

Fallbeispiel zur quantitativen Druckholzverteilung und Jahrringexzentrizität in Abhängigkeit der räumlichen Lage des Schafts von Fichten

Duncker, Philipp; Aschoff, Tobias und Spiecker, Heinrich,
Institut für Waldwachstum, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Tennebacherstraße 4; D-79106 Freiburg

Einleitung

Die Druckholzbildung der Coniferales wird in Reaktion auf eine plastische Auslenkung aus der ursprünglichen „inneren Gleichgewichtslage“ im Schwerfeld der Erde gebildet, um diese Lage durch gezielte Aufkrümmung wiederzuerlangen (HARTMANN 1942; RIECH & CHING 1970). Für den Schaft von Fichten bedeutet dies in der Regel eine Auslenkung aus der senkrechten Wuchsrichtung. Zur Auslenkung der Fichten aus dieser Wuchsrichtung bedarf es belastender Kräfte, die zur Schiefstellung der Bäume führen. Diese Schiefstellung bedingt nicht nur einen veränderten gravitropen Reiz, der zur Druckholzbildung anregt, sondern führt zu einseitig erhöhter Druckbeanspruchung. Diese regt Fichten zu verstärktem, exzentrisch verteilten Radialzuwachs an (STEUCEK & KELLOGG 1972), der dem Abbau erhöhter Spannungen dient (MATTHECK 1991; MATTHECK & KUBLER 1995). Als auslenkende Kräfte, die Druckholzbildung induzieren, kommen sowohl der Wind (ROTHER 1930; PILLOW 1931; MITSCHERLICH 1942; LOW 1964; WESTING 1965; ABETZ & KÜNSTLE 1982; EICKHORN 1986), als auch Prozesse in Betracht, die mit der Hangneigung in Verbindung stehen (HARTMANN 1942; LENZ 1967; SCHÖNEBERGER 1978; SCHMID & SCHWEINGRUBER 1995). Für Standorte aus dem südlichen Schwarzwald konnte nachgewiesen werden, dass oftmals der Wind die Kraft ist, die zur Auslenkung der Bäume führt, und nicht talwärts gerichtete Prozesse (DUNCKER 2006). So findet sich Druckholz auch an steiler, südwestexponierter Hanglage häufig in nordöstlicher Schaftseite, also bergseits im Lee der vorherrschenden Wind- und der häufigsten Starkwindrichtung. Entsprechend müsste eine Schiefstellung der Bäume in nordöstlicher Richtung, oder eine entsprechend orientierte Schaftkrümmung nach erfolgter Korrektur, festzustellen sein.

In diesem Fallbeispiel wird an zwei Fichten auf einem steilen, westexponierten Standort untersucht, inwiefern die Neigung und Lage des Schafts mit der inneren Verteilung der Druckholzausbildung und Jahrringexzentrizität übereinstimmen und ob diese durch die vorherrschende Windrichtung oder Hangrichtung bestimmt scheinen.

Material und Methode

Die beiden untersuchten Fichten wuchsen im Forstbezirk der Stadt Freiburg i. Br. in 630 m ü. NN. in steiler (21° Hangneigung), westexponierter (258° Hangrichtung) Hanglage am Schauinsland. Als Anhalt für die an diesem Standort vorherrschende Windrichtung sowie die mittlere Starkwindrichtung können die Winddaten der beiden Wetterstationen „FF2311 Freiburg“ und „FF2360 Schauinsland“ des Deutschen Wetterdienstes dienen. Die untersuchten Fichten stammen aus einem geschlossenen, einschichtigen Bestand aus Fichte, Tanne und Buche. Sie haben einen Brusthöhendurchmesser ($d_{1,3\text{ m}}$) von 41.3 cm bzw. 40.6 cm und eine Baumhöhe von 28.6 m bzw. 30.5 m. Das Alter beider Fichten beträgt 93 Jahre. Da dieses in Stockhöhe ($h_{0,2\text{ m}}$) erhoben wurde, müssten möglicherweise weitere Jahre hinzugezählt werden, um auf das Gesamtalter der Bäume zu schließen. Die Kronenansatzhöhe der beiden Fichten liegt talseits in 13.9 m bzw. 10.1 m, bergseits in 16.0 m bzw. 16.1 m Schafthöhe. Die Schwerpunktlage der Kronenschirmflächen sind in Bezug zum Stammfußpunkt leicht Richtung Norden verschoben (Fichte 1 (7,4°|0.24 m) Fichte 2 (17,5°|0.17 m)). Aus beiden Fichten sind nach der Stehendaufnahme störungsfreie Stammquerschnittsflächen aus 1.3 m, 3 m, 5 m, 7.5 m, 10 m, ... , 27.5 m Schafthöhe entnommen worden.

