015c), die ja bisher keine langfristigen Waldbauziele berücksichtigen und immer wieder auch unregelmäßig genutzt haben. Brennholz als wichtigstes Nutzungsprodukt, wird zumeist durch den Einschlag von größeren Lärchen gewonnen, wohingegen kleinere Bäume und vor allem Birken nur wenig genutzt werden (eigene Beobachtung). Diskussionen über die Integration von Forstbewirtschaftung in WNGn müssen deshalb die tatsächlichen Strukturen und eher kurzfristig angelegten Präferenzen realistisch einbeziehen, da diese konträr zu langfristig sinnvollen Waldbauzielen sein können. Falls Holznutzung über WNGn irgendwann erfolgen soll, müssten hier umfangreiche Trainingsmaßnahmen durchgeführt und Kontrollmechanismen durch die Forstverwaltung etabliert werden.

### **Capacity development auf den Flächen**

Durchforstungsflächen stellen ein Instrument dar, welches geregelte Holznutzung und Capacity development praktisch und für jeden anschaulich verbinden kann. Studenten von verschiedenen Institutionen aus der Mongolei und Deutschland waren in den verschiedenen Aktivitäten während der Flächeneinrichtung, -aufnahme und -auswertung involviert. Dabei sind die ersten Aktivitäten noch unter dem FAO-Projekt gelaufen. Ab 2011 schließlich wurden die Aktivitäten im Rahmen des Projektes „*Reaktion von Waldbeständen am Rande der südlichen Taiga auf Klimafaktoren, natürliche und waldbauliche Störungen*“ fortgeführt. Alle Personen wurden seit 2009 dabei von mir in der Durchführung ihrer Arbeiten betreut. Ein Überblick wurde in Darchan 2015 vorgestellt (Gradel et al. 2015e), (siehe Tabelle 7.1).

**Tabelle 7.1:** Überblick über die involvierten Studenten während den Messkampagnen (in Anlehnung an Gradel et al. 2015d).

**Table 7.1:** Overview of the participating students during the measurement campaigns (based on Gradel et al. 2015d).

**Таблица 7.1** - Обзор участвующих студентов в ходе измерительных кампаний (на основе Gradel et al. 2015d).

year	gender	field work	research area	work package (main content of activities)	Institution of higher education	Project
2009	f	x	Altansumber	PE,DM	MULS, Darkhan	GCP/MON/002/NET (UNFAO)
	m	x	Altansumber	PE,DM	MULS, Darkhan	GCP/MON/002/NET (UNFAO)
	m	x	Altansumber	PE,DM	MULS, Darkhan	GCP/MON/002/NET (UNFAO)
	m	x	Altansumber	PE,DM	MULS, Darkhan	GCP/MON/002/NET (UNFAO)
	f	x	Altansumber	PE,DM	MULS, Darkhan	GCP/MON/002/NET (UNFAO)
	f	x	Altansumber	PE,DM	MULS, Darkhan	GCP/MON/002/NET (UNFAO)
2010	f	x	Altansumber	CM	MULS, Darkhan	GCP/MON/002/NET (UNFAO)
2011	f	x	Bugant	PE,DM,HM,PTS,RM	MULS, Darkhan	RForStand
	m	x	Bugant	PE,DM,HM,PTS,RM	MULS, Darkhan	RForStand
	m	x	Bugant	PE,DM,HM,PTS,RM	MULS, Darkhan	RForStand
	m	x	Bugant	PE,DM,HM,PTS,RM	MULS, Darkhan	RForStand
	f	x	Bugant	PE,DM,HM,PTS,RM	MULS, Darkhan	RForStand
2012	f	x	Altansumber	DM (r), HM, PTS, RM, EWC	MULS, Darkhan	RForStand
	m	x	Altansumber	DM (r), HM, PTS, RM, EWC	MULS, Darkhan	RForStand
	m	x	Altansumber	DM (r), HM, PTS, RM, EWC	MULS, Darkhan	RForStand
	m	x	Altansumber	DM (r), HM, PTS, RM, EWC	MULS, Darkhan	RForStand
	f	x	Altansumber	DM (r), HM, PTS, RM, EWC	MULS, Darkhan	RForStand
	m	x	Altansumber	DM (r), HM, PTS, RM, EWC	MULS, Darkhan	RForStand
2013	m	x	Altansumber	CM, DM (el), HM, DM (r)	MULS, Darkhan	RForStand
	m	x	Altansumber	CM, DM (el), HM, DM (r)	FH Eberswalde	RForStand
	m	x	Bugant	RM (r), EWC,CM	MULS, Darkhan	RForStand
	m	x	Bugant	RM (r), EWC,CM	MULS, Darkhan	RForStand
2014	f	x	Bugant	CM	MULS, Darkhan	RForStand
	f	x	Bugant	CM	MULS, Darkhan	RForStand
2015	f	-	-	DC (Master thesis)	TUD, Dresden	RForStand

**Abbreviations:** CM: random control measurements; DC: dendrochronological analysis; DM: diameter measurement; EWC: extraction of wood cores; FH: Fachhochschule; HM: height measurement; MULS: Mongolian University of Life Sciences; PE: plot establishment; RM: regeneration measurement; TSP: Position of trees and stumps; TUD: Technische Universität Dresden; (el): enlargement of plot; (r): re-assessment; f: female; m: male. GCP/MON/002/NET (UNFAO): *Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia* RForStand=*Response of forest stands at the edge of the southern taiga to climate factors, natural and silvicultural disturbances* (supported by DAAD).

Für eine zielgerichtete forstliche Ausbildung zukünftiger Forstfachleute wäre es wichtig, durch standardisierte Feldbesuche und -praktika waldbauliche Maßnahmen und Feldaufnahmen praktisch kennenzulernen. Die praktische Vermessung im Gelände sollte



durch konkrete Trainingsmaßnahmen mit themenbezogenen Seminaren unterstützt werden. Potenzielle Themen wären: Inventur, Erfassung und Monitoring von Wäldern, Integration von multifunktionaler, naturnaher Mischbestandswirtschaft in das Waldmanagement, verschiedene Formen der künstlichen Verjüngung, Einfluss von Durchforstungen auf Bestand und Konkurrenz und weitere Themen in Absprache mit den mongolischen Partnern. Erfahrungsgemäß sind Gastvorlesungen durch Ausländer in Darchan willkommen und wirken motivierend auf die Studenten. Diese Aspekte sollten in die universitäre Ausbildung integriert werden.

Referenzflächen und Durchforstungsversuche stellen ebenso geeignete Anschauungsobjekte für in- und ausländische Forstexperten dar. In Feldexkursionen können dabei Erfahrungen und Pläne direkt vor Ort besprochen und diskutiert werden. Durchforstungsergebnisse können Hinweise für die Umsetzung auf größerer Fläche (z.B. im Rahmen von Projekten oder die Forstverwaltung) dienen. Schließlich können aus Referenz- und Durchforstungsflächen auch im wissenschaftlichen Kontext wertvolle Informationen und Ergebnisse zu den Wäldern und Einflüssen für die Region gemeinsam mit den mongolischen Partnern gewonnen werden.

## Entwicklung eines mongolischen Waldbaus

Auf der Basis der Ergebnisse und weiteren Quellen können einige Empfehlungen für die Entwicklung einer nachhaltigeren Nutzung gegeben werden. Nachhaltigkeit ist ein grundlegendes Wesensmerkmal der Forstwirtschaft (Röhrig et al. 2006) und sollte im mongolischen Kontext und Relevanz für die Bestandesebene vor allem folgende Aspekte berücksichtigen:

- Die ökologische Nachhaltigkeit muss Fragen zur Verjüngung, Auswirkungen auf den Boden, diskontinuierlichen und sporadischen Permafrost und Wasserhaushalt (Savin et al. 1988, Kopp et al. 2014), natürliche Störungsregime, Klimaresilienz und Biodiversität berücksichtigen (Khishigjargal 2013, Mühlenberg 2012). Im Hinblick auf den globalen Klimawandel ist die Kohlenstoffspeicherung der mongolischen Wälder zu berücksichtigen (UNREDD 2013, MET 2016).
- Die ökonomische Nachhaltigkeit muss Fragen zur Finanzierbarkeit und dem Gewinn aus Managementmaßnahmen berücksichtigen. Durchforstungen und geregelte Eingriffe können in größerem Umfang nur durchgeführt werden, wenn sie sich "lohnen". In der Mongolei konkurrieren beispielsweise Brennholz und Holzkohle mit subventionierter Steinkohle. Verschiedene Ernteverfahren müssten getestet werden (z.B. Arbeitszeitstudien, Kostenanalysen, Marktanalysen für verschiedene Produkte; siehe z.B. Kluender und Stokes 1996, Kinoshita et al. 2009, Behjou et al. 2009).
- Die soziale Nachhaltigkeit muss die waldbaulichen Ziele im Kontext der Bedürfnisse vor allem der lokalen Bevölkerung betrachten. WNG-Konzepte (FAO 2014) können eine Alternative darstellen, um lokale Nutzungskonflikte zu vermeiden und die Beteiligung und Verantwortung der Bevölkerung zu erhöhen. Bei forstlichen Operationen müssen Arbeitssicherheit und faire Entlohnung gewährleistet werden.

