

Cathrin Meinardus

Dendroökologische Untersuchungen

Zwergbirken (*Betula nana* L.) entlang eines Schneegradienten in den südnorwegischen Skanden*

mit 5 Abbildungen

1 Einführung

Die Dendroökologie befasst sich mit der Untersuchung von Jahrringen verschiedener Baumarten. Da die Verbreitung von Bäumen sowohl in Richtung der Pole als auch in den höheren Lagen der Gebirge von Kältengrenzen limitiert wird, blieben die Gebiete jenseits dieser Grenzen in der Jahrringforschung lange Zeit unbeachtet. Einige Sträucher und Zwergsträucher sind jedoch fähig in weit nördlicheren Gebieten bzw. in höheren Lagen zu existieren. Auch Sträucher verholzen und bilden Jahrringe aus, in denen Informationen über die Umweltbedingungen zur Zeit ihrer Bildung gespeichert sind. Dadurch besteht die Möglichkeit, diese Pflanzen als Umweltindikatoren für Gebiete jenseits der Baumgrenze heranzuziehen und das Forschungsgebiet der Dendroökologie auch auf Teile der arktischen und alpinen Regionen auszuweiten.

Erst in den letzten Jahren war ein wachsendes Interesse an der dendroökologischen Erforschung von Zwergsträuchern zu beobachten. Da es sich um eine relativ neue Richtung der Jahrringforschung handelt, müssen auch deren Grundlagen erst erarbeitet werden. Wenngleich verschiedene Veröffentlichungen zeigen, dass Zwergsträucher grundsätzlich für dendrochronologische Untersuchungen geeignet sind (z.B. PETERSDORF 1996; SCHWEINGRUBER/POSCHLOD 2005; BÄR 2007; HALLINGER 2008), so liegen doch für viele Arten noch keine entsprechenden Erkenntnisse vor.

*) Zusammenfassung einer von der Gesellschaft für Jahrringforschung (ATR) und der Fränkischen Geographischen Gesellschaft (FGG) prämierten Diplomarbeit, die am Institut für Geographie der Universität Erlangen-Nürnberg unter Betreuung von Prof. Dr. Achim Bräuning im Jahr 2009 abgeschlossen wurde. Die Ergebnisse wurden in ähnlicher Form auch als MEINARDUS et al. (2011) veröffentlicht.

Besonders im Hinblick auf die voranschreitenden klimatischen Veränderungen bieten Zwergsträucher als Umweltarchive neue Möglichkeiten, die Reaktionen der arktischen und alpinen Ökosysteme zu untersuchen. *Betula nana* ist Teil einer Gruppe eng verwandter Arten mit zirkumpolarer Verbreitung (HESS et al. 1967). Gerade ihr ausgedehntes nördliches Verbreitungsgebiet macht sie für die dendroökologische Forschung so interessant.

In Gebirgen hat das kleinräumige Relief einen starken Einfluss auf das Pflanzenwachstum (LÖFFLER 2003). Da Zwergsträucher bodennah wachsen, besteht die Möglichkeit, dass ihr Wachstum maßgeblich vom Mikroklima an ihrem Wuchsort beeinflusst wird. Es stellt sich daher die Frage, welchen Einfluss das Mikrorelief speziell auf die Jahrringbildung von *Betula nana* hat. Um herauszufinden, ob sich das Wachstum der Zwergbirken an den verschiedenen Standorten einer Mulde unterscheidet, wurden Zwergbirken entlang eines Schneegradienten durch ein Schneetälchen in der unteren alpinen Stufe Südnorwegens gesammelt und untersucht.

Da es sich bei Bäumen und Zwergsträuchern um verschiedene Lebensformen handelt, die in unterschiedlichen Höhenlagen wachsen und die möglicherweise von unterschiedlichen klimatischen Faktoren beeinflusst werden, stellte sich zudem die Frage, ob die beiden im Arbeitsgebiet benachbart vorkommenden Birkenarten (baumförmige Fjellbirken, *Betula pubescens* ssp. *czerepanovii*, und Zwergbirken) das gleiche klimatische Signal widerspiegeln.

Ziel ist es, die Kenntnisse über das dendroökologische Potential von *Betula nana* zu erweitern und ihr Potential als Umweltindikator zu beurteilen.

2 Charakterisierung des Untersuchungsgebiets

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Filefjell in den zentralen südnorwegischen Skanden nahe der Ortschaft Kyrkjestølane (Vang, Oppland; N 61° 9,901'; E 8° 6,235'). Als Untersuchungsgebiet wurde ein Schneetälchen in einer Höhe von 1125 m ü.NN mit einer für die untere alpine Stufe typischen Geländeform ausgewählt. Es handelt sich um eine nach unten hin offene Mulde an einem nordexponierten Hang eines in Ost-West-Richtung verlaufenden Tales.