Methode zur Erhebung der räumlichen Lage der Schäfte am stehenden Baum

Im Juni 2002 wurde mit dem bildgebenden Panorama Lasermesssystem Imager 5003 von Zoller + Fröhlich die Waldszene mit den beiden Fichten eingescannt. Beim Laserscannvorgang wird der umliegende, vom Scanner aus sichtbare Bereich rasterförmig mit einem Laserstrahl abgetastet. Für jeden aufgenommenen Punkt werden die Richtung und die Entfernung zum getroffenen Objekt aufgezeichnet, wodurch sich die räumliche, dreidimensionale Lage jedes einzelnen Punktes ergibt. Der verwendete Laserscanner bestimmt die Entfernung nach dem Phasendifferenzverfahren mit einem Eindeutigkeitsbereich von 53.5 m, wodurch sich die maximale Reichweite der Lasermessungen von 53.5 m ergibt. Gescannt wurde mit einer Auflösung von 8400 x 4200 Punkten pro Scan. In der Horizontalen entspricht diese Auflösung einem radialen Abstand von 7.5 mm bei 10 m Distanz zwischen benachbarten Scannpunkten (ZOLLER & FRÖHLICH 2006).

Die beiden untersuchten Fichten hatten lediglich einen geringen Abstand von 5.24 m zueinander. Somit reichten vier Standpunkte zum Aufbau des Laserscanners aus, um beide Fichten von allen Seiten aus aufzunehmen. Die Distanz der Scannerstandorte zu den beiden untersuchten Fichten lag im Mittel bei 8.72 m. Um die verschiedenen Scannaufnahmen in einem einheitlichen Koordinatensystem zusammenführen zu können, sind vor deren Aufnahme

Papiertargets angebracht und tachymetrisch vermessen worden. Mit diesen Targets als Passpunkte wurden im Nachhinein die Koordinaten der Laserpunkte in das einheitliche Koordinatensystem, das aus den tachymetrischen Messungen resultiert, überführt (THIES *et al* 2003).

Durch das Verfahren für die Laserdistanzmessung ist in der aufgenommenen Punktwolke eine große Anzahl von Ausreißern vorhanden. Überwiegend sind diese Ausreißer an Kanten, sowie an Bereichen zu finden, bei denen die getroffenen Objekte außerhalb des ersten Eindeutigkeitsbereiches liegen. Für die Eliminierung der Ausreißer werden verschiedene Filter angewendet. Ein erster Filter verwendet einen minimalen Schwellwert für die Intensität des reflektierten Laserlichtes zur Entfernung von Punkten, die weitestgehend außerhalb des ersten Eindeutigkeitsbereiches liegen. Zur Eliminierung der Ausreißer an den Kanten wird weiterhin ein Kantenfilter angewendet (ASCHOFF *et al* 2004a).

Zur Bestimmung der Schaftpositionen in verschiedenen Schafthöhen werden durch die dreidimensionalen Punktwolken horizontal ausgerichtete Schichten mit 10 cm Dicke geschnitten und im Anschluss daran die Schaftmittelpunkte in der jeweiligen Schicht ermittelt. Im unteren Bereich der Bäume zwischen 0.5 m und 1.5 m Schafthöhe werden die Schichten in einem Abstand von 10 cm zueinander ausgeschnitten, so dass Punktdatensätze für die Schafthöhen 0.5 m, 0.6 m, etc. resultieren. In den Bereichen oberhalb 1.5 m Schafthöhe erfolgt die Extraktion der Punktdaten in Abständen von 0.5 m Höhenunterschied, so dass die Schichten die Positionen in den Schafthöhen 2.0 m, 2.5 m, etc. wiedergeben.