Die Fläche der Wirtschaftswälder auf denen in der Mongolei tatsächlich regulär genutzt wird ist gering, in den letzten Jahren aber stetig gestiegen (UNREDD 2013). Waldbauliche Maßnahmen könnten in der Mongolei möglicherweise die Resilienz von Waldbeständen gegenüber Störungen stärken, somit auch einen Beitrag zur Sicherung einer kontinuierlichen Waldbedeckung leisten und andere Aspekte, wie z.B. auch die soziale Nachhaltigkeit im ländlichen Raum fördern. Nur bei guter Planung und Kontrolle ist eine Schnittmenge von Nutzungsforderung und Schutz im Hinblick auf eine dauerhafte Waldbedeckung erreichbar. Bisher standen sich Schutz- und Nutzungsinteressen oft gegenüber. Durchforstungen sollten

also als ein multifunktionales Instrument betrachtet werden, um sowohl Qualität als auch Resilienz der Bestände zu erhöhen, Holz zu gewinnen, das Leben im ländlichen Raum zu ermöglichen und um die Kontrolle durch die Forstverwaltung zu stärken. In der Gebirgswaldsteppe wäre - im Hinblick auf den Klimawandel - die Aufrechterhaltung einer kontinuierlichen Waldbedeckung, auch als Schutz von Boden und Wasser, neben der Ressourcennutzung (Brennholz, Bauholz) vorrangig. In der Mongolei könnten weitere forstwirtschaftliche Ziele wie z.B. Förderung von Verjüngung und Feuerresistenz sein. Hierzu werden neben Durchforstungen auch Säuberungen nach verschiedenen Erntemaßnahmen empfohlen (Schmidt-Corsitto 2014). Das impliziert, dass als Waldbauziel gesunde Bestände mit geringer Prädisposition gegenüber Feuer zu formen sind. Unsere Ergebnisse deuten an, dass Durchforstungen, wenn richtig durchgeführt, als zielgerichtetes Steuerungsinstrument genutzt werden könnten, um Ressourcenverfügbarkeit, Standraum und Zuwachs zumindest kurzfristig zu optimieren. Richtig angewandt könnte das langfristig sogar zu durchschnittlich höheren Vorräten führen.

Um einen mongolischen Waldbau zu entwickeln, bedarf es eines konzeptionellen Vorgehens. Waldbau hängt immer von spezifischen Zielen ab (Röhrig et al. 2006) und der Waldbesitzer ist für gewöhnlich derjenige, welcher diese Ziele formuliert (Ammer und Puettmann 2009). Die Wälder der Mongolei befinden sich im öffentlichen Besitz (Staatswald). Deshalb muss die Gesellschaft selbst grundlegende Ziele für eine multifunktional ausgerichtete Waldbewirtschaftung formulieren. Konkrete Zielsetzungen können regional aber unterschiedliche Schwerpunkte haben (z.B. eher ökologisch/Schutz, ökonomisch/Produktionsorientiert, oder sozial/z.B. WNGn). Häufig aber wird von einer multifunktionalen Zielsetzung auszugehen sein. Für einige Bestände könnten konkrete Produktionsziele (z.B. Wertholz, Brennholz, Zirbelnüsse und andere NHWP) definiert werden. Unter Berücksichtigung der standörtlichen, natürlichen Bedingungen ergibt sich daraus das konkrete waldbauliche Ziel und somit die Zielbestockung. Waldentwicklungstypen (SBS 2013, Baumann 2014, Bartsch und Röhrig 2016) sind auf der Bestandesebene zu definieren und müssen nicht immer eine direkte Verbindung zum aktuellen Waldzustand haben. Ein degenerierter Restbestand mit Birkenstockausschlag kann als Bestandeszieltyp beispielsweise als vollbestockter Lärchentyp definiert sein. Sich verändernde Klimabedingungen sollten bei der Definition der Waldentwicklungstypen berücksichtigt werden. Um einen Bestand aus dem aktuellen Zustand in den Zieltyp zu überführen, bedarf es Behandlungskonzepte. Behandlungskonzepte als Teil von Waldbaurichtlinien gibt es bisher aber noch nicht in der Mongolei. Auf wissenschaftlich fundierten Ergebnissen fußende

Waldbaurichtlinien können ein Beitrag für eine nachhaltigere Nutzung sein. Waldbaurichtlinien (siehe z.B. RiBeS 2012) müssen also entwickelt werden und vorgeben, anhand welcher Kriterien vorzugehen ist. Behandlungsempfehlungen müssten entsprechend den waldbaulichen Pflegezielen darlegen, in welchen Beständen für welche Ausgangs- und Waldentwicklungstypen zu welchem Entwicklungsstadium, auf welche Weise eingegriffen werden soll. Es müssten für Waldentwicklungstypen - entsprechend multifunktionalen Nutzungszielen - Maßnahmen formuliert werden, die die Bestandesentwicklung entsprechend steuern. Diese Maßnahmen sollten sich auf die als Wirtschaftswald ausgewiesenen Bestände konzentrieren. Einige Maßnahmen, z. B. zu Schutz- oder Regenerationszwecken oder einer eingeschränkten Nutzung könnten auch für einige Schutzwälder niedriger Kategorie relevant sein (z.B. Pflegerichtlinien für geregelte Brennholznutzung oder NHWP-Nutzung). Für die Wirtschaftswälder könnten generell zwei Nutzungsmodelle etabliert werden: Stammholznutzung (hauptsächlich Lärche, Kiefer) und Energieholznutzung (Niederwaldbewirtschaftung; hauptsächlich Birke). Eine ähnlich stark durchstrukturierte Nutzung und Waldbauplanung wie in Mitteleuropa ist für die Mongolei aber in der Fläche auszuschließen. An dieser Stelle können keine abschließenden Vorgaben gemacht werden, aber auf Basis der Ergebnisse beispielhaft einige Optionen angesprochen werden:

Für das Auslesestadium werden bei der Birke in Mitteleuropa z. B. 60 bis 80 Z-Bäume/ha und Baumabstände von 12 m empfohlen (HF 2016). Verglichen damit, war der mittlere Abstand im Bestand BII, der sich schon in einem fortgeschrittenen Stadium befindet, auch nach den Eingriffen auf allen Flächen niedriger. Falls Birkenbestände auch für die Produktion von Wertholz (z.B. für Möbel) bestimmt werden sollten, ist darauf zu achten, dass sie aus Samen und nicht aus Stockausschlag entstanden sind. Birken könnten auch eine Option für die Renaturierung von Bergbaufolgelandschaften in der Nordmongolei werden. In Mitteleuropa hat sich z. B. die Sandbirke (*Betula pendula* Roth) als erfolgreiche Pionier- und Schlüsselbaumart auf Folgeflächen des Braunkohletagebaus erwiesen (Lorenz et al. 2017). Waldbauliche Maßnahmen würden sich in dieser Hinsicht auf die Untersuchung und Förderung von verjüngungsökologisch positiven Bedingungen konzentrieren. In dichten Birkenbeständen mit qualitativ schlechten Stammformen wäre mit dem Ziel der Brennholznutzung eine Mittel- oder Niederwaldbewirtschaftung denkbar. Die Birkenbestände werden sich durch Stockausschlag ausreichend regenerieren. Hier greift das Ziel der Energieholznutzung. Kontrollierte Brände könnten theoretisch in Beständen, wo die Konkurrenz der Birke im Vergleich zur Lärche oder Kiefer geschwächt werden soll, durchgeführt werden. Die Bodenfeuer würden entsprechend der Ergebnisse aus Gradel et al.

(2015c) die Birken stärker schädigen und langfristig eine Wachstumskonkurrenz zu Gunsten der Nadelbäume bewirken. Da für solche Einsätze aber spezielle Kapazitäten und Kontrollen benötigt werden, und der Gewinn zum Risiko relativ gering wäre, ist dieses aktuell nicht ratsam. Wo Jungwuchs nicht ausreichend vorkommt, könnte durch Unterpflanzen die Verjüngung künstlich gefördert werden. Auf geeigneten Standorten und ausreichendem Artenspektrum in den Baumschulen wäre auch eine Überführung in andere Bestandeszieltypen z.B. mit Baumarten wie Fichte oder Zirbelkiefer denkbar. Bei den verschiedenen waldbaulichen Maßnahmen sind auch immer die Kapazitäten zu berücksichtigen. Aktuell wäre in Bezug auf Durchforstungen ein Eingriffsturnus wie in Europa schon aus diesem Grund wenig realistisch. In jungen, dichten Lärchen- Kiefern- und teilweise auch Birkenbeständen (kein Stockausschlag) mit hohem Bestockungsgrad und dem Ziel der Industrieholzproduktion erscheinen z.B. ein bis maximal zwei Eingriffe in Form von Durchforstungen in den ersten 50 bis 60 Jahren Jahren möglich. Später könnte der Bestand über ein Auslesesystem von Zukunftsbäumen schließlich in ein System für die Förderung der Verjüngung und die Endnutzung z.B. in Form von über mehrere Jahrzehnte verteilte Femelschläge (*irregular Shelterwood*) oder Schirmschläge (*uniform Shelterwood*; Matthews 1991) überführt werden.

Die Gesetzgebung hat in der Mongolei in den letzten zwanzig Jahren durchaus Anpassungs- und Reformbereitschaft gezeigt (MOLF 2015). Es gibt aber einen großen Unterschied zwischen der Gesetzgebung und deren Umsetzung. Somit dürfte das Problem weniger in der Formulierung und Annahme von Waldbaurichtlinien, als vielmehr in der strikten Anwendung und Kontrolle bestehen. Unter den besonderen natürlichen und sozioökonomischen Bedingungen der Mongolei ist deshalb der weitere Aufbau einer effizienten Forstadministration notwendig (Benneckendorf 2011). Der Aufbauprozess kann nur von den Mongolen selber getragen und mitentwickelt werden, um mit Weitsicht die Nachhaltigkeit als Ziel bei Entscheidungsprozessen mit einzuschließen. Ein technischer Beitrag im Rahmen der Entwicklungspolitik hierzu wäre Unterstützung bei der Erstellung von angepassten Waldbaurichtlinien, beim Capacity Development und Strukturaufbau der Forstadministration, sowie Unterstützung bei der Unterhaltung von Informations- und Kontrollinstrumenten für eine nachhaltige Bewirtschaftung (z.B. regelmäßige Waldinventur, Durchforstungsversuche und andere Waldwachstumskundliche Flächen).

### ***Abschließende Empfehlungen***

Bei der Untersuchung der Reaktion des Bestandes und von Einzelbäumen auf die verschiedenen Störungen ist deutlich geworden, dass die Störungseinflüsse nicht strikt getrennt voneinander betrachtet werden können. Die Wälder werden von den gegeneinander wirkenden Kräften Störung und Sukzession beeinflusst.