Im Arbeitsgebiet herrschen ganzjährig humide Bedingungen vor. Der durchschnittliche jährliche Niederschlag beträgt 770 mm, die Jahresmitteltemperatur liegt bei -0,4°C. Die Niederschlagsdaten stammen von der Klimastation Maristova (*Norwegian Meteorological Institute*). Die Temperaturdaten wurden berechnet. Die Datengrundlage bildeten NCEP/NCAR Reanalysis-Daten, die mit Temperaturdaten der Messstation Varden extrapoliert wurden (*Norwegian Meteorological Institute, NOAA National Center for Environmental Prediction*).

Die subalpine Stufe der Vegetation wird im Untersuchungsgebiet von einem Fjellbirkenwald geprägt, der an den Hängen des Tals bis in eine Höhe von 1060 m

ü.NN reicht, wo er die obere Waldgrenze bildet. Oberhalb davon schließt sich die untere alpine Stufe an, welche durch die Dominanz von Sträuchern und Zwergsträuchern charakterisiert wird.

2.1 Der Einfluss des Mikroreliefs und des Schnees auf die Vegetation

Das kleinräumige Relief der unteren alpinen Stufe wird von Kuppen und Mulden geprägt, wodurch auf kurzen Distanzen stark unterschiedliche mikroklimatische Bedingungen herrschen. Besonders deutlich wird dies in der ungleichen Verteilung des Schnees, der durch den Wind von den Kuppen in die Vertiefungen verfrachtet wird. Die Kuppen weisen daher selbst im Winter eine vergleichsweise geringe Schneebedeckung auf, während sich der Schnee in den Mulden und auf den Leeseiten ansammelt und dort höhere Mächtigkeiten erreicht. Durch das Zusammenwirken der Mikrotopographie, der Bodenfeuchte und der ungleichen Verteilung des Schnees ergeben sich an den verschiedenen Standorten einer Mulde stark unterschiedliche mikroklimatische Bedingungen. Die kleinräumigen Vegetationsmosaik sind charakteristisch für die untere alpine Stufe (GJÆREVOLL 1956; GEIGER 1961; MOEN 1999; LÖFFLER 2005).

2.2 Die Vegetation der unteren alpinen Stufe

In Mulden ist die Schneeeauflage mächtiger und die Dauer der Schneebedeckung daher länger als auf den Kuppen. Die Schneedecke stellt für die Pflanzen auf der einen Seite einen wirksamen Schutz vor tiefen Temperaturen dar, auf der anderen Seite aber wird die Vegetationsperiode hier durch das späte Abtauen deutlich verkürzt. Zwergweiden stellen typische chionophile Arten dar, die an diese Wachstumsbedingungen im Kernbereich von Schneetälchen angepasst sind (GJÆREVOLL 1956; MOEN 1999).

Auf den Kuppen sind die Pflanzen stärker windexponiert und aufgrund der geringeren Schneebedeckung tieferen Temperaturen ausgesetzt. Die Schneedecke taut jedoch vergleichsweise früh ab, so dass die Vegetationsperiode auf den Kuppen länger andauert. Chionophobe Pflanzenarten sind an diese Wachstumsbedingungen angepasst und meiden länger schneebedeckte Standorte. Zu den typischen Vertretern der Kuppenbereiche gehört auch die Zwergbirke (GJÆREVOLL 1956; MOEN 1999).

Die jeweilige Dauer der Schneebedeckung ist maßgeblich dafür verantwortlich, dass sich die Zusammensetzung der Pflanzenarten von der Kuppe über den Hang bis in den Kernbereich eines Schneetälchens ändert. Zwischen den chionophoben und den chionophilen Pflanzengemeinschaften existieren an den Hängen einer Vertiefung zudem Übergangszonen (GJÆREVOLL 1956; MOEN 1999). Ein Tälchen weist daher auf einer sehr kurzen räumlichen Distanz unterschiedliche Wachstums-

bedingungen auf (GJÆREVOLL 1956) und bietet dadurch gute Voraussetzungen, um mit einer kleinräumig angelegten Untersuchung den Einfluss des Mikroreliefs auf die Jahrringe von Zwergbirken zu untersuchen.

2.3 Die Zwergbirke (*Betula nana* L.)

Bei der Zwergbirke handelt es sich um einen mehrstämmigen und reich verzweigten, niederliegenden bis leicht aufrecht wachsenden Zwergstrauch, der eine Höhe von bis zu einem Meter erreichen kann, meist jedoch niedriger ist (HESS et al. 1967; OLSSON/NYLEN 1985; *The Bergius Foundation/The Royal Swedish Academy of Sciences* 2000; SCHWEINGRUBER/POSCHLOD 2005).

Das Hauptverbreitungsgebiet von *Betula nana* erstreckt sich von der südlichen borealen Zone bis in die südliche arktische Tundrenzzone. Ihr Verbreitungsschwerpunkt im Hinblick auf die Höhenlage liegt in der unteren alpinen Stufe, wo sie einen charakteristischen Bestandteil der ausgedehnten Zwergstrauchheiden bildet (ROWECK 1981; MOEN 1999; *The Bergius Foundation/The Royal Swedish Academy of Sciences* 2000). *Betula nana* besitzt eine weite ökologische Amplitude; sie meidet dabei jedoch Standorte, an denen eine Schneebedeckung zu lange andauert (DAHL 1956).