Wird eine ausgeschnittene Schicht eines Untersuchungsbaumes von oben aus betrachtet, ist der Schaft als Kreisring erkennbar (siehe Abbildung 1). Für die Ermittlung der Position des Schafts in dieser Schicht mittels digitaler Bildverarbeitungsroutinen, werden zunächst die Laserpunkte der Schicht in ein Bildraster mit einer Pixelweite von 1 cm geschrieben (SIMONSE 2003, ASCHOFF & SPIECKER 2004b). Um die sich ergebende Kontur des Kreisringes wird eine konvexe Hülle gelegt und als Mittelpunktssposition der Flächenschwerpunkt bestimmt. Die so ermittelten Zentrumsunkte der Schichten ergeben übereinander gestapelt eine dreidimensionale Polygonlinie, die den Verlauf des Schaftes widerspiegelt.

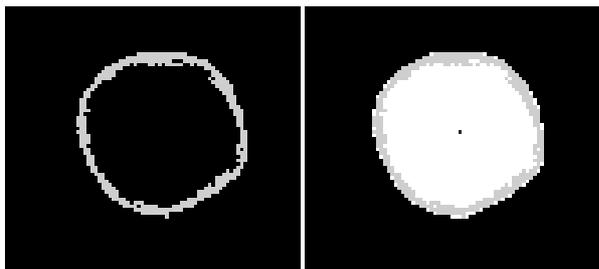


Abbildung 1: Bestimmung der räumlichen Lage des Schafts und der Schaftmittelpunkte aus den dreidimensionalen Punktwolken des bildgebenden Panorama Laserscanners. Horizontal ausgeschnittene Schichten aus den Punktdaten der Schäfte erscheinen in der Aufsicht als Kreisringe (links). Die Bestimmung des Mittelpunktes erfolgt durch Flächenschwerpunktberechnung nach Anpassung einer konvexer Hüllen (rechts).

Aus den ermittelten Positionen des Schaftes lassen sich dessen lokalen Neigungen gegenüber einer gedachten Senkrechten ableiten. Um den Neigungsverlauf des Schaftes zu ermitteln, sind 1 m hohe Abschnitte gewählt worden, von denen am unteren und oberen Ende die Position des Schaftes erhoben wurde. Aus der radialen, horizontalen Distanz der Zentrumskoordinaten des unteren und oberen Endes, sowie aus der vorgewählten Abschnittshöhe von 1 m, ergibt sich die Neigung des betreffenden Abschnitts. Über die radialen Distanzen in x- und y-Richtung wird des Weiteren die Azimutrichtung der Neigung des Schaftes für die entsprechenden Abschnitte errechnet.

Methode zur Druckholzerhebung und Vermessung der Jahringexzentrizität

Die Verteilung des Druckholzes und des exzentrischen Radialzuwachses in Stammquerschnittsflächen kann mit einer, auf der hyperspektralen Bildanalyse beruhende Methode quantitativ erhoben werden (DUNCKER 2006). Dabei werden verschiedene Holzmerkmalsklassen aufgrund spektraler Eigenschaften im reflektierten Licht der Stammquerschnittsflächen lagegenau erkannt und vermessen. Die Erhebung der räumlichen Verteilung des Druckholzes und der Jahringexzentrizität in den Schäften erfolgt in mehreren Stammquerschnittsflächen in acht, nach den Himmelsrichtungen orientierten Proberadien, die vom Mark ausgehen. Das Druckholz wird automatisiert mittels hyperspektraler Bildanalyse erkannt und dessen Flächenanteil und Lage bestimmt. Darüber hinaus kann aufgrund erkannter Jahringgrenzen der jährliche Radialzuwachs bestimmt und die Druckholzbildung datiert werden. Die erhobenen räumlichen Informationen zur Lage des Schafts sowie der inneren Druckholzverteilung und Radialzuwachsexzentrizität können mit Vektoren beschrieben werden, welche die jeweilige Ausbildungsrichtung und Intensität wiedergeben. Diese vektorielle Information lässt sich mit kreisstatistischen und bivariaten Verfahren