*Folgende Empfehlungen, Fragen und Aufgaben für die Forstbewirtschaftung ergeben sich:*

- Die Erfüllung von Schutzfunktionen und eine ausreichende kontinuierliche Waldbedeckung sollten Vorrang haben.
- In den bewirtschafteten Wäldern sollten nur bei entsprechender funktionierender Kontrolle durch die Forstverwaltung selektive Holznutzungsformen im Sinne einer Dauerwaldbewirtschaftung etabliert werden.
- Kosten-Nutzen-Analysen von forstlichen Operationen (insbesondere Ernteverfahren und Marktkonkurrenz von Produkten) müssen die ökonomische Rentabilität klären.
- Die Struktur erholt sich, ist offensichtlich störungsresilient, solange eine ausreichende Verjüngungsschicht, insbesondere in den größeren Höhenklassen vorhanden ist. Auf ausreichendes Potenzial sollte daher sowohl vor als auch nach Eingriffen geachtet werden.
- Künstliche Verjüngung in Form von Unterpflanzen oder Aufforsten sollte als wichtiges Unterstützungsinstrument verfügbar sein. Es darf aber nicht darum gehen, natürliche Verjüngung zu ersetzen, sondern zielführend zu unterstützen.
- Überprüfung der Ertragstafeln und ggf. Verbesserung oder Erstellung von flexibleren Wachstumsmodellen mit Hilfe von Daten die durch Eingriffsinventuren (Gadow 2015) und aus der nationalen Waldinventur und einem waldwachstumskundlichen Flächennetzwerk abzuleiten sind. Die Flächen des ReForStand-Projektes könnten als Bestandteil einer solchen Waldinformationsinfrastruktur (*forest information infrastructure*) genutzt werden. Die Bereitstellung und verpflichtende Nutzung von Informationen auf Basis dieser Waldinformationsinfrastruktur für die Forstplanung sollte im Forstgesetz verankert werden.
- Für Eingriffe sollten die Durchforstungskriterien aus den Feldversuchen in Altansumber, die auch den Empfehlungen und Schlussfolgerungen für Waldbestände mit geklumpter Verteilung aus Computermodellen entsprechen (Pukkala et al. 2015), berücksichtigt werden; dieses wird häufig zu Niederdurchforstungen führen.

- Für die Verjüngung und Endnutzung: Überführung von durchforsteten Beständen in Schirmschlag- und Femelsysteme (Shelterwood cutting systems); Nutzung nur bei ausreichender Verjüngungsschicht.
- Inwieweit können durch bestimmte Waldbewirtschaftungsoptionen von WNGn die multiplen Ziele von Gesellschaft und verschiedenen Interessengruppen (z.B. im Bezug zu ökonomischer, sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit) tatsächlich implementiert werden?
- Für die Durchführung bestimmter Waldbauziele könnten die WNGn dann finanzielle Kompensationen /Unterstützung vom Staat erhalten (Gradel und Petrow 2014). Wie könnte das aussehen und transparent und überprüfbar umgesetzt werden?

*Folgende Fragen und Aufgaben für die Forschung ergeben sich:*

- Haben Durchforstungen in den Lärchen- und Birkenwäldern Einfluss auf Waldbrandanfälligkeit?
- Inwieweit können verschieden starke und häufige Waldbrände Konkurrenzverhältnisse und Wachstum von Nadelbäumen und Birken unterschiedlich steuern? Dieser Frage sollte in einer Studie unter Berücksichtigung passender Flächenauswahl mit passenden Methoden nachgegangen werden.
- Wie wirkt sich die Durchforstung auf die Bestandesstabilität aus (insbesondere Eis- bzw. Schneebruch, Wind und Insekten)? Visuelle Beobachtungen im Bestand LI weisen darauf hin, dass die Stabilität gegenüber Schneebruch auf den durchforsteten Flächen herabgesetzt sein könnte. Das muss objektiv untersucht werden.
- Versuchsweise sollte auf geeigneten Standorten ein Waldumbau von Pionierwäldern zu dunkleren Wäldern, angereichert mit Fichten und Zirben stattfinden. In der Region um Bugant gibt es einige Bestände die dahingehend Potenzial aufweisen.
- Ist der Zuwachs auch langfristig durch die Durchforstung gesteigert? Wir konnten eine signifikante Zuwachssteigerung bei kurzfristiger Betrachtung nachweisen, aber die längerfristigen Effekte auf den Zuwachs sind in der Mongolei noch nicht bekannt und sollten ebenfalls untersucht werden.

- Weitere Erforschung der langfristigen Auswirkungen von unterschiedlich starken Durchforstungen und Ernteeingriffen, bei unterschiedlicher Exposition und insbesondere auf den Boden (Temperatur, Wasserhaushalt, Humusaufgabe, Permafrost etc.).



# VERZEICHNISSE

---

## LITERATURVERZEICHNIS DER KAPITEL I, VI UND VII

## References of chapters I, VI and VII

## Список литературы глав I, VI и VII

- AA (2017) Auswärtiges Amt – Länderinformationen: Mongolei. URL(Hauptverknüpfung Mongolei): <http://www.auswaertiges-amt.de/DE/Aussenpolitik/Laender/Laenderinfos/01-Laender/Mongolei.html?nnm=383178> (letzter Zugriff 12.01.2017).
- Altenkirch W, Majunke C, Ohnesorge B, (2002) Waldschutz auf ökologischer Grundlage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 434 S.
- Andreeva EN, Bakkal IJu, Gorshkov VV, Ljanguzova IV, Maznaja EA, Neshataev VJu, Neshataeva NI, Stavrova NI, Jarmishko VT, Jarmishko MA (2002) Methoden zur Untersuchung von Waldgesellschaften. / Андреева ЕН, Баккал ИЮ, Горшков ВВ, Лянгузова ИВ, Мазная ЕА, Нешатаев ВЮ, Нешатаева НИ, Ставрова НИ, Ярмишко ВТ, Ярмишко МА Методы изучения лесных сообществ. СПб НИИХимии СПбГУ, 2002 – 240 с. (in Russisch).
- Ammann H (2002) Sektorendarstellung Holz. – Unveröffentlichter Teilbericht zum GTZ-Projekt: Naturschutz und Randzonenentwicklung, Ulaanbaatar.
- Ammer C, Brang P, Knoke T, Wagner S (2004) Methoden zur waldbaulichen Untersuchung von Jungwüchsen. Forstarchiv 75: 83-110.
- Ammer C, Puettmann K (2009) Waldbau, quo vadis? – Waldbewirtschaftung zwischen Funktionenorientierung und Multifunktionalität. Forstarchiv 80: 90- 96.
- Babintseva R M, Titova, Ye V (1996) Effects of Fire on the Regeneration of Larch Forests in the Lake Baikal Basin. Published in: Goldammer JG, Furyaev VV (eds.) (1996): Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London: 358-365.
- Balandin SA, Basilov VN, Braun Wilke RH, Camarasa JM, Coupland RT, Frade S, Fuller K, Ghilarov AM, Given DR, Harcourt C, Hart RH, Junyent C, Mordkovitch VG, Pesci R, Petelin DA, Poch RM, Porta J, Scott GAJ, Sheftel BI, Sokolova ZP, Tishkov AA, Beck M, Campillo X, Vigo M (2000) Encyclopedia of the biosphere – humans in the world’s ecosystems (8): Prairies and taiga. (eds.): Folch R, Camarasa JM, Gale Group 460 p.
- Bannikova IA (1985) Die Gebirgswaldsteppe des Ost-Khangaj als Ökosystem. Feddes Repertorium, 96: 453-465. (zitiert nach Wecking 2017)
- Barrett K, McGuire A, Hoy E, Kasischke E (2011) Potential shifts in dominant forest cover in interior alaska driven by variations in fire severity. Ecol. Appl. 21: 2380–2396. DOI: 10.1890/10-0896.1
- Bartsch N, Röhrig E (2016) Waldökologie - Einführung für Mitteleuropa. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 417 S.
- Bastian O (2000) Mongolei-Transformation und Umwelt in Zentralasien. Geographische Rundschau 52 (3): 17-23.
- Batima P, Natsagdorj L, Gombluudev P, and Erdenetsetseg B (2005) Observed climate change in Mongolia. AIACC Working Paper 13, 26 p. URL: [http://www.start.org/Projects/AIACC\\_Project/working\\_papers/Working%20Papers/AIACC\\_WP\\_No013.pdf](http://www.start.org/Projects/AIACC_Project/working_papers/Working%20Papers/AIACC_WP_No013.pdf) (letzter Zugriff: 14.06.2017).
- Batkhuu NO, Lee DK, Tsogbaatar J (2011) Forest and Forest Research and education in Mongolia. Journal of Sustainable Forestry: 600-617.
- Baumann M (2014) Waldentwicklungstypen Grundlage für eine dynamische Waldbaustrategie. Staatsbetrieb Sachsenforst. PP-Präsentation vom 03.04.2014, Pirna. URL: [https://www.smul.sachsen.de/sbs/download/03\\_Tag\\_Sachsenforst2014\\_WET\\_Baumann.pdf](https://www.smul.sachsen.de/sbs/download/03_Tag_Sachsenforst2014_WET_Baumann.pdf) (letzter Zugriff 03.06.2017).
- Behjou FK, Majnounian B, Dvořák J, Namirianian M, Saeed A, Fegghi J (2009) Productivity and cost of manual felling with a chainsaw in Caspian forests. Journal of Forest Science 55 (2): 96-100.
- Benneckendorf, W (2011) Concept for Forestry Sector Development in Mongolia. Interne GIZ-Studie zum GIZ-Projekt: Climate Change and Biodiversity in Mongolia. Zunkharaa: 56 p.
- Bobiec A (2002) Living stands and deadwood in the Bialowieza forest: suggestions for restoration management. Forest Ecology and Management 165: 125-140.
- Bolte A, Ammer C, Löff M, Nabuurs GJ, Schall P, Spathelf P (2010) Adaptive Forest Management: A Prerequisite for Sustainable Forestry in the Face of Climate Change. Published in: Spathelf P (eds.) Sustainable Forest Management in a Changing World: A European Perspective. Springer Netherlands: 115-139. DOI 10.1007/978-90-481-3301-7\_8
- Chuluunbaatar Ts (1990) Determining threat from fire using meteorological conditions. Forest unit science institute, Ulaanbaatar, No1: 105-110.