Es existieren ältere Beschreibungen zur Holzanatomie der Zwergbirken, die bereits Hinweise darauf liefern, dass Analysen ihrer Jahrringbreiten möglich sind (GREGUSS 1945; BENKOVA/SCHWEINGRUBER 2004; SCHOCH et al. 2004; SCHWEINGRUBER/POSCHLOD 2005; SCHWEINGRUBER et al. 2006). Ihre Eignung für dendroökologische Methoden wurde bisher jedoch noch nicht systematisch erforscht.

Die Jahrringgrenzen der Zwergbirke werden durch eine Reihe abgeflachter Zellen markiert, die sich durch ihre Form und ihre etwas dunklere Färbung meist gut von den restlichen Zellen unterscheiden (vgl. Abbildung 3). Im Idealfall sind die Jahrringgrenzen dadurch deutlich zu erkennen und ermöglichen sowohl die Altersbestimmung des Individuums als auch die Messung der Jahrringbreiten. Die Jahrringgrenzen können jedoch auch undeutlich ausgebildet sein (BENKOVA/SCHWEINGRUBER 2004; SCHOCH et al. 2004; SCHWEINGRUBER/POSCHLOD 2005). Auskeilende Jahrringe treten bei *Betula nana* sehr häufig auf, und in manchen Jahren wird aufgrund ungünstiger Wachstumsbedingungen gar kein Jahrring gebildet. Die Breite der Jahrringe ist gering, variiert aber mitunter innerhalb eines Ringes stark.

3 Pflanzenverbreitung entlang eines Schneegradien

Zur Erfassung des Schneegradien wurden die Vegetationsverhältnisse innerhalb des Schneetälchens im Detail kartiert. Zunächst wurden dazu zwei Transekte durch die Vertiefung gelegt, das eine hangabwärts, das andere im rechten Winkel dazu

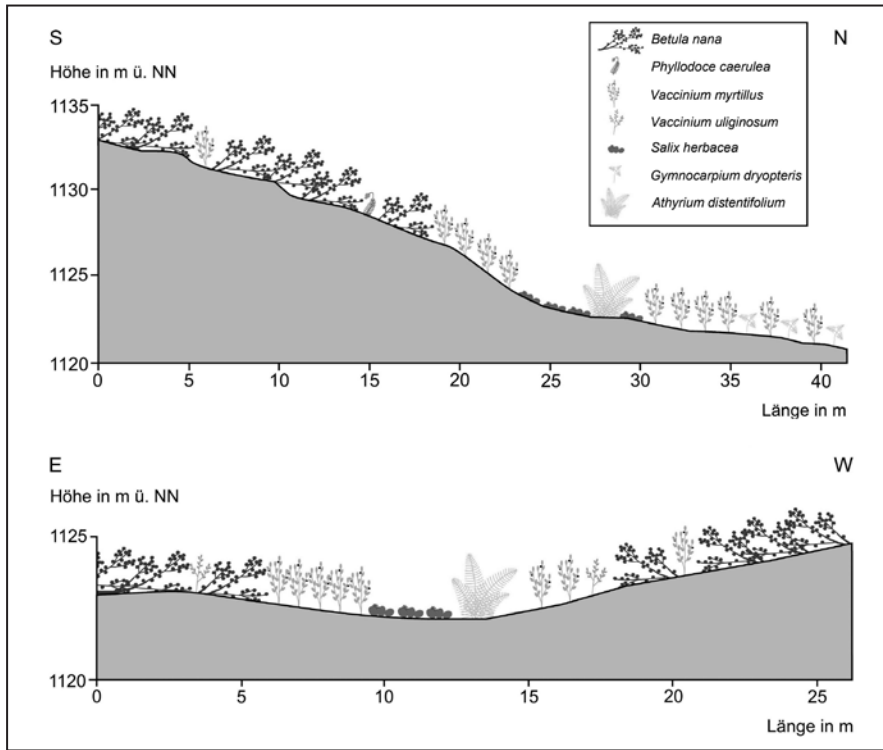


Abb. 1: Zonierung der Vegetation an einem S-N-Profil und einem E-W-Profil durch das Schneetälchen

(vgl. Abbildung 2). Entlang beider Transekte wurden die Hangneigungen gemessen und anschließend Hangprofile erstellt (vgl. Abbildung 1).

Schließlich wurde eine Übersichtskarte der Vegetation des gesamten Schneetälchens angefertigt (vgl. Abbildung 2). Die Aufnahme der vorherrschenden Vegetation wurde dabei auf die Arten reduziert, die in bestimmten Bereichen des Schneetälchens dominant waren. Die Übersichtskarte ermöglichte die Ausweisung bestimmter kleinräumiger Vegetationszonen und diente somit als Grundlage der weiteren Kartierungen.