beschreiben und auf Zusammenhänge hin untersuchen (BATSCHELET, E. 1981, FISHER, N.I. 1993). Nach Bestätigung der unimodalen Richtungsverteilung des Druckholzes und der Jahringexzentrizität in den einzelnen Jahrringen eines Stammquerschnittes, diese erfolgt durch einen Rayleigh-Test (FISHER, N.I. 1993), werden für diesen Stammquerschnitt mittlere Vektoren für beide Phänomene berechnet. Für die Darstellung der Variation der mittleren Vektoren eines Baumes werden Standardellipsen berechnet, die etwa 40 % der Beobachtungen einschließen. Des Weiteren werden zur Angabe eines Vertrauensbereiches, innerhalb sich dessen mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit der tatsächliche mittlere Vektor befindet, Vertrauensellipsen nach Hotelling berechnet. Die Berechnungsweise beider Ellipsen ist von BATSCHELET, E. (1981) beschrieben.

Ergebnisse und Diskussion

Die Bestimmung der Lage und der lokalen Neigung ergab, dass die Schäfte beider Fichten bis in 14 m Höhe zunehmender Richtung Nordosten geneigt sind. Dabei werden lokale Neigungen des Schafts gegen der Senkrechten von bis zu 6 % erreicht (siehe Abbildung 2). Für höhere Schaftbereiche ließ sich aufgrund der Abschattung durch die Kronen die genaue Lage der Schäfte nicht mehr bestimmen. Die Bäume sind somit mindestens bis zur halben Baumhöhe nicht ins Tal geneigt. Vielmehr sind sie in Richtung Lee der vorherrschenden südwestlichen Windrichtung und mittleren Starkwindrichtung, wie diese an beiden räumlich nahe gelegenen Windmessstationen erhoben wurden, ausgelenkt. Es erscheint daher wahrscheinlich, dass Starkwindereignisse zur Auslenkung der Bäume führten und andere, hangabwärts gerichtet wirkende Standortfaktoren hinter der Kraft des Windes zurücktreten.

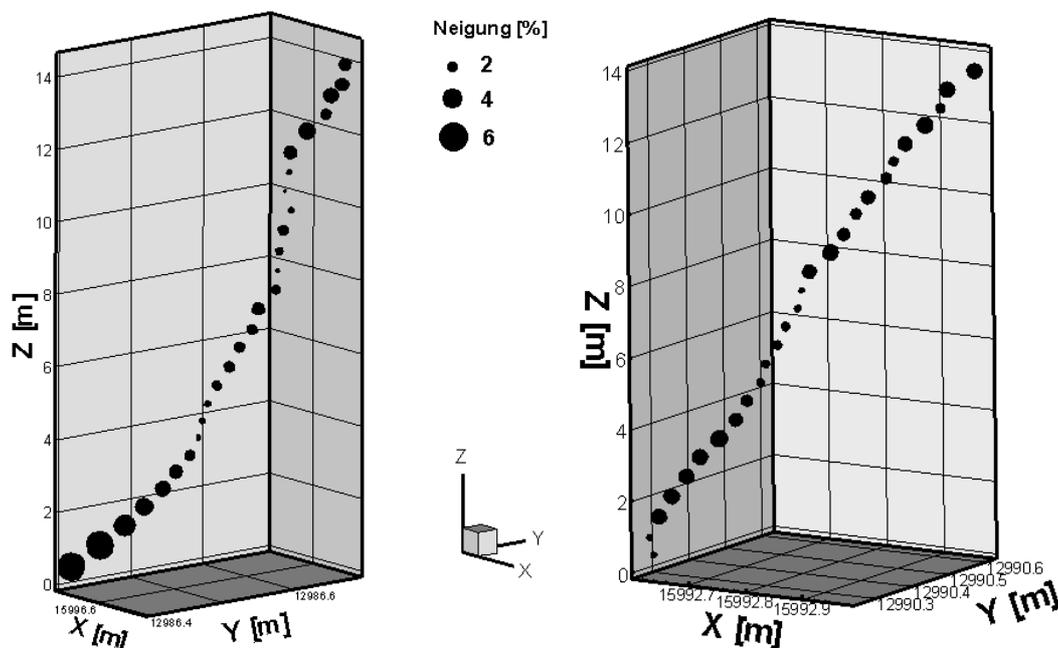


Abbildung 2: Position der beiden Schäfte – links Fichte 1, rechts Fichte 2 – und deren lokaler Schaftneigung in Bezug zur Senkrechten. Die x-Koordinate gibt die Auslenkung in West-Ost-Richtung, die y-Koordinate in Süd-Nord-Richtung wieder, die z-Koordinate stellt die Schafthöhe dar.

