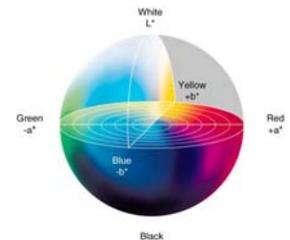


Oberflächencharakterisierung von Gebirgsholz



Durchgeführt am Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe
Universität für Bodenkultur Wien

Projektleitung: Alfred Teischinger und Christoph Buksnowitz

Praktische Umsetzung: Robert Stingl, Gerhard Emsenhuber
Marie Louise Zukal und Anton Wegscheider



Inhalt

Einleitung	3
Projektbeschreibung	4
Material	5
Herkunft und Umfang des Probenmaterials	5
Einschnitt und Trocknung des Probematerials	5
Referenzmaterial	6
Probenpräparation	7
Untersuchungs- und Auswertungsmethoden	8
Farbmessung	8
Bestimmung des Eindruckwiderstands oder „Härte nach Brinell“	10
Oberflächenrauigkeit	11
Bestimmung des Kontaktwinkels	15
Ergebnisse	17
Dichte, Jahrringanzahl und Jahrringlage	18
Holzfarbe an der Oberfläche	22
Oberflächenhärte nach Brinell	25
Rauigkeit der Oberfläche	27
Kontaktwinkel an der Oberfläche	31
Zusammenfassung	33
Weiterführende Literatur	34
Verwendete und weiterführende Normen	35
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	36
Impressum	38

Einleitung

Um im grenzübergreifenden Raum Tirol (Nord-, Ost- und Südtirol) die Vermarktungsmöglichkeiten von Holz aus höheren und schwieriger zu bewirtschaftenden Gebieten zu unterstützen und damit die regionale Wertschöpfung zu verbessern, wurde das Interreg-IV-A Forschungsprojekt „Gebirgsholz – Wald ohne Grenzen“ ins Leben gerufen. Zusammen mit dem Cluster Holz & Technik in Südtirol (TIS – Techno Innovation Südtirol KAG), welcher im Projekt als Lead-Partner fungiert, wurden und werden Informationen und Daten zum Themenbereich Gebirgsholz gesammelt und noch nicht näher erforschte Eigenschaften dazu auf wissenschaftlicher Basis untersucht. Hierzu gehört auch eine Charakterisierung der Holzoberfläche, die Aussagen über die Farbgebung, der Oberflächenhärte oder weitere Oberflächenspezifika erlauben.