Um einen besseren Einblick in die Zusammensetzung der Vegetation des Schneetälchens zu erhalten und den Gradienten durch das Schneetälchen deutlicher abbilden zu können, wurde die Vegetation anhand von elf Aufnahmeflächen mit je 1 m² Fläche detailgenau kartiert. Die Lage der Aufnahmeflächen entlang der Transekte wurde so ausgewählt, dass zum einen alle vorher bestimmten Vegetationszonen des Schneetälchens repräsentiert waren und zum anderen in jeder kartierten Fläche mindestens ein Exemplar der Zwergbirke vorhanden war. Bei der

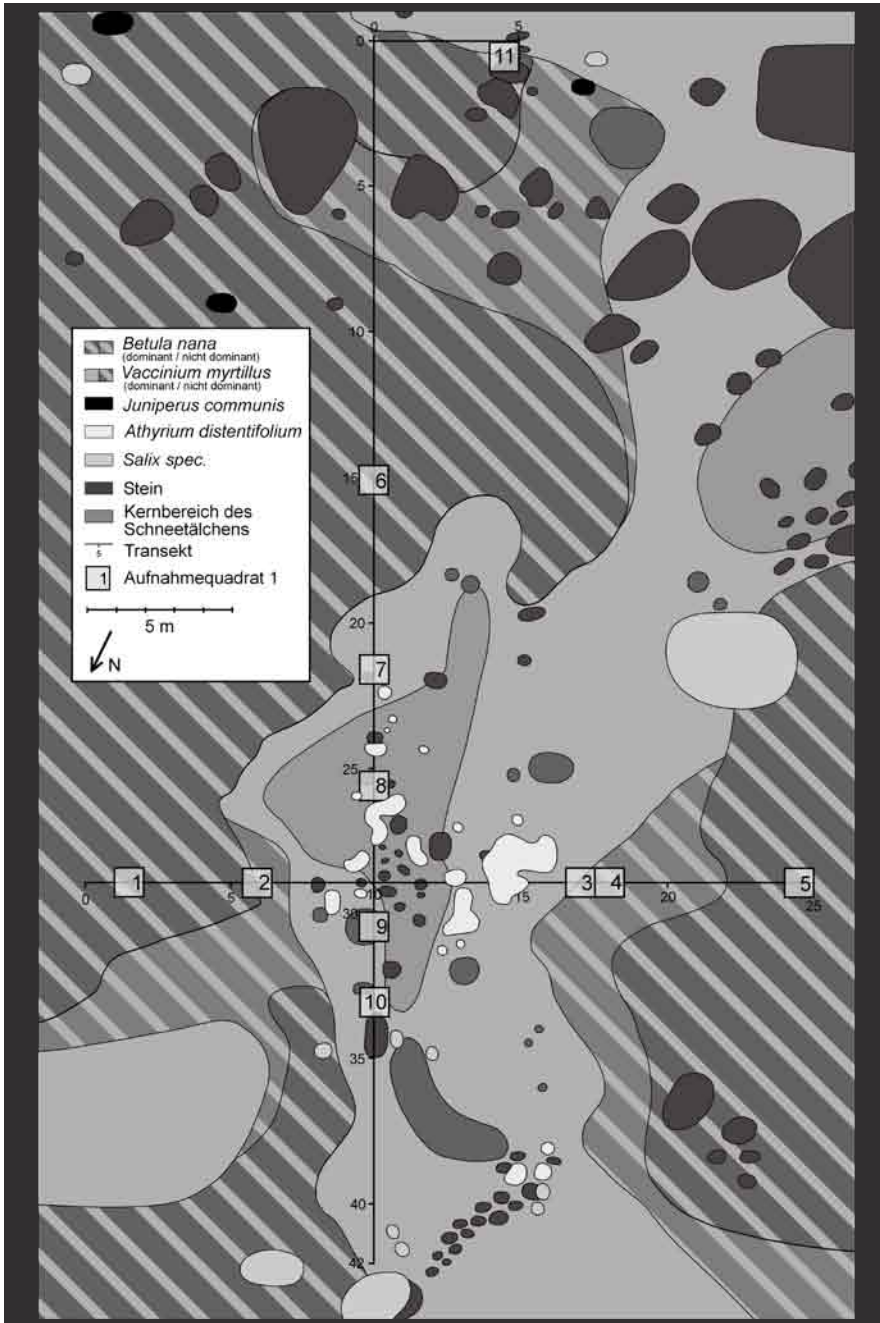


Abb. 2: Zonierung der Vegetation des Schneetälchens anhand dominanter Arten

Kartierung wurden alle Gefäßpflanzen lage- und maßstabgetreu aufgenommen; Moose und Flechten wurden nicht berücksichtigt. Die Bestimmung der Pflanzenarten erfolgte unter Anleitung von Prof. Dr. Anders Lundberg (Univ. Bergen) sowie unter Verwendung von Bestimmungsliteratur (WENDELBERGER 1984; OLSSON und NYLEN 1985; JÄGER 2005).

Die Kuppen werden vor allem von verschiedenen Zwergstraucharten geprägt, wobei *Betula nana* die dominierende Art darstellt. Daneben treten auch *Phyllo-doce caerulea* und *Empetrum hermaphroditum* stark in Erscheinung. In den Kuppenbereichen wurden auch die größten und ältesten Exemplare der Zwergbirken gefunden.