Die Richtung des Druckholzes und des exzentrischen Radialzuwachses sind in den Stammquerschnittsflächen signifikant positiv korreliert. Die Differenz zwischen beiden Ausbildungsrichtungen in den Stammquerschnitten, die jeweils unimodal verteilt sind, beträgt maximal 16,1°. Wie aus **Abbildung 3** ersichtlich wird, ist sowohl die Druckholzbildung als auch die Jahringexzentrizität signifikant nach Nordosten ausgerichtet. Die jeweiligen Vertrauensellipsen schließen die beiden Ursprünge der Koordinatensysteme nicht mit ein. Des Weiteren besteht im Mittel kein signifikanter Unterschied ($\alpha = 0,05$) zwischen der Ausbildungsrichtungen des Druckholzes und der Jahringexzentrizität. Die Vertrauensbereiche für die mittleren Richtungen überschneiden sich, sowohl innerhalb der Bäume als auch zwischen ihnen. Dies entspricht erneut der Hangoberseite bzw. dem Lee der vorherrschenden Wind- und der mittleren Starkwindrichtung. Die Position der Schäfte bis in 14 m Schafthöhe liegen von oben betrachtet ebenfalls innerhalb der Vertrauensbereiche für die mittleren Ausbildungsrichtungen des Druckholzes und der Jahringexzentrizität. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist dies in **Abbildung 3** getrennt oben dargestellt, die jeweiligen Orientierungen der Koordinatensysteme stimmen überein. Der positive Abschnitt der Abszisse weist in Richtung Osten, der positive der Ordinate in Richtung Norden. Im Mittel besteht zwischen der lokalen Neigungsrichtung des Schafts über die jeweiligen Stammquerschnitte und deren mittleren Ausbildungsrichtungen des Druckholzes und der Jahringexzentrizität eine Winkeldifferenz von 23,2° bis 26,9° (Standardabweichung 13,4° bzw. 14,3°). Noch etwas geringere Winkeldifferenzen ergeben sich aus der Neigungsrichtung der

Flächenschwerpunktlage der Schaftquerschnitte in Bezug zur Position in Brusthöhe und den beiden Ausbildungsrichtungen. Für das Druckholzes betragen sie 18.5° und für die Jahringexzentrizität 24.5° (Standardabweichung 11.7° bzw. 10.9°). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die aus den Laserscans erhobenen Flächenschwerpunktlagen in den verschiedenen Schaft Höhen nicht den jeweiligen Positionen der Markröhre entsprechen. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit der eingangs dargestellten Erkenntnis, dass der Reiz zur Druckholzbildung durch eine Lageveränderung im Schwerfeld der Erde hervorgerufen wird. Entsprechend der Funktion dieses Gewebes, durch aktive Längsausdehnung die innere Gleichgewichtslage wieder zu erreichen (HARTMANN 1942), findet es sich auch in diesem Fallbeispiel auf der Unterseite der ausgelenkten Schaftbereiche.

Aufsicht auf die Position der beiden Schäfte bis in 14 m Schafthöhe in Bezug zur Position in Brusthöhe