- Crawley MJ (2007) *The R-Book*. Wiley, New York, NY, USA, 942 p.
- Darchan-Uul (2017) Gouverneursamt von Darchan-Uul. / Дархан-Уул аймгийн Засаг даргын Тамгын газар). URL: <http://darkhan.gov.mn/аймаг/танилцуулга> (letzter Zugriff 12.01.2017), (in Mongolisch).
- De Grandpré L, Tardif JC, Hessel A, Pederson N, Conciatori F, Green TR, Oyunsanaa B, Baatarbileg N (2011) Seasonal shift in the climate responses of *Pinus sibirica*, *Pinus sylvestris*, and *Larix sibirica* trees from semi-arid, north-central Mongolia. *Canadian Journal of Forest Research* 41(6): 1242–1255.
- Dorjsuren Ch (2009) Anthropogene Sukzession in Lärchenwäldern der Mongolei. / Доржсүрэн Ч. Антропогенные сукцессии в лиственничных лесах Монголии. Ин-т проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, 2009 - 260 с. — (Тр. Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции; Т. 50). (in Russisch).
- Dorjsuren Ch (2012) Mongolisches Forsttaxationsverzeichnis. / Монгол орны ойн таксацын лавлах, Улаанбаатар, Бембин сан, 263 х. (in Mongolisch).
- Dorjsuren Ch (2014) Forest Ecosystems (in Climate change impact and exposure). Published in: *Mongolia second assessment report on climate change – MARCC 2014*. Ulaanbaatar: 94-100.
- Dorren LK, Berger F, Imeson AC, Maier B, Rey F (2004) Integrity, stability and management of protection forests in the European Alps. *Forest Ecology and Management* 195 (1-2): 165–176.
- Dugarshav Tsh. (1996) Дугаржав Ч. Лиственничные леса Монголии (современное состояние и воспроизводство): автореф. дисс. доктора, биол. наук. Красноярск, 1996. 59 с. (in Russisch).
- Dulamsuren Ch (2004) Floristische Diversität, Vegetation und Standortbedingungen in der Gebirgstaiga des Westkhentej, Nordmongolei. *Berichte des Forschungszentrum Waldökosysteme, Reihe A, Bd. 191, Georg-August-Universität Göttingen*, 290 S.
- Dulamsuren Ch, Hauck M, Mühlenberg M (2005) Vegetation at the taiga forest-steppe borderline in the Western Khentey Mountains, northern Mongolia. *Annales Botanici Fennici* 42: 411-426.
- Dulamsuren Ch, Hauck M (2008) Spatial and seasonal variation of climate on steppe slopes of the northern Mongolian mountain taiga. *Grassland Science* 54, 4: 217-230. DOI: 10.1111/j.1744-697X.2008.00128.x
- Dulamsuren, Ch, Hauck M, Leuschner HH, Leuschner C (2011) Climate response of tree ring width in *Larix sibirica* growing in the drought-stressed forest-steppe ecotone of northern Mongolia. *Annals of Forest Science* 68(2): 275-282. DOI 10.1007/s13595-011-0043-9.
- Dulamsuren Ch, Khishigiargal M, Leuschner C, Hauck M (2014) Response of tree-ring width to climate warming and selective logging in larch forests in the Mongolian Altai. *Journal of Plant Ecology* 7 (1): 24-38. DOI: 10.1093/jpe/rtt019
- Evans P (2008) Project Status and Recommendations. Report on the project Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia (GCP/MON/002/NET), 71p.
- FAO (2011) State of the world's forest 2011. Rome: Food and Agriculture Organization, 164 p.
- FAO (2014) GCP/MON/008/GFF: Mainstreaming biodiversity conservation, SFM and carbon sink enhancement into Mongolia's productive forest landscapes. Global Environment Facility Project Document, 205 p. URL: [https://www.thegef.org/sites/default/files/project\\_documents/2-7-14\\_-\\_Project\\_Doc\\_0.pdf](https://www.thegef.org/sites/default/files/project_documents/2-7-14_-_Project_Doc_0.pdf)
- Fischborn M (2011) Influence of Forest Structure on Fire Severity after a Forest Fire in North Mongolia. Master thesis, University of Göttingen, Göttingen, Germany, 92 p.
- Furyaev VV (1996) Pyrological Regimes. Published in: Goldammer, J. G., & Furyaev, V. V., (eds.) 1996: Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht / Boston / London: 168 – 185.
- Gadow K v, Staupendahl K, Roschak C (2000) Zur Anlage, Auswertung und Funktion von Weiserflächen, Herrn Ltd. MR Dr. H. Petri zum 80. Geburtstag, Institut für Forsteinrichtung und Ertragskunde, Georg-August Universität Göttingen, 10 S.
- Gadow K v, Hui G Y (2002) Characterizing forest spatial structure and diversity. Proc. of the Conference "Sustainable Forestry in Temperate Regions", organized by SUFOR, University of Lund, Sweden, 7.-9. April: 20-30.
- Gadow Kv (2005a) Forsteinrichtung. Analyse und Entwurf der Waldentwicklung. Universitätsverlag Göttingen, Reihe Universitätsdrucke, Göttingen, 342 S.
- Gadow Kv (2005b) Alternativen der standardisierten Waldnutzung: Das Mehrpfad-Prinzip der Forsteinrichtung. *AFZ-Der Wald* 9/2005.
- Gadow Kv (2012) Messung und Modellforschung – Grundlagen der Forsteinrichtung. Ein Beitrag zum Gedenkkolloquium anlässlich des 10. Todestages von Prof. Dr. Friedrich Franz am 27. Juli 2012. *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung* 184(7/8): 143-158.
- Gadow Kv, Zhang CY, Wehenkel C, Pommerening A, Corral-Rivas J, Korol M, Myklush S, Hui GY, Kiviste A, Zhao XH (2012) Forest structure and Diversity. Published in: Pukkala T, Gadow Kv (eds.) *Continuous Cover Forestry. Managing Forest Ecosystems*, Springer Netherlands: 29-83.

- Gebhardt T, Häberle KH, Matyssek R, Schulz C, Ammer C (2014) The more, the better? Water relations of Norway spruce stands after progressive thinning intensities. *Agricultural and Forest Meteorology* 197: 235-243.
- Gerelbaatar S, Batsaikhan G, Tsogtbaatar J, Battulga P, Baatarbileg N, Gradel A (2017) Assessment of early survival and growth performance of planted Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) seedlings in the semiarid environment of northern Mongolia. Manuskript in Vorbereitung.
- Gilmour D (2016) Forty years of community-based forestry. A review of its extent and effectiveness. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Forestry Papers 176, Rome, 140 p.
- Goldammer JG, Furyaev VV (1996) Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia: Ecological Impacts and Links to the Global System. Published in: Goldammer, J. G., Furyaev, V. V., (eds.): Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht / Boston / London: 1-20.
- Goldammer JG, Stocks BJ, Sukhinin AI, Ponomarev E (2013) Current Fire Regimes, Impacts and the Likely Changes – II: Forest Fires in Russia – Past and Current Trends. Published in: Goldammer JG (eds.): Vegetation Fires and Global Change. Challenges for Concerted International Action – A White Paper directed by the United Nations and International Organizations, GFMC Freiburg: 51-78.
- Gradel A (2007) Forest Structure in Fire-disturbed Boreal Ecosystems in Northern Mongolia. Master thesis; integrated bi-national double degree of the University of Göttingen and Lincoln University (NZ): 98 p.
- Gradel A, Fontein E (2009) Report of Fieldtrip Bulgan. Internal report of the UNFAO-project: Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia (GCP /MON/ 002/NET): 6 p.
- Gradel A (2010) interner DED-Fachkraftbericht zur Entwicklungsmaßnahme „Partizipatives Ressourcenmanagement in Waldgebieten der nördlichen Mongolei“ im Rahmen des FAO-Projektes „Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia“: 18 S.
- Gradel A, Nemitz D, Guryanov M (2010) Anthropogenic drivers of biodiversity change in the mountain forest steppe of Mongolia. Input of the APMN community to the tenth meeting of the CoP on biodiversity in Nagoya, Japan. *Asia Pacific Mountain Courier* 10 (2): 1-4.
- Gradel A, Mühlenberg M (2011) Spatial characteristics of near-natural Mongolian forests at the southern edge of the taiga. *Allgemeine Forst- und Jagd-Zeitung* 182(3/4): 40-52. URL: <http://www.sauerlaender-verlag.com/index.php?id=1234>
- Gradel A, Baumann M, Schöndube A (2013) Erste Wiederholungsaufnahme in den sächsischen Naturwaldzellen. *Forstjournal des Staatsbetriebes Sachsenforst* 3.13: 16-17.
- Gradel A, Baumann M, Schöndube A (2014) Räumliche Waldstruktur in den sächsischen Naturwaldzellen und bewirtschafteten Vergleichsflächen. Im Rahmen der Forstwissenschaftlichen Tagung 2014: Wälder der Zukunft: Lebensraum, Ressourcenschutz und Rohstoffgewinnung. TU Dresden/Tharandt: 168.
- Gradel A, Petrow W (2014) Forstpolitische Entwicklungen im Transformationsland Mongolei. *AFZ-Der Wald* 17: 36-39.
- Gradel A, Ochirragchaa N, Altaev AA, Voinkov AA (2015a) Non-spatial structure of light taiga, damaged by surface fires in the Khentii Mountains (research area Bugant, Northern Mongolia). Градел А, Очиррагчаа Н, Алтаев АА, Воинков АА Непространственная структура светлохвойной тайги, поврежденной низовыми пожарами в Хэнтэйском нагорье (район Бугант, Северная Монголия). Земельные и водные ресурсы: мониторинг эколого-экономического состояния и модели управления: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 10-летию Института землеустройства, кадастров и мелиорации. 23-25 апреля 2015. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятской ГСХА им.В.Р.Филиппова – с. 198-203. (in Russian).
- Gradel A, Ochirragchaa N, Altaev AA, Voinkov AA, Enkhtuya B (2015b) Structure of forests in the North Mongolian mountain forest steppe on the example of the research area «Altansumber». / Градел А, Очиррагчаа Н, Алтаев АА, Воинков АА, Энхтуяа Б Структура лесов в горной лесостепи северной Монголии на примере района исследований «Алтансумбэр». Почвы степных и лесостепных экосистем Внутренней Азии и проблемы их рационального использования: Материалы международной научно-практической конференции пруроченной к 90-летию, заслуженного деятеля науки РБ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Ишингенова Ивана Афанасьевича. Улан-Уде. 26 марта 2015. – Улан-Удэ: Изд-во Бурятской ГСХА им.В.Р.Филиппова – с. 78-85. (in Russian).
- Gradel A, Ochirragchaa N, Altaev AA, Voinkov AA, Enkhtuya B (2015c) Spatial distribution of trees on light taiga plots before selective thinning. *Mongolian Journal of Agricultural Sciences* 15 (2): 91-99.
- Gradel A, Ochirragchaa N, Altaev AA, Voinkov AA, Enkhtuya B, (2015d) Capacity development and forest research on the light taiga plots of the School of Agroecology and Business of the Mongolian University of Life Sciences in Darkhan. In: Batsukh N, Erdenesuvd D, Daginnas B (Eds.): Current Environmental Issues– Approaches to Solutions. Proceedings of the 20<sup>th</sup> Anniversary of the Professional Environmental Studies Program. Mongolian University of Life Sciences, Darkhan: 44-51.