Die hohe Artenzahl in den Hangbereichen lässt darauf schließen, dass die Wuchsbedingungen hier für viele Spezies günstig sind. Während des Winters profitieren die Pflanzen von einer schützenden Schneedecke, während die Hänge im Frühjahr nicht zu früh und nicht zu spät schneefrei werden. Die Heidelbeere kommt zwar in allen Bereichen des Schneetälchens vor, dominant wird sie jedoch nur in den mittleren Hangbereichen. Die Zwergbirke ist in diesen Teilen des Schneetälchens weniger stark vertreten. Sie unterscheidet sich hier zudem in ihrer Wuchsform von den Exemplaren der Kuppen. Ihre stärker niederliegende Wuchsform lässt sich vermutlich auf eine mächtigere und länger andauernde Schneebedeckung zurückführen. Das Auftreten von *Betula nana* endet in Richtung Muldenzentrum meist abrupt, so dass bei der Kartierung eine deutliche Grenze zwischen den Vegetationszonen gezogen werden konnte.

Im Kernbereich des Tälchens dauert die Schneebedeckung am längsten an. Kennzeichnend für diesen Mikrostandort ist die Kraut-Weide, *Salix herbacea* (LÖFFLER 2003).

Da der Schneegradient durch das Tälchen mit Hilfe der Vegetationskartierung deutlich abgebildet werden konnte, erschien die Probenahme der Zwergbirken entlang dieses Gradienten sinnvoll.

4 Dendroökologische Untersuchungen

Aus den elf entlang der Schneegradienten kartierten Aufnahmeflächen wurden insgesamt 25 Zwergbirken entnommen. Um deren Jahrringbreiten messen zu können, wurden mit einem Schlittenmikrotom pro Individuum mehrere Dünnschnitte des Stämmchens nahe der Stammbasis hergestellt. Die Verwendung des gesamten Stammquerschnitts ist notwendig, um auskeilende Jahrringe lokalisieren zu können und die Einzelkurven der Radien so zu synchronisieren (BÄR et al. 2006). Zur Sichtbarmachung der Jahresringe wurden die Dünnschnitte in einer Doppelfärbung mit Safranin und Astrablau eingefärbt (ETZOLD 1983) und anschließend mit Canadabalsam als Dauerpräparate fixiert. Daraufhin wurden sie mit einer Mikroskopkamera (Leica Application Suite, Version 2.8.1) photographiert. Die

sich überlappenden Einzelbilder wurden schließlich zusammengesetzt, um ein Bild des gesamten Stammquerschnitts zu erhalten. Die Jahrringbreite wurde anhand dieser digitalen Bilder mit Hilfe des Programms LignoVision (Version 1.37, RINN 2006) gemessen.

Das Problem der häufig fehlenden oder auskeilenden Jahrringe bei Zwergsträuchern wurde bereits in verschiedenen Arbeiten beschrieben (z.B. PETERSDORF