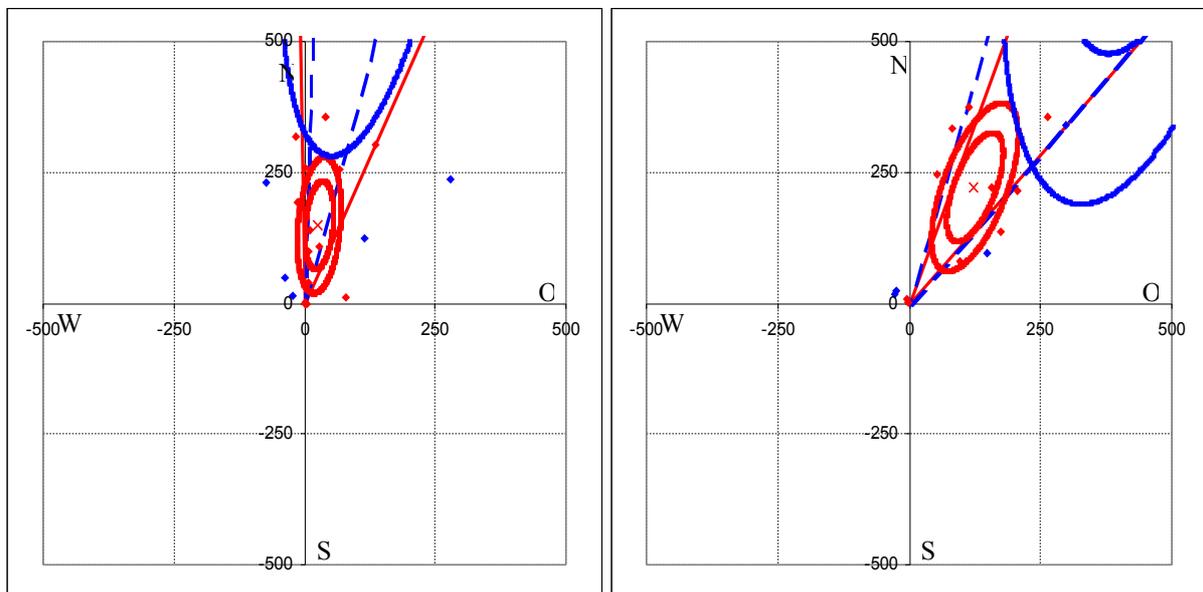
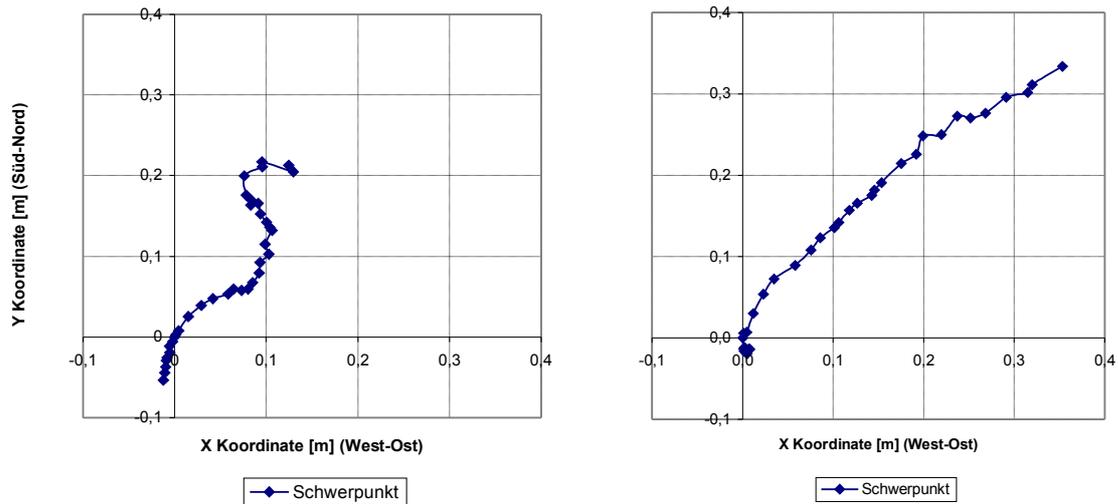


Abbildung 3: Oben ist die Aufsicht auf die Position der beiden Schäfte bis in 14 m Schafthöhe in Bezug zur Position in Brusthöhe wiedergegeben (siehe auch Abbildung 2), jeweils darunter die Standard- und Vertrauensellipsen für die mittlere Druckholzausbildung und Jahringexzentrizität in Fichte 1 (links) und Fichte 2 (rechts). Die Ellipsen für die Jahringexzentrizität liegen jeweils weiter vom Ursprung entfernt und sind abgeschnitten dargestellt. Die vom Ursprung der Koordinatensysteme ausgehenden Tangenten an die jeweiligen inneren Vertrauensellipsen bilden den Vertrauensbereich für die mittlere Ausbildungsrichtung des Druckholzes (durchgezogen bzw. rot) und der Jahringexzentrizität (gestrichelt bzw. blau).