- Gradel A, Petrov WN, Bayartaa N, Herbst P (2016) Mongolei: In kleinen Schritten Richtung Marktwirtschaft. Forstzeitung 06/16: 30-31.
- Gradel A, Haensch C, Batsaikhan G, Batdorj D, Ochirragchaa N, Günther B (2017a) Response of white birch (*Betula platyphylla* Sukaczew) to temperature and precipitation in the mountain forest steppe and taiga of northern Mongolia. Asian Dendrochronology Association (ADA) 2015. Dendrochronologia 41: 24-33. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dendro.2016.03.005>
- Gradel A, Batsaikhan G, Ochirragchaa N, Batdorj D, Kusbach A (2017b) Climate-growth relationships and pointer year analysis of a Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) chronology in the Mongolian mountain forest steppe compared to white birch (*Betula platyphylla* Sukaczew). Forest Ecosystems 4:22. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40663-017-0110-2>
- Gradel A, Ammer C, Batsaikhan G, Ochirragchaa N, Batdorj D, Wagner S (2017c) On the Effect of Thinning on Tree Growth and Stand Structure of White Birch (*Betula platyphylla* Sukaczew) and Siberian Larch (*Larix sibirica* Ledeb.) in Mongolia. Forests 8 (4): 105. DOI: [10.3390/f8040105](https://doi.org/10.3390/f8040105)
- Gradel C (2011) The Dual Burden of Malnutrition among Under 5 Year old Children in Mongolia - Identification of Socio-economic and Geographic Determinants. Master thesis, Universität Bielefeld, 96 p.
- Graham RT (tech. Eds.) (2003) Hayman Fire Case Study. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-114. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 396 p. [http://www.colorado.edu/geography/courses/geog\\_4371\\_f05/readings/hayman%20fire%20report.pdf](http://www.colorado.edu/geography/courses/geog_4371_f05/readings/hayman%20fire%20report.pdf) (letzter Zugriff: 20.06.2017)
- Haensch C (2015) Dendroklimatologische Untersuchung an Mandschurischer Birke (*Betula platyphylla* Suk.) und Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) im Khentii-Gebirge, Mongolei. Master thesis, Technische Universität Dresden, Dresden, 106 S.
- Halpern CB, Spies TA (1995) Plant species diversity in natural and managed forests of the Pacific Northwest. Ecological Applications 5 (4): 913–934.
- Hansen MC, Potapov PV, Moore R, Hancher M, Turubanova SA, Tyukavina A, Thau D, Stehman SV, Goetz SJ, Loveland TR, Kommareddy A, Egorov A, Chini L, Justice CO, Townshend JRG (2013) High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. Science 342: 850-853.
- Hartwig J (2006) Die Vermarktung der Taiga. Franz Steiner Verlag. Erdkundliches Wissen Band 143. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 435 S.
- Hawk GM, Franklin JF, McKee WA, Brown RM (1978) H. J. Andrews Experimental Reference Stand System: Establishment and Use History. U.S. / International Biological Program, Bulletin No. 12:79. URL: [http://ir.library.oregonstate.edu/jspui/bitstream/1957/7578/1/Bulletin\\_12.pdf](http://ir.library.oregonstate.edu/jspui/bitstream/1957/7578/1/Bulletin_12.pdf) (letzter Zugriff: 24 August 2009).
- Hegyí F (1974) A simulation model for managing jack-pine stands. In: Royal College of Forestry, editor. Growth models for tree and stand simulation. Stockholm, Sweden: 74–90.
- HF (2016) Waldbaufibel – Mehr Wald mehr Mensch. Landesbetrieb HessenForst, Kassel, 98 S.
- Hilbig W, Mirkin BM (1950) Entwicklung und Stand der geobotanischen Forschung über die Mongolische Volksrepublik" Erforschung biologischer Ressourcen der Mongolei (3), Halle/Saale: 33-46. URL: <http://digitalcommons.unl.edu/biolmongol/157>
- Hilbig W, Knapp HD (1983) Vegetationsmosaik und Florenelemente an der Wald-Steppen-Grenze im Chenteej-Gebirge (Mongolei). Flora 174: 1- 89.
- IPCC (2013) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen S.K, Boschung J, Nauels A., Xia Y, Bex V and Midgley PM (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. URL: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SPM\\_FINAL.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf) (letzter Zugriff: 22.06.2017)
- Ivanova GA, Ivanov VA (2005) Fire Regimes in Siberian Forests. International Forest Fire News (IFFN) No. 32 (January – June 2005, 67 – 69). URL: [http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/iffn\\_32/11-Ivanova.pdf](http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/iffn_32/11-Ivanova.pdf) (letzter Zugriff: 28.08.2016).
- Iwahana G, Machimura T, Kobayashi Y, Fedorov AN, Konstantinov PY, Fukuda M (2005), Influence of forest clear-cutting on the thermal and hydrological regime of the active layer near Yakutsk, eastern Siberia. Journal of Geophysical Research 110, G02004, DOI: 10.1029/2005JG000039.
- Iwanow AI, Gradel A (2015) Wald und Forstwirtschaft im Fernen Osten Russlands. AFZ-Der Wald 17: 46-50.
- IWRM (2009) Integrated Water Resource Management for Central Asia: Model Region Mongolia. Case Study in the Kharaa River Basin. Final Project Report, 201 p.
- James T (2011) Temperature sensitivity and recruitment of Siberian larch (*Larix sibirica*) and Siberian spruce (*Picea obovata*) in northern Mongolia's boreal forest. For. Ecol. Manage. 262: 629-636.
- Johnson E A (1992) Fire and vegetation dynamics: studies from the North American boreal forest. Cambridge, Massachusetts, 129 p.

- Jolly WM, Cochrane MA, Freeborn PH, Holden ZA, Brown TJ, Williamson GJ, Bowman DMJS (2015) Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications* 6  
DOI:10.1038/ncomms8537
- Junatov AA (1950) Hauptmerkmale der Vegetationsbedeckung der Mongolischen Volksrepublik. / Юнатов А.А. Основные черты растительного покрова Монгольской Народной Республики. — Тр. Монг. комиссии АН СССР. — М.; Л., 1950. — Т. 39. (in Russisch)
- Khishigjargal M. (2013) Response of tree-ring width and regeneration in conifer forests of Mongolia to climate warming and land use. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen, 131 S.
- Khishigjargal M, Dulamsuren Ch, Leuschner HH, Leuschner C, Hauck M (2014) Climate effects on inter- and intra-annual larch stemwood anomalies in the Mongolian forest-steppe. *Acta Oecologica* 55: 113-121.
- Khutakova S, Ubugunova V, Gradel A, Enkhtuya B (2016) Morphogenetic features of soils of larch forests of terrain Altan Sumber Orkhon-Selenga Middle Mountain). / Хутакова СВ, Убугунова ВИ, Градель А, Энхтуя Б Морфогенетические особенности почв лиственных лесов местности Алтан Сумбер орхон-селенгинского среднегорья. International Conference on „Central Asian Environmental and Agricultural Problems, Potential Solutions“. School of Agroecology and Business, Institute of Plant and Agricultural Sciences, Mongolian University of Life Sciences (Darkhan), Darkhan Uul, Mongolia: 127-130. (in Russisch).
- Kinoshita T, Inoue K, Iwao K, Kagemoto H, Yamagata Y (2009) A spatial evaluation of forest biomass using GIS. *Applied Energy* 86: 1-8.
- Kirchhoff B, (2003) Zustandserfassung der Wälder der Nordmongolei. Masterthesis, Georg-August-Universität Göttingen, 84 S.
- Kluender RA, Stokes BJ (1996) Felling and skidding productivity and harvesting cost in southern pine forests. Proceedings: Certification–Environmental implications for forestry operations, 1996 September 9-11: 35-39.
- Knapp D, (1989) *Camptorus sibiricus* (L.) Rupp. (Aspleniaceae)- Relikt einer nordmongolischen Laubwaldzone? Ergebnisse der Deutsch-Mongolischen Biologischen Expeditionen seit 1962 Nr.203. VEB Gustav Verlag Jena, Flora 183: 379-396.
- Knigge W, Schulz H (1966) Grundriss der Forstbenutzung. Entstehung, Eigenschaften, Verwertung und Verwendung des Holzes und anderer Forstprodukte. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 584 S.
- Kondrashov L, Teusan S, Chuluunbaatar T, Nyamjav B, Enkhtur D, Goldammer J (2008) Wildland fire disaster risk assessment for Mongolia. Ulaanbaatar: Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ), Global Forest Monitoring Center, Pacific Forest Forum, 80 p.
- Konnert V, Siegrist J (2000) Waldentwicklung im Nationalpark Berchtesgaden von 1983 bis 1997. Nationalpark Berchtesgaden. Forschungsbericht 43.
- Kopp BJ, Minderlein S, Menzel L (2014) Soil moisture dynamics in a mountainous headwater area in the discontinuous permafrost zone of northern Mongolia. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* 46: 459–470.
- Korotkov IA (1978) Waldtypen der Mongolischen Volksrepublik. / Коротков И. А. Типы леса Монгольской Народной Республики // Леса Монгольской Народной Республики. М.: Наука, 1978 б. С. 47-121. (in Russisch)
- Korpel S (1995) Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York, 301 S.
- Kramer H, Akca A (1995) Leitfaden zur Waldmesslehre. 3. Auflage, J.D. Sauerlaender's Verlag, Frankfurt am Main, 266 S.
- Krasnoshekov, YN (2013) Bodenbedeckung und Böden der Bergwälder der nördlichen Mongolei./ Краснощекоев Ю.Н. Почвенный покров и почвы горных лесов северной монголии. Наука, Новосибирск, 2013 - 195 с. (In Russisch)
- Kräuchi N, Brang P, Schönenberger W (2000) Forests of mountainous regions: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management* 132: 73–82.
- Krestov PV (2003) Forest Vegetation of Easternmost Russia (Russian Far East). Published in Kolbek J, Šrutek M, Box EO: Forest Vegetation of Northeast Asia. Springer Netherlands: 93-180. DOI: 10.1007/978-94-017-0143-3\_5
- Krilov GW (1960) Wälder Sibiriens und des Fernen Ostens, ihre waldvegetative Zoneneinteilung. / Крылов Г. В. Леса Сибири и Дальнего Востока, их лесорастительное районирование. Ленинград, Гослесбумиздат, 1960 —155 с. (in Russisch)
- Kusbach A, Štěrbá T, Smola M, Novák J, Lukeš P, Strejček R (2017) Rozvoj lesu a krajiny v Mongolsku (Development of forests and landscape in Mongolia). Report for the seminar of the project of the Czech Forest Management Institute Brandýs nad Labem by deputy of the Czech Development Agency in collaboration with Mongolian Authorities, Domogt Sharyn Gol, September 2017, 113 s. (in Tschechisch)
- Kuuluvainen T, Pukkala T, (1987) Effect of crown shape and tree distribution on the spatial distribution of shade. *Agricultural and Forest Meteorology* 40: 215-231.
- Lagergren F, Lankreijer H, Kučera J, Cienciala E, Mölder M, Lindroth A (2008) Thinning effects on pine-spruce forest transpiration in central Sweden. *Forest Ecology and Management* 255:2312–2323.