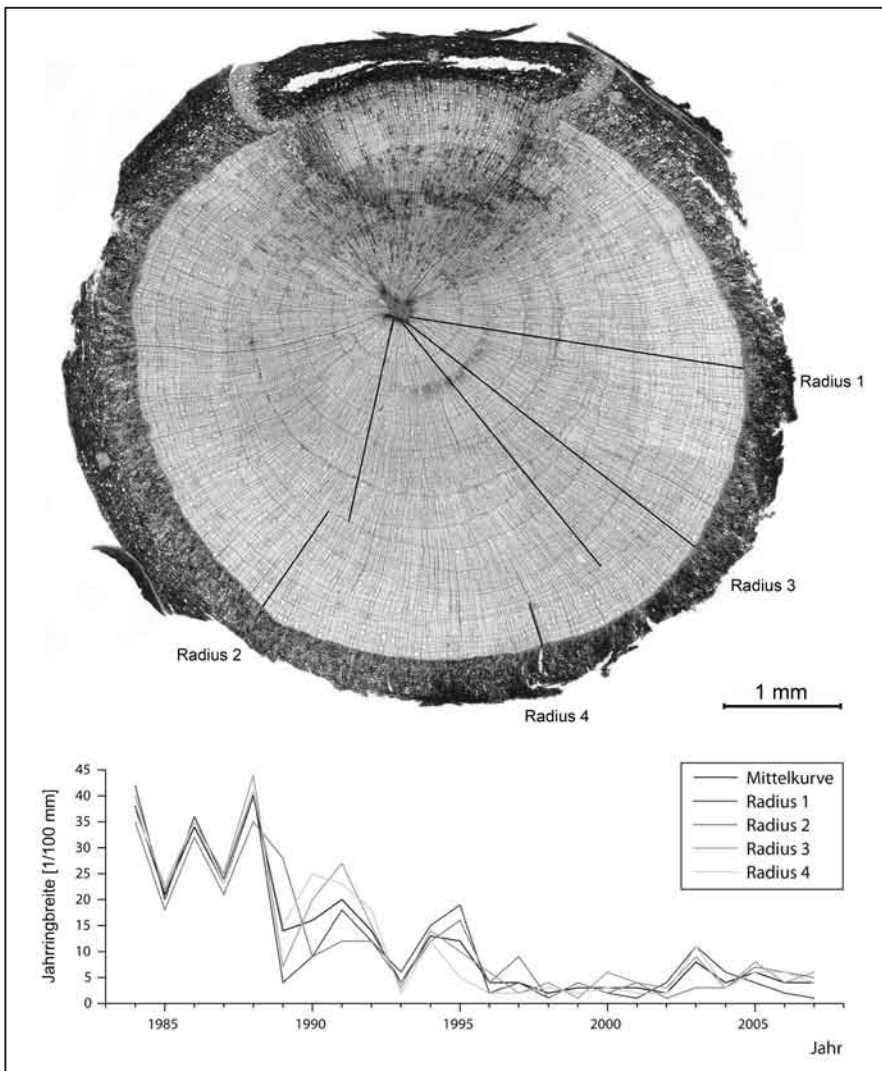


Abb. 3: Lage der Radien im Querschnitt (oben), gemessene Jahrringbreiten (unten)

1996; BÄR et al. 2007; HALLINGER 2008). Aus diesem Grund wurden hier pro Individuum jeweils zwei bis drei Dünnschnitte nahe der Stammbasis hergestellt. Um eine für das Individuum repräsentative Ringbreitenkurve zu erhalten, wurden die Jahrringbreiten entlang mehrerer Radien (zwei bis fünf) pro Dünnschnitt gemessen (vgl. Abbildung 3). Die Jahrringkurven wurden mit einer zuvor erstellten Referenzchronologie von 20 Fjellbirken vom gleichen Hang (990-1060 m ü.NN) verglichen. Es stellte sich heraus, dass es nicht notwendig war, das aufwändige serial-sectioning-Verfahren nach KOLISHCHUK (1989) anzuwenden, bei dem Stammquerschnitte in verschiedenen Höhen eines Zwergstrauchstämmchens gewonnen und miteinander verglichen werden. Zwei bis drei Dünnschnitte an der Stammbasis reichten aus, um die gemessenen Jahrringbreitenserien zu synchronisieren. Für die visuelle und statistische Synchronisation der Jahrringkurven wurde das Programm TSAP-Win (Version 0.53, RINN 2003) verwendet. Obwohl auskeilende Jahrringe bei *Betula nana* sehr häufig auftreten, konnten die meisten Jahrringbreitenkurven synchronisiert werden. Vierundzwanzig der 25 Zwergbirken konnten untereinander synchronisiert werden und wurden verwendet, um eine Standortchronologie zu erstellen. Die Chronologie-Bildung erfolgte dabei in drei Schritten: 1) Ringbreiten-Messung entlang mehrerer Radien und Bildung von Mittelkurven für jeden Dünnschnitt. 2) Mittelung der Dünnschnitts-Mittelkurven zu Individuen-Mittelkurven. 3) Chronologie-Bildung aus den Mittelkurven der Individuen.

Die Bereinigung der Rohwertkurven der Jahrringbreite vom biologischen Trend erfolgte bei Fjellbirken und Zwergbirken auf die gleiche Weise und wurde mit Hilfe des Programms Arstan (Version 41d, COOK 1985; COOK/HOLMES 1986) durchgeführt. Es wurde ein *cubic smoothing spline* Filter verwendet, der auf zwei Dritteln der Länge der Jahrringkurve 50% der Varianz entfernt.

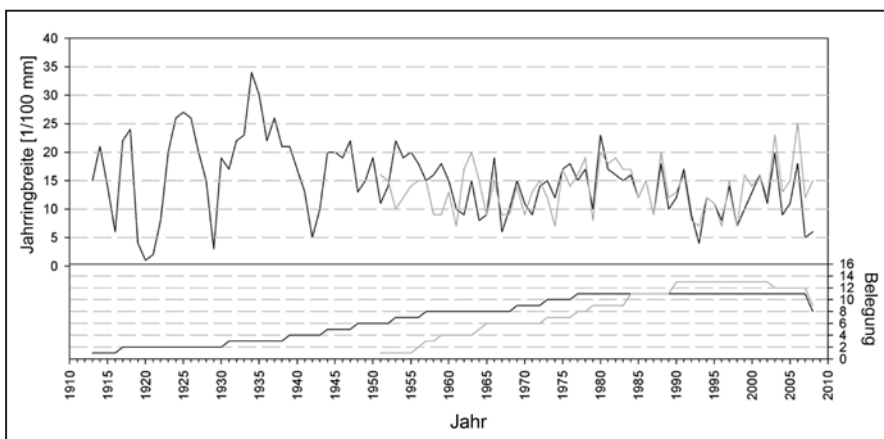


Abb. 4: Rohwert-Chronologien der Zwergbirken der Kuppen (schwarze Kurve) sowie der Hänge einschließlich des Kernbereichs (graue Kurve) (MEINARDUS et al. 2011, verändert)