Neben der Neigungsrichtung des Schafts, die für die Ausbildungsrichtung des Druckholzes und der Jahringexzentrizität bestimmend scheint, besteht zwischen dem Maß der Schaftneigung gegenüber der Senkrechten und der Druckholzmenge ein Zusammenhang. Dies drückt sich in den signifikanten Korrelationen nach Pearson

zwischen der lokalen Schaftneigung von $r^2 = 0.47$ und der relativen Neigung zur Brusthöhenposition von $r^2 = 0.81$ mit der Druckholzmenge aus. Die jeweiligen Korrelationskoeffizienten zum Betrag der Jahringexzentrizität sind mit $r^2 = 0.30$ bzw. $r^2 = 0.22$ weniger deutlich ausgeprägt. An dieser Stelle muss darauf hingewiesen werden, dass die Auslenkung zwar einen Einfluss auf die gebildete Druckholzmenge hat, jedoch die Schaftposition zum Zeitpunkt der Aufnahme bereits das Resultat einer beginnenden oder erfolgten Aufkrümmung darstellen kann.

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Mit diesem Fallbeispiel konnte an zwei Fichten auf einem steilen, westexponierten Standort gezeigt werden, dass die Neigung und Lage des Schafts mit der inneren Verteilung der Druckholzausbildung und Jahringexzentrizität übereinstimmen. Die Position des Schafts wurde am stehenden Baum mit einem bildgebenden Panorama Lasermesssystem vermessen. Entgegen der häufigen Annahme sind die beiden untersuchten Fichten bis in halbe Baumhöhe nicht in Richtung Tal geneigt, sondern vielmehr bergseits in Richtung Lee der vorherrschenden und häufigsten Starkwindrichtung. Die innere Verteilung des Druckholzes und der Jahringexzentrizität wurden im reflektierten Licht der Stammquerschnittsflächen mittels hyperspektraler Bildanalyse erhoben und vermessen. Aufgrund bivariater statistischer Verfahren konnte nachgewiesen werden, dass in den Stammquerschnittsflächen keine signifikanten Unterschiede zwischen der Ausbildungsrichtung des Druckholzes und der Jahringexzentrizität bestehen. Entsprechend den Erkenntnissen, dass die Druckholzbildung Reaktion auf einen veränderten gravitropen Reiz ist, findet sich diese auf der Unterseite der ausgelenkten Schaftbereiche. Dabei wird umso mehr Druckholz gebildet, je stärker die Auslenkung gegenüber der Senkrechten ist. Diese Auslenkung führt des Weiteren zu einer entsprechenden Veränderung der Spannungsverhältnisse im Schaft. Diese regen das Kambium zu einseitig vermehrtem Radialzuwachs an, woraus letztlich der gleichgerichtete, exzentrische Jahringaufbau resultiert.

Summary

This case study was able to show on two Norway spruces growing on a steep slope with a western direction that the inclination and the position of the trunk are consistent with the interior distribution of compression wood and with the pith eccentricity of the annual rings. The position of the trunk was determined at the standing tree with a panoramic laser surveying system. Contrary to the accepted opinion, the two examined trees were inclined towards the slope instead of being inclined towards the valley up to height of 50% of the total tree height. The interior distributions of compression wood and of the pith eccentricity were determined in reflected light from cross sectional cuts with the hyper-spectral analysis. Bivariate statistics showed that there is no significant difference between the direction of the compression wood and the pith eccentricity. Compression wood can be found on the site to which the tree is inclined, and can be explained with the general knowledge, that compression wood is a reaction to a changed gravitational stimulus. The amount of compression wood increases with the degree of inclination from the vertical position. This inclination also leads to a change in the tension distribution. These tension differences stimulate the cambium to an increased one-sided radial growth, which leads eventually to rectified eccentric annual ring formation.