Wien, im November 2010

Projektbeschreibung

Projektbezeichnung:	<p>Gebirgsholz – Wald ohne Grenzen; deutliche Verbesserung des Marktwertes Süd-, Ost- & Nordtiroler Gebirgshölzer und ausgewählter Holz-Nischenprodukte</p> <p>Legname di montagna - foreste senza confini; valorizzazione del legname di montagna in Tirol (Sud, Nord e orient.); prodotti di nicchia scelti</p>
Lead-Partner:	Cluster Holz und Technik (TIS Techno Innovation Südtirol KAG)
Projektpartner:	Holzcluster Tirol bzw. proHolz Tirol
Assoziierte Partner:	<p>Amt der Tiroler Landesregierung (Abteilung Forstorganisation)</p> <p>Waldverband Tirol</p> <p>Fachgruppe Holzindustrie Tirol</p>
Wissenschaftliche Partner:	<p>Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften</p> <p>Arbeitsbereich Holzbau</p> <p>Universität Innsbruck - Fakultät für Bauingenieurwissenschaften</p> <p>Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe</p> <p>Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik</p> <p>Universität für Bodenkultur Wien</p>
Projektbeschreibung:	<p>Mit dem Interreg IV Projekt zwischen Italien-Österreich sollen die positiven Eigenschaften von Gebirgsholz im Vergleich zu Tieflagenholz ersichtlich gemacht werden, um den höheren Produktionskosten von Gebirgsholz Rechnung zu tragen.</p> <p>Um die Eigenschaften von Gebirgsholz ausfindig zu machen, sieht das Projekt eine Sammlung vorhandener Studien zum Thema Gebirgsholz vor. Die Erfahrungen der Holzbe- und verarbeitenden Betriebe auf Nord-Ost-Tiroler bzw. Südtiroler Seite werden gesammelt, um Informationsdefizite ausfindig zu machen und vorhandenes Erfahrungswissen durch wissenschaftliche Erkenntnisse zu untermauern.</p> <p>Das Projekt sieht die Beschaffung von Holzprobekörpern entlang definierter Höhenstufen vor, welche den Einfluss mehrerer Parameter wie beispielsweise Exposition (Sonn- / Schattseite) oder Geologie berücksichtigen und somit die Veränderbarkeit der technologischen Eigenschaften von Gebirgsholz aufzeigen. Weitere Untersuchungsbereiche sind die Ausarbeitung einer Öko- und Energiebilanz von Gebirgsholz, die den gesamten Lebenszyklus von Gebirgsholz berücksichtigt oder eine genaue Charakterisierung der Holzoberfläche.</p> <p>Neben der Bereitstellung von wissenschaftlichen Erkenntnissen zu Gebirgsholz, liegt der Mehrwert für die Holzbe- und verarbeitenden Betriebe in der Weckung von Emotionen beim Konsumenten nach Holz aus den Alpen (Stauder 2010).</p>

Material

Herkunft und Umfang des Probenmaterials

Für die Beschaffung des Probenmaterials wurden insgesamt 130 Fichtenholzblöcke aus den beiden Wuchsgebieten Navis und Pustertal (mittlerer Mittendurchmesser bei Holzschlägerung $d = 37,9$ cm) entnommen. Tabelle 1 zeigt den Umfang des Probenmaterials in Abhängigkeit von Herkunft, Höhenlage und Exposition (Holzknecht 2010).

Tabelle 1 - Umfang des Probenmaterials (standortbezogen)

Standort	Nordhang				Südhang			
	Bez.	Höhe [m ü.d.M.]	Anzahl der Blöcke	Anzahl der Prüfkörper	Bez.	Höhe [m ü.d.M.]	Anzahl der Blöcke	Anzahl der Prüfkörper
Navis (Nordtirol)	1N	1060	7	28	-	-	-	-
	2N	1190	6	24	1S	1160	9	36
	3N	1380	7	28	2S	1400	9	34
	4N	1620	9	36	3S	1600	12	28
	5N	1700	7	26	4S	1780	12	28
Summen Nordtirol:			36	142			42	126
Pustertal (Südtirol)	1B	820	4	16	1A	810	4	16
	2B	1010	4	16	2A	1030	4	16
	3B	1250	4	16	3A	1190	4	16
	4B	1380	4	16	4A	1390	4	16
	5B	1630	4	16	5A	1550	4	16
	6B	1850	4	16	6A	1880	4	16
	-	-	-	-	7A	2060	4	16
Summen Südtirol:			24	96			28	112
Gesamt:			60	238			70	238

Einschnitt und Trocknung des Probenmaterials

Der Einschnitt des Probenmaterials erfolgte im Sägewerk Ebenholz in Ahornach, Sand in Taufers (Ahrntal) in Südtirol. Der Einschnitt der Probekörper (Länge mit Übermaß von mindestens 4,15 m) zu Kanthölzern (Querschnittsabmessungen 55 x 150 mm) erfolgte kerngetrennt in Fallrichtung an einer Bandsäge mit einer maximalen Einschnittgeschwindigkeit von 30 bis 50 m/min.

In der Regel wurden 4 Kanthölzer herausgetrennt. Dies war jedoch in den obersten Lagen am Südhang (Nordtirol) aufgrund geringer Baumdurchmesser nicht möglich. Hier konnten lediglich 2 Probekörper entnommen werden.