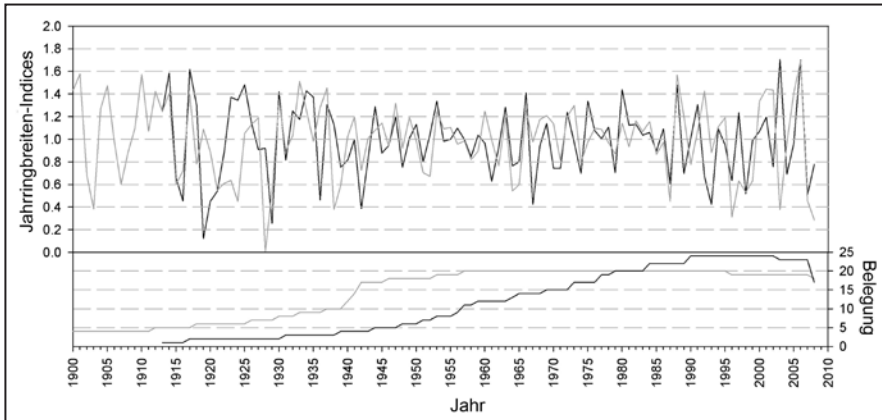


Abb. 5: Trendbereinigte Chronologien von *Betula nana* (schwarze Kurve) und *Betula pubescens* ssp. *czerepanovii* (graue Kurve) (MEINARDUS et al. 2011, verändert)

Um das Wachstum der Zwergbirken an den Kuppenstandorten und im inneren Bereich des Schneetälchens vergleichen zu können, wurden zwei getrennte Chronologien berechnet. Abbildung 4 zeigt, dass die beiden Rohwertchronologien der Kuppen- und Hangbereiche sehr ähnliche Wachstumstendenzen aufweisen und eine hohe Gleichläufigkeit besitzen (73%, $p < 0,001$). Da die Jahrringkurven der Zwergbirken aus den verschiedenen Bereichen des Schneetälchens eine gute Übereinstimmung zeigten, wurde aus allen Individuen-Kurven eine Master-Chronologie erstellt.

In Abbildung 5 wurde die Master-Chronologie der Zwergbirken zusammen mit der Referenzchronologie der Baumbirken dargestellt. Die Chronologie von *Betula nana* umfasst eine Zeitspanne von 96 Jahren, wobei ab dem Jahr 1957 eine Belegung von elf Zwergsträuchern erreicht wird. Obwohl die beiden Birkenarten verschiedene Lebensformen darstellen, weisen die beiden Chronologien große Ähnlichkeiten auf. Die Gleichläufigkeit der beiden Chronologien liegt bei 68% ($p < 0,001$). Die Übereinstimmungen lassen darauf schließen, dass die Jahrringbreiten von *Betula nana* regionale Klimasignale widerspiegeln.

5 Fazit und Ausblick

Mit Hilfe detaillierter Kartierungen konnte gezeigt werden, dass das untersuchte Schneetälchen eine ausgeprägte Vegetationszonierung aufweist, die sich auf den Einfluss des Mikroreliefs bzw. den Schneegradienten zurückführen lässt. In dieser Arbeit wurde zudem untersucht, ob sich diese unterschiedlichen Wachstumsbe-

dingungen entlang dieses Gradienten auch auf die Jahrringbildung der Zwergbirken auswirken. Da die Chronologien der Zwergbirken auf den Kuppen und im Kernbereich des Schneetälchens keine signifikanten Unterschiede aufweisen, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Mikrotopographie des Schneetälchens nur in geringem Maß auf die Jahrringbreiten-Variationen der Zwergbirken auswirkt und das in ihnen enthaltene klimatische Signal kaum beeinflusst.

Obwohl die beiden untersuchten Birkenarten zu verschiedenen Lebensformtypen gehören, die in unterschiedlichen Höhenstufen und unter verschiedenen mikroklimatischen Bedingungen wachsen, weisen ihre Chronologien starke Ähnlichkeiten auf. Diese Übereinstimmungen lassen darauf schließen, dass die Jahrringbreiten von *Betula nana* wie diejenigen baumförmiger Birken regionale Klimasignale widerspiegeln.

Die Eignung von *Betula nana* für dendroökologische Untersuchungen konnte somit belegt werden. Da die Zwergbirke zusammen mit ihren nahe verwandten Arten ein zirkumpolares Verbreitungsgebiet innehat, eröffnet dies neue Perspektiven für dendroökologische Studien der subarktischen Klimazone bzw. der alpinen Stufe kalt-gemäßigter Gebirge jenseits der Baumgrenze.