- Larsson T B (2001) Biodiversity evaluation tools for European forests. Ecological bulletin 50. Blackwell Science, Oxford, 237 p.
- Lorenz A, Wagner S, Tischew S (2017) Verjüngungsökologie der Sandbirke (*Betula pendula* Roth) auf Folgeflächen des Braunkohlebergbaus als Grundlage für Renaturierungskonzepte. Forstarchiv 88: 111-124.
- Lüttge U, Kluge M, Bauer G (2005) Botanik. 5. Aufl., Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 65 S.
- Lynam T, de Jong W, Sheil D, Kusumanto T, Evans K (2007) A review of tools for incorporating community knowledge, preferences and values into decision making into natural resources management. Ecology and Society 12(1): 5. URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art5/> (letzter Zugriff: 10.08.2015)
- Makoto K, Nemilostiv YP, Zyryanova OA, Kajimoto T, Matsuura Y, Yoshida T, Satoh F, Sasa K, Koike T (2007) Regeneration after Forest Fires in mixed Conifer-Broad leaved Forests of the Amur Region in Far Eastern Russia: the Relationship between Species Specific Traits Against Fire and Recent Fire Regimes. Eurasian Journal of Forest Research 10:1: 51-58.
- Matthews JD (1991) Silvicultural Systems. Oxford Science Publications, Oxford University Press, New York, 284 p.
- Melekhov IS (1996) Burned Forest Area Type Classification. Published in: Goldammer JG, Furyaev VV (eds.) (1996): Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht / Boston / London: 326-330.
- MET (Mongolian Ministry of Environment and Tourism) (2016) Multipurpose National Forest Inventory 2014-2016. 1<sup>st</sup> edn. Ulaanbaatar. Ministry of Environment and Tourism.
- Meyer BD (1995) Natural and quasi-experiments in economics, Journal of Business and Economic Statistics 13: 151-161.
- MnStat (2015) Mongolian Statistical yearbook. National Registration and Statistics office. Ulaanbaatar, 413 p.
- Moltshanov VI, Butukhanov AB, Imeskenova EG, Altaev AA (2014) Einfluss pyrogenen Faktoren auf die Struktur u Produktivität von Wiesengesellschaften in Burjatien. / Молчанов ВИ, Бутуханов АБ, Имескенова ЭГ, Алтаев АА (2014) Влияние пирогенного фактора на структуру и продуктивность луговых сообществ бурятии. Бурятская государственная сельскохозяйственная академия имени ВР Филиппова, 142 с. (in Russisch)
- Morat J (2015) Der Forstwirt. 6. Aufl., Eugen Ulmer, 679 S.
- Mühlenberg M, Hondong H, Dulamsuren Ch, Gadow Kv (2004) Large-scale biodiversity research in the southern Taiga, Northern Mongolia. In: Szaro RC, Peterson CE, Gadow Kv, Kräuchi N (eds): Creating a Legacy for Sustainable Sciencebased Forest Management: lessons learned from field experiments. Forest Snow and Landscape Research. 78 (1). Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf, Switzerland: 93-118.
- Mühlenberg M, Batkhisig T, Dashzeveg Ts, Dröbler L, Neusel B, Tsogtbaatar J (2006) Lessons From Tree Planting Initiatives in Mongolia. Mongolia Discussion Papers, East Asia and Pacific Environment and Social Development Department, World Bank, Washington DC, 38 p.
- Mühlenberg M (2012) Long-Term Research on Biodiversity in West Khentey, Northern Mongolia. Erforschung biologischer Ressourcen der Mongolei. Martin-Luther-Universität Halle, Wittenberg, Halle (Saale): 27-32. URL: <http://digitalcommons.unl.edu/biolmongol/4> (letzter Zugriff: 15.06.2017)
- Mühlenberg M, Appelfelder J, Hoffmann H, Ayush E, Wilson KJ (2012) Structure of the montane taiga forests of West Khentii, Northern Mongolia. Journal of Forest Science 58(2): 45-56.
- Münder K (2005) Konkurrenzuntersuchungen und Wachstumsmodellierung in Waldumbaubeständen des Mittleren Erzgebirges. Dissertation, Technische Universität Dresden; Tharandt, 160 S. URL: <http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/1742/1163431350882-4036.pdf> (letzter Zugriff: 16.03.2017)
- Natsagdorj L (2014) Climate change adaptation strategy and measures. Published in: Mongolia second assessment report on Climate Change – MARCC 2014. Ulaanbaatar: 183-202.
- Naumburg E, DeWald LE, (1999) Relationships between *Pinus ponderosa* forest structure, light characteristics, and understorey graminoid species presence and abundance. Forest Ecology and Management 124: 205-215.
- Olivar J, Bogino S, Rathgeber C, Bonnesoeur V, Bravo F (2014) Thinning has a positive effect on growth dynamics and growth-climate relationships in Aleppo pine (*Pinus halepensis* L.) trees of different crown classes. Annals of Forest Science 71: 395-404.
- Onderka M, Melicherik, I (2010) Fire-prone areas delineated from a combination of the Nestorov Fire-Risk Rating Index with multispectral satellite data. Applied Geomatics 2: 1-7. DOI 10.1007/s12518-009-0014-0.
- Otguntuya D Jr, Khor GL, Lye MS, Norhaizan ME (2009) Obesity among Mongolian Adults from Urban and Rural Areas. Malaysian Journal of Nutrition 15(2): 185-194.
- Otto H - J (1994) Waldökologie. UTB für Wissenschaft, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 391 S.
- Oyunsanaa B (2011) Fire and stand dynamics in different types of the West Khentey Mountains, Mongolia. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen: 119 S.
- Oyuntuya Sh, Dorj B, Shurentsetseg B, Bayarjargal E (2015) Agrometeorological information for the adaptation to climate change, in: Badmaev NB, Khutakova CB (eds.): Soils of Steppe and Forest Steppe Ecosystems of Inner