Literaturverzeichnis

- ABETZ, P.; KÜNSTLE, E.: Zur Druckholzbildung bei Fichte. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 153 (7), 117-127, 1982
- ASCHOFF, T.; THIES, M.; SPIECKER, H.: Describing Forest Stands Using Terrestrial Laser-Scanning. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXV, Part B: 237-241. Istanbul 20th ISPRS World Congress, 2004a
- ASCHOFF, T.; SPIECKER, H.: Algorithms for the Automatic Detection of Trees in Laser Scanner Data. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVI, Part 8/W2, 2004b
- BATSCHLET, E.: Circular Statistics in Biology. Mathematics in Biology Academic Press, London, 371 S., 1981
- DUNCKER, P.: Die Verteilung der Druckholzbildung im Stamm der Fichte (*Picea abies* [L.] Karst.) und Beschreibung kausaler Zusammenhänge mit Standortparametern. Inaugural-Dissertation, Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 213 S., 2006
- EICHKORN, T.: Wachstumsanalysen an Fichten in Südwestdeutschland. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 157 (7), 125-139, 1986
- FISHER, N.I.: Statistical analysis of circular data. Cambridge University Press, Cambridge, Mass., 277 S., 1993
- HARTMANN, F.: Das statische Wuchsgesetz bei Nadel- und Laubbäumen. Neue Erkenntnis über Ursache, Gesetzmäßigkeit und Sinn des Reaktionsholzes. Springer-Verlag, Wien, 111 S., 1942
- LENZ, O.: Action de la neige et du gel sur les arbres de montagne, en particulier sur leur forme et l'anatomie de la tige. Mitteilungen der Schweizerische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen 43 289-346, 1967
- LOW, A.J.: A Study of Compression Wood in Scots Pine (*Pinus silvestris* L.). Forestry 37 179-201, 1964

- MATTHECK, C. 1991: Trees. The Mechanical Design. Springer, Berlin ; Heidelberg, 121 S.
- MATTHECK, C.; KUBLER, H.: Wood - the internal optimization of trees. Springer-Verlag, Berlin; Heidelberg, 1995
- MITSCHERLICH, G.: Der Einfluß des Seewindes auf das Wachstum von Kiefer, Fichte, Buche, Birke und Erle. Tharandter Forstliches Jahrbuch 93 345-373, 1942
- PILLOW, M.Y.: Compression Wood Records Hurricane. Journal of Forestry 29 575-578, 1931
- RIECH, F.P.; CHING, K.K.: Influence of Bending Stress on Wood Formation of Young Douglas-Fir. Holzforschung 24 (2), 68-70, 1970
- ROTHER, G.: Druckfestigkeit und Druckelastizität des Rot- und Weißholzes der Fichte. Tharandter Forstliches Jahrbuch 81 204-231, 1930
- SCHMID, D. ; SCHWEINGRUBER, F.: Datierung von Rutschungen mit Hilfe von Jahrringen. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 146 (8), 641-659, 1995
- SCHÖNEBERGER, W.: Ökologie der natürlichen Verjüngung von Fichte und Bergföhre in Lawinenzügen der nördlichen Voralpen. Mitteilungen der Eidgenössische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen 54 (3), 217-320, 1978
- SIMONSE, M.; ASCHOFF, T.; SPIECKER, H.; THIES, M.: Automatic Determination of Forest Inventory Parameters Using Terrestrial Laserscanning. Proceedings of the ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests. Umeå. pp. 251- 257, 2003
- STEUCEK, G.L.; KELLOGG, R.M.: The Influence of a Stem Discontinuity on Xylem Development in Norway Spruce, *Picea abies*. Canadian Journal of Forest Research 2 217-222, 1972
- THIES, M.; ASCHOFF, T.; SPIECKER, H.: Terrestrische Laserscanner im Forst. AFZ-DerWald. 22/2003, 2003
- WESTING, A.H.: Formation and Function of Compression Wood in Gymnosperms. The Botanical Review 31 381-480, 1965
- ZOLLER & FRÖHLICH: Technische Daten IMAGER 5003. www.zf-laser.com. Stand: 01.03.2006, 2006