Literatur

- BÄR, A. et al. 2006: Dendroecology of dwarf shrubs in the high mountains of Norway – A methodological approach. In: *Dendrochronologia* 24: 17-27.
- BÄR, A. 2007: Können Zwergsträucher als dendroökologische Klimaindikatoren im Hochgebirge dienen? Die Entwicklung eines Methodenverbunds und die Rolle der Mikrotopographie für Jahrringvariationen am Beispiel von *Empetrum hermaphroditum* in den norwegischen Skanden. In: *Norden* 18: 59-68.
- BENKOVA, V.E. & F.H. SCHWEINGRUBER. 2004: *Anatomy of Russian Woods. An atlas for the identification of trees, shrubs, dwarf shrubs and woody lianas from Russia.* Bern, Stuttgart, Wien.
- COOK, E.R. 1985: *A time series analysis approach to tree ring standardization (Dissertation).* Tuscon, Arizona.
- COOK, E.R. & R.L. HOLMES. 1986: ARSTAN. Guide for computer program ARSTAN. Adapted from Users Manual for Program ARSTAN. In: Holmes, R.L. et al. (Hg.): *Tree-Ring Chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin*, 50-65.
- DAHL, E. 1956: *Rondane. Mountain vegetation in south Norway and its relation to the environment. Skrifter utgitt av Det Norske Videnskaps-Akademie i Oslo. I. Mat.-Naturv. Klasse 3: 1-374.* Oslo.
- ETZOLD, H. 1983: Eine kontrastreiche, simultane Mehrfachfärbung für pflanzenanatomische Präparate. Fuchsin – Safranin – Astrablau. In: *Mikrokosmos* 72: 213-219.
- GEIGER, R. 1961: *Das Klima der bodennahen Luftschicht.* Braunschweig.
- GJÆREVOLL, O. 1956: *The plant communities of the Scandinavian alpine snow-beds.* Trondheim.
- GREGUSS, P. 1945: *Bestimmung der mitteleuropäischen Laubhölzer und Sträucher auf xylotomischer Grundlage.* Budapest.

- HALLINGER, M. 2008: Shrub ecology and climate change in the Scandic mountains of north Sweden with special focus on *Juniperus nana*. Diplomarbeit an der Universität Greifswald (unveröffentlicht).
- HESS, H.E. et al. 1967: Flora der Schweiz und angrenzender Gebiete. Band I: Pteridophyta bis Caryophyllaceae. Basel, Stuttgart.
- JÄGER, E.J. (Hg.) 2005: Rothmaler Exkursionsflora von Deutschland. Band 2. Gefäßpflanzen: Grundband. 19., bearbeitete Auflage. Heidelberg.
- KOLISHCHUK, V.G. 1989: Dendroclimatological study of prostrate woody plants. In: Cook E. R. & L.A. Kairiukstis (Hg.): Methods of Dendrochronology. Applications in the environmental sciences. Dordrecht, Boston, London, 51-55.
- LÖFFLER, J. 2003: Micro-climatic determination of vegetation patterns along topographical, altitudinal, and oceanic-continental gradients in the high mountains of Norway. In: Erdkunde 57: 232-249.
- LÖFFLER, J. 2005: Snow cover dynamics, soil moisture variability and vegetation ecology in high mountain catchments of central Norway. In: Hydrological Processes 19: 2385-2405.
- MEINARDUS, C. et al. 2011: The potential of the dwarf shrub *Betula nana* L. as a climate indicator above the tree line in the southern Norwegian Scandes. TRACE 9: 181-186.
- MOEN, A. 1999: National Atlas of Norway: Vegetation. Hønefoss.
- NOAA National Center for Environmental Prediction (Hg.) <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html>> 10.07.2009.
- Norwegian Meteorological Institute (Hg.) <http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=33,6979,33_14938&_dad=portal&_schema=PORTAL> 10.07.2009.
- OLSSON, O.G. & B. NYLÉN. 1985: Fjäll Flora. Kiel.
- PETERSDORF, M. 1996: Dendrochronologische Untersuchungen an Zwergsträuchern. Diplomarbeit an der Universität Zürich (unveröffentlicht).
- RINN, F. 2003: TSAP-Win (Time Series Analysis and Presentation for Dendrochronology and Related Applications) Version 0.53 User Reference. Heidelberg.
- RINN, F. 2006: LignoVision. Scanning of wood and tree-ring recognition. Version 1.37. User Reference.
- ROWECK, H. 1981: Die Gefäßpflanzen von Schwedisch-Lappland. Ein Beitrag zu ihrer Standortsökologie und Verbreitung. Vaduz.
- SCHOCH, W. et al. 2004: Wood anatomy of central European Species. Online version: www.woodanatomy.ch <<http://www.woodanatomy.ch/species.php?code=BENA>> 16.10.2009
- SCHWEINGRUBER, F.H. & P. POSCHLOD. 2005: Growth Rings in Herbs and Shrubs: life span, age determination and stem anatomy. In: Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf (Hg.): Forest Snow and Landscape Research 79/3: 195-415.
- SCHWEINGRUBER, F.H. et al. 2006: Atlas of woody plant stems. Evolution, structure and environment. Berlin.
- The Bergius Foundation & The Royal Swedish academy of Sciences* (Hg.) 2000: Flora Nordica. Volume 1. Lycopodiaceae to Polygonaceae. Stockholm.
- WENDELBERGER, E. 1984: Alpenpflanzen: Blumen, Gräser, Zwergsträucher. München, Wien, Zürich.