## LITERATURVERZEICHNIS DER KAPITEL I,VI UND VII

- Asia and Problems of Their Sustainable Utilization: International Scientific Conference. Buryat State Academy of Agriculture named after V.R. Philipov, Ulan-Ude: 135-140.
- Pausas JG (2014) Bark thickness and fire regime. *Functional Ecology* 29 (3): 315-327. DOI: 10.1111/1365-2435.12372
- Pellegrini AF, Anderegg WRL, Paine CET, Hoffmann WA, Kartzinel T, Rabin SS, Sheil D, Franco AC, Pacala SW (2017) Convergence of bark investment according to fire and climate structures ecosystem vulnerability to future change. *Ecology Letters* 20 (3): 307-316. DOI: [10.1111/ele.12725](https://doi.org/10.1111/ele.12725)
- Petri H, Michel G (1959) Die Weiserflächen des Forsteinrichtungsamtes Koblenz – Entstehung, Entwicklung und Zweck sowie vorläufige Richtlinien zur Aufnahme, Bearbeitung und weiteren Kontrolle. *Mitteilungen aus dem Forsteinrichtungsamt Koblenz Nr. 8*: 116 p.
- Plach AK (2012) Mongolische Familien und die Neufindung ihrer Tradition. Lit Verlag Wien-Berlin, (auf Basis einer gleichnamigen Dissertation an der Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Wien von 2010), 192 S.
- Pleshikov FI, Ryzhkova VA (1996) Ecological estimation of Forest Succession Patterns in Central Angara Region. In: Goldammer JG, Furyaev VV (eds.): *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht / Boston / London: 393-403.
- Pretzsch H (1995) Zum Einfluß des Baumverteilungsmusters auf den Bestandeszuwachs. *Jahrestagung Deutscher Verband Forstlicher Forschungsanstalten - Sektion Ertragskunde, Joachimsthal. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 160(9/10): 190-200.
- Pretzsch H (2002) *Grundlagen der Waldwachstumsforschung*. Parey Buchverlag, Berlin: 414.
- Puettmann K J, Ammer C (2007) Trends in North American and European regeneration research under the ecosystem management paradigm. *European Journal of Forest Research* 126: 1-9.
- Pukkula T, Lähde E, Laiho O (2015) Which trees should be removed in thinning treatments? *Forest Ecosystems* 2:32. Doi:10.1186/s40663-015-0056-1
- RiBeS (2012) Richtlinie für die Bewirtschaftung des hessischen Staatswaldes. Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden, 25 S.
- Rittershofer F (2013) *Waldpflege und Waldbau – für Studium und Praxis*. Gisela Rittershofer Verlag, Freising, 492 S.
- Röhrig E, Gussone HA (1990) *Waldbau auf ökologischer Grundlage. Bd.2 Baumartenwahl, Bestandesbegründung und Bestandespflege*. 6. Aufl. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin, 314 S.
- Röhrig E, Bartsch N, von Lüpke B (2006) *Waldbau auf ökologischer Grundlage*. 7. Aufl. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 479 S.
- Sagwal SS (1991) *Dictionary of Forest Fires*. Ashish Publishing House, New Delhi, 64 S.
- Saha S (2017) Group planting of cherry (*Prunus avium* L.) fosters growth and tree quality is superior to conventional row planting in Germany. *Journal of Forestry Research*, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0506-4>
- Savin EN, Korotkov IA, Krasnoshhekov JuN, Ogorodnikov AV, Janovskij VM, Dugarzhav Ch, Dorzhsuren Ch, Dashzeveg C (1983) *Wälder der Mongolischen Volksrepublik (Lärchenwälder des Zentralkhangai)*. / Савин ЕН, Коротков ИА, Краснощеков ЮН, Огородников АВ, Яновский ВМ, Дугаржав Ч, Доржсурен Ч, Дашзевег Ц (1983) *Леса монгольской народной республики (лиственничные леса Центрального Хангая)*. Издательство «НАУКА», Сибирское отделение, Новосибирск, 150 с. (in Russisch)
- Savin EN, Miljutin LI, Krasnoshhekov JuN, Korotkov IA, Suncov AV, Dugarzhav Ch, Cogoo Z, Dorzhsuren Ch, Zhamjansurjen S, Gombosuren N (1988) *Wälder der Mongolischen Volksrepublik (Lärchenwälder des östlichen Khentii)*. / Савин ЕН, Милютин ЛИ, Краснощеков ЮН, Коротков ИА, Сунцов АВ, Дугаржав Ч, Цогоо З, Доржсурен Ч, Жамьянсурэн С, Гомбосурен Н (1988) *Леса монгольской народной республики (лиственничные леса восточного Хэнтэя)*. Издательство «НАУКА», Москва, 176 с. (in Russisch)
- SBS (2013) Richtlinie zu den Waldentwicklungstypen im Staatswald des Freistaates Sachsen Teil 1. Staatsbetrieb Sachsenforst, Referat Standortserkundung, Bodenmonitoring, Labor, Referat Waldbau, Waldschutz, Verwaltungsjagd, Pirna OT Graupa, 44 S.
- Schmidt-Corsitto K (2014) Case Study on Climate Change Adaptation measures in the North Mongolian forest conducted by the GIZ “Biodiversity and adaptation of key forest ecosystem to climate change” program. In: Natsagdorj L (2014) *Climate change adaptation strategy and measures*. Published in: *Mongolia second assessment report on Climate Change – MARCC 2014*. Ulaanbaatar: 193-197.
- Schulze E, Wirth C, Mollicone D, von Lüpke N, Ziegler W, Achard F, Mund M, Prokushkin A, Scherbina S, (2012) Factors promoting larch dominance in central Siberia: fire versus growth performance and implications for carbon dynamics at the boundary of evergreen and deciduous conifers. *Biogeosciences* 2012, 9: 1405-1421. Doi:10.5194/bg-9-1405-2012.
- Schweingruber FH, Eckstein D, Serre-Bachet F, Bräker OU (1990) Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia* 8: 9 – 38.



## LITERATURVERZEICHNIS DER KAPITEL I,VI UND VII

- Schweingruber FH, (2012) Der Jahrring–Standort, Methodik, Zeit und Klima in der Dendrochronologie. Verlag Kessel, Remagen-Oberwinter: 234.
- Shorohova E, Kuuluvainen T, Kangur A, Jogiste K (2009) Natural stand structures, disturbance regimes and successional dynamics in the Eurasian boreal forests: a review with special reference to Russian studies. *Annals of Forest Science* 66 (2): 1-20.
- Shvidenko AZ, Schepaschenko DG (2013) Climate Change and wildfires in Russia. *Contemporary Problems of Ecology* 6: 683-692. DOI: 10.1134/S199542551307010X
- Sohn JA, Hartig F, Kohler M, Huss J, Bauhus J (2016) Heavy and frequent thinning promotes drought adaptation in *Pinus sylvestris* forests. *Ecological Applications* 26 (7): 2190-2205.
- Sommer M (2000) Die Lärchenwälder der Gebirgs-Waldsteppe im Nordwesten der Mongolei: ökologische Bestandsaufnahmen und. Synthese. Dissertation, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen – Nürnberg, 169 S.
- Tanskanen H, Venalainen A, (2008) The relationship between fire activity and fire weather indices at different stages of the growing season in Finland. *Boreal Environment Research* 13: 285-302.
- Tchebakova NM, Parfenova EI, Soja AJ (2011) Climate change and climate-induced hot spots in forest shifts in central Siberia from observed data. *Regional Environmental Change* 11: 817-827. DOI: 10.1007/s10113-011-0210-4
- Thomasius H (1988) Sukzession, Produktivität und Stabilität natürlicher und künstlicher Waldökosysteme. *Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung* 28: 3–21.
- Tsogtbaatar J (2004) Deforestation and reforestation needs in Mongolia. *Forest Ecology and Management* 201: 57-63
- Tsogtbaatar (2008) Forest Policy Development in Mongolia. IUFRO Task Force Science/Policy Interface. URL: <http://iufro-archive.boku.ac.at/iufro/taskforce/tfscipol/chennai-papers/ftsogtbaatar.pdf> (letzter Zugriff: 10.3.2016)
- UIF (2014) Umweltinformationszentrum Ulaanbaatar. Байгаль орчны мэдээллийн сан URL: <http://www.eic.mn> (letzter Zugriff: 10.06.2014) (in Mongolisch)
- Ulrich B (1987) Stabilität, Elastizität und Resilienz von Waldökosystemen unter dem Einfluß saurer Deposition. *Forstarchiv* 58: 232-239.
- UNFCCC (2015) Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015 (UNFCCC/CP/2015/10). United Nations Framework Convention on Climate Change. URL: <http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/10.pdf> (letzter Zugriff: 14.01.2017).
- UNREDD (2013) Forest Sector financing flows and economic values in Mongolia. UN REDD Programme, 60 p.
- Velsen-Zerweck Mv (2002) Socio-economic Causes of Forest Loss in Mongolia. Dissertation, Institute of Rural Development, Georg-August-Universität Göttingen, Wissenschaftsverlag Vauk Kiel KG, 357 S.
- Wagner S, Fischer H (2008) Die Bestandesbehandlung und deren technologische Umsetzung (B11) – waldbauliche Aspekte, TU Dresden, Tharandt, 146 S.
- Wecking A (2017) Managing Forest ecosystems in Mongolia – the crucial Role of Soil. Master thesis, Leibniz Universität Hannover, Hannover, 98 S.
- Weltbank (2009) Mongolia's forests burning: are they good or are they bad? URL: <http://blogs.worldbank.org/eastasiapacific/mongolias-forests-burning-are-they-good-or-are-they-bad> (letzter Zugriff: 16.05.2016).
- Winter B (2016) Natürliche Waldentwicklung unter dem Einfluss des Borkenkäfers im Nationalpark Berchtesgaden – Bestandesstruktur und Biodiversität im Verlauf von Störung und Sukzession. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen, 204 S.
- Wohlrab B, Ernstberger H, Meuser A, Sokollek V (1992) Landschaftswasserhaushalt: Wasserkreislauf und Gewässer im ländlichen Raum; Veränderungen durch Bodennutzung, Wasserbau und Kulturtechnik.- Paul Parey, Hamburg, 352 S.
- Wyss D (2007) Anwendung von GIS-und Fernerkundungsmethoden im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit. Dissertation, FU Berlin, 143 S.
- Ykhanbai H (2010) Mongolian forestry outlook study. Asia-Pacific forestry sector outlook study II. Working paper series. No. APFSOS II/ WP/ 2009/ 21 FAO. Bangkok, 2010, 49 p.
- Zirlewagen D, Wilpert, K v (2001) Modelling water and ion fluxes in a highly structured, mixed species stand. *Forest Ecology and Management* 143: 27-37.
- Zuur AF, Ieno EN, Walker NJ, Saveliev AA, Smith GM (2009) Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. Springer New York, 574 p.

## TABELLENVERZEICHNIS

### Kapitel I

<b>Tabelle 1.1.1:</b> Schutz- und Nutzwälder .....	17
<b>Tabelle 1.2.1:</b> Einordnung der Forschungsgebiete .....	28
<b>Tabelle 1.2.2:</b> Überblick: Durchforstungs- und Referenzflächen in Altansumber .....	40
<b>Tabelle 1.2.3:</b> Überblick: Durchforstungs- und Referenzflächen in Bugant .....	41

### Kapitel II

<b>Table 1:</b> Selected light taiga stands in the mountain forest steppe .....	54
---	----

### Kapitel III

<b>Table 1:</b> Dendrochronological statistics .....	71
<b>Table 2:</b> Overview of pointer years (1962-1991) .....	74
<b>Table 3:</b> Overview of pointer years (1992-2009) .....	74

### Kapitel IV

<b>Table 1:</b> Biophysical attributes of three Larch stands (in Altansumber) .....	94
<b>Table 2:</b> Larch chronology statistics .....	96

### Kapitel V

<b>Table 1:</b> Background information on the light taiga study stands .....	117
<b>Table 2:</b> Stand characteristics: Overview of tree density, mean diameter etc. ....	117
<b>Table 3:</b> Stand measures of the plots I .....	122
<b>Table 4:</b> Stand measures of the plots II .....	123
<b>Table 5:</b> Overview of the selected competition-growth models .....	129

### Kapitel VI

<b>Tabelle 6.1:</b> Einteilung der Höhenklassen zur Auswertung .....	143
<b>Tabelle 6.2:</b> Durchschnittliche Werte zur Verjüngungsschicht .....	143
<b>Tabelle 6.3:</b> Übersicht über die erfassten Verjüngungspflanzen (Höhenklassen etc.) in Altansumber .....	147/148
<b>Tabelle 6.4:</b> Übersicht über die erfassten Verjüngungspflanzen (Höhenklassen etc.) in Bugant (2011) .....	148/149
<b>Tabelle 6.5:</b> Übersicht über die Wiederholungsaufnahme in Bugant (2013) .....	150

### Kapitel VII

<b>Tabelle 7.1:</b> Überblick über die involvierten Studenten während der Messkampagnen .....	168
---	-----

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

## Kapitel I

Abb. 1.1.1: Waldbedeckung der Mongolei - Karte.....	7
Abb. 1.1.2: Feuerndynamik in der hellen Taiga - Selenge Aimag .....	16
Abb. 1.1.3: Holztransporter .....	19
Abb. 1.1.4: Kontrolle eines Holztransporters .....	19
Abb. 1.2.1: Überblick über die Forschungsgebiete .....	27
Abb. 1.2.2: Im Forschungsgebiet Altansumber .....	31
Abb. 1.2.3: Gebirgswaldsteppe im Gebiet Altansumber .....	34
Abb. 1.2.4: <i>Lilium pumilum</i> DC im Gebiet Altansumber .....	34
Abb. 1.2.5: Rollen und Verantwortlichkeiten bei der Flächeneinrichtung .....	36
Abb. 1.2.6: Schematische Darstellung und Parameter einer Versuchsfläche .....	38
Abb. 1.2.7: Konkurrenzindex und Lichtkegelmethode.....	46

## Kapitel II

Figure 1: Map Altansumber – mountain forest steppe zone.....	52
Figure 2: Purpose and Assessment of the reference plots – theoretical design .....	53
Figure 3: L-functions of the reference larch plots .....	55
Figure 4: L-functions of the reference birch plots.....	56

## Kapitel III

Figure 1: Map of Selenge Aimag with the RA Altansumber .....	67
Figure 2: Overview of the climate data (meteorological station Eroo) .....	68
Figure 3: <i>Betula</i> cross sections.....	68
Figure 4: Bugant: Tree-ring chronologies of old and young birch trees .....	71
Figure 5: Altansumber: Tree-ring chronologies of old and young birch trees .....	72
Figure 6: Correlation coefficients (temperature-growth relationship) .....	73
Figure 7: Correlation coefficients (precipitation-growth relationship) .....	73
Figure 8: Most meaningful season-related pointer years of the chronologies .....	75
Figure 9: Negative pointer year 1987.....	76
Figure 10: Positive pointer year 2009 .....	76

## Kapitel IV

Figure 1: Map of the research area Altansumber in the Selenge Aimag.....	93
Figure 2: Larch residual chronology .....	97
Figure 3: Temperature-growth relationship and precipitation-growth relationship .....	98
Figure 4: Positive and negative pointer years (1962-2009) for larch and birch .....	98
Figure 5: Seasonal pointer years for the larch.....	100
Figure 6: Larch and white birch: selected pointer years .....	101

## Kapitel V

Figure 1: Map of Selenge Aimag (RA Altansumber) .....	116
Figure 2: Non-spatial harvest event analysis.....	121

<b>Figure 3:</b> L-functions and pair correlation functions of the plots BI (2009/2012) .....	124
<b>Figure 4:</b> L-functions and pair correlation functions of the plots BII (2009/2012).....	125
<b>Figure 5:</b> L-functions and pair correlation functions of the plots LI (2009/2012) .....	126
<b>Figure 6:</b> L-functions and pair correlation functions of the plots LII (2009/2012).....	127
<b>Figure 7:</b> Relationship between competition index and basal area growth .....	130
<b>Figure 8:</b> Relationship between the relative competition relief and relative change in basal area growth.....	130
<b>Figure A 1:</b> The research area Altansumber.....	134
<b>Figure A 2:</b> Birch stand BII (2012).....	134
<b>Figure A 3:</b> View of the larch stand LI .....	135
<b>Figure A 4:</b> After the thinning 2009 (larch stump) .....	135
<b>Supplementary</b> .....	136
<b>Kapitel VI</b>	
<b>Kapitel VII</b>	
<b>Abb. 7.1:</b> Vergleich Feuerschäden Birke und Kiefer (Bugant) .....	158
<b>Abb. 7.2:</b> Bestockung in der Mongolei - Karte .....	164

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS DER KAPITEL I, VI UND VII

DAAD:	Deutscher Akademischer Austauschdienst
DED:	Deutscher Entwicklungsdienst (heute Teil der GIZ)
COP 21:	Conference of Parties
FAO-TCP:	FAO-Technical Cooperation Programme
FAO/UNFAO:	Food and Agriculture Organization of the United Nations
G:	Grundfläche
GCP/MON/002/NET:	<i>Capacity Building and Institutional Development for Participatory Natural Resources Management and Conservation in Forest Areas of Mongolia</i>
GIZ:	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change
MAS:	Mongolian Academy of Sciences
MDP:	Mongolische Demokratische Partei
MoU:	Memorandum of Understanding
MPNFI:	Multipurpose National Forest Inventory
MULS:	Mongolian University of Life Sciences
MVP:	Mongolische Volkspartei
NHWP:	Nichtholzwaldprodukte
NUM:	Nationale Universität der Mongolen
NWFP:	Non-wood forest products
ODA:	Official Development Assistance
PSARTI:	Plant Scientific Agricultural Research and Training Institute
RA:	Research area
RForStand:	Response of forest stands at the edge of the southern taiga to climate factors, natural and silvicultural disturbances (Ph.D.- Project)
RGW:	Rat für gegenseitige Wirtschaftshilfe
UdSSR:	Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken (Sowjetunion)
UIF:	Umweltinformationszentrum Ulaanbaatar
UNFCCC:	United Nations Framework Convention on Climate Change
UNREDD:	United Nations Programme on Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation
WNG:	Waldnutzerguppe

## **DANKSAGUNG**

Die berufliche Tätigkeit in einem internationalen Forstprojekt zur partizipativen Waldbewirtschaftung in der Mongolei ermöglichte mir die Anbahnung dieses Forschungsprojektes mit den Partnern in Darchan. Dafür bin ich dankbar. Alle Vorbereitungen für das Projekt und alle Feldarbeiten wären nicht möglich gewesen ohne die Unterstützung der Partner. Ganz besonders möchte ich an dieser Stelle Ochirragchaa Nadaldorj danken für seine andauernde Unterstützung und seinen Glauben an diese Arbeit.

Christian Ammer danke ich für die Annahme unserer Projektidee und die fachliche Betreuung. Ich danke ihm für die Möglichkeit, dass ich das Forschungsprojekt mit verschiedenen Partnern weitestgehend frei gestalten konnte. Ohne ihn wäre die Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen.

Sven Wagner danke ich für die Unterstützung, fachliche Betreuung und Unterstützung an wichtigen Weichenstellungen der Arbeit und für die Beratung bei der Auswertung großer Mengen an Felddaten.

Ich danke den weiteren Mitgliedern des Betreuungsausschusses: Enkhtuya Bazarradnaa unterstützte das ganze Vorhaben schon während der gemeinsamen Flächeneinrichtung, Noov Bayarsukh vereinfachte alle administrativen Fragestellungen und verhalf zu Austauschmöglichkeiten auf Konferenzen. Wladimir N. Petrov war, aufgrund seiner Mongoleierfahrung, ein guter Ratgeber, Aleksandr A. Altaev unterstützte bei wichtigen Beiträgen für Konferenzen und bei Kontakten, Aleksandr S. Alekseev half bei der Teilnahme an Konferenzen, Michael Mühlenberg war hilfreich aufgrund seiner langjährigen Arbeitserfahrung in den Waldgebieten der Mongolei.

Für einzelne Abschnitte meines Projektes erwiesen sich außerdem weitere Personen als wichtige Partner: Björn Günther und Claus Thomas Bues schufen den fachlichen Rahmen für dendrochronologische Auswertungen und unterstützten mit Programmen und fachlicher Beratung. An dieser Stelle bedanke ich mich für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung vor und während dem Forschungsprojekt bei: Ganbaatar Batsaikhan, Batdorj Dovdondemberel, Jamsran Tsogtbaatar, Albrecht Bemmann, Antonin Kusbach, Tomáš Kolář, Stefan Teusan, Christina Haensch, Aleksandr A. Voinkov, Klaus von Gadow, Raisa A. Shulunova, Zoya S. Yampilowa, Eduardo Rojas-Briales, Mendee Puntsagnamjil, Evgeniya V. Fedorova danke ich für das Korrekturlesen der russischsprachigen Abschnitte. Ich danke dem DAAD für die finanzielle Unterstützung für Feldaufnahmen in der Mongolei und dem Programm IAMONET-RU (koordiniert durch die Universität Hohenheim) für die finanzielle Unterstützung während meines Aufenthaltes in Burjatien.

Sehr dankbar bin ich den Mitgliedern der Waldnutzerguppe Altansumber für die gute Aufnahme und Unterstützung während der Feldaufnahmen und ganz besonders Oyuntuks, sowie dem Ranger Tuksbaatar.

Schließlich danke ich den vielen Studenten und Studentinnen, die während der Feldaufnahmen geduldig und ausdauernd mitgearbeitet haben, meinen Freunden und meiner Familie.

### **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit versichere ich an Eides statt, die vorliegende Arbeit mit dem Titel *“Reaktion von Waldbeständen am Rande der südlichen Taiga auf Klimafaktoren, natürliche und waldbauliche Störungen“* selbstständig und unter ausschließlicher Verwendung der angegebenen Literatur, Verweise und Hilfsmittel erstellt zu haben. Verwendete Quellen wurden als solche gekennzeichnet. Ich versichere, dass ich mich vor diesem Promotionsverfahren keiner anderen Promotionsprüfung unterzogen oder mich zu einer solchen Prüfung angemeldet habe.

.....

Unterschrift, Datum