Das Holz wurde anschließend einer technischen Trocknung bis zu einer Holzfeuchte von circa 12% mit einem üblichen Trocknungsprogramm für Fichte unterzogen.

Referenzmaterial

Zusätzlich zu den Gebirgsholz-Proben aus Tirol wurden als Referenz zwei Tieflagen-Standorte in Ober- und Niederösterreich ausgewählt. Hierzu wurde bei örtlichen Forstbetrieben bzw. Sägewerken Fichtenholz, welches genau standortsmäßig zugeteilt werden konnte, besorgt und in das Probenkollektiv aufgenommen. Im Folgenden werden die Standorte (Abbildung 1) der entnommenen Tieflagen-Fichte beschrieben.

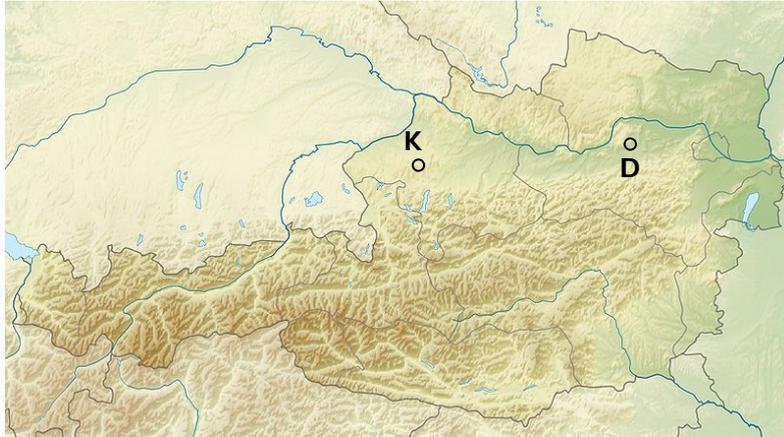


Abbildung 1 - Entnahmeorte des Referenz-Tieflagen-Fichtenholzes in Oberösterreich (K ... Kobernaußerwald) und Niederösterreich (D ... Dunkelsteinerwald)

Standort K (Kobernaußerwald)

Ort: Waldzell (Nordrand des Kobernaußerwaldes)

Standortshöhe: 610 m über Adria

submontan ~300 – 600 m bis tief-
montan 600 – 801 m

Standortentsprechung (Mayer 1992): 7.1

Wuchsgebiet (BFW 2010): 7.1: Nördliches Alpenvor-
land - Westteil

Lage und Umgrenzung: Flachgau - Innviertel - Kobern-
außerwald - Hausruck bis Rand der Traun-Enns-
Platte. Höhenbereich: 313 m (Passau) bis 801 m
(Hausruck: Göblberg)

Natürliche Waldgesellschaften:

- Von Natur aus sind hier nährstoffreiche, leistungs-
fähige Laubmischwald-Standorte verbreitet; die
besseren Standorte sind allerdings unter landwirt-
schaftlicher Nutzung (Äcker, Grünland).
- Ersatzgesellschaften mit Fichte (Rotföhre) nehmen
den größten Anteil an der Waldfläche ein. Die natür-
liche Waldvegetation ist daher vielfach nur schwer
erkennbar. Häufig sind Vergrasungen mit Seegras,
z.T. gibt es auch Degradationen mit Torfmoos,
Pfeifengras

Standort D (Dunkelsteinerwald)

Ort: Neidling (Ostrand des Dunkelsteinerwaldes)

Standortshöhe: 320 m über Adria

kollin 200 - 300 (350) m bis sub-
montan (200) 300 - 500 (650) m

Standortentsprechung (Mayer 1992): 8.2 und 8.3

Wuchsgebiet (BFW 2010): 9.2 - Waldviertel

Lage und Umgrenzung: Niederösterreichischer Teil der
Böhmischen Masse, einschließlich Dunkelsteiner
Wald, Höhenbereich: 205 m (Dürnstein) bis 1060 m
(Ostrong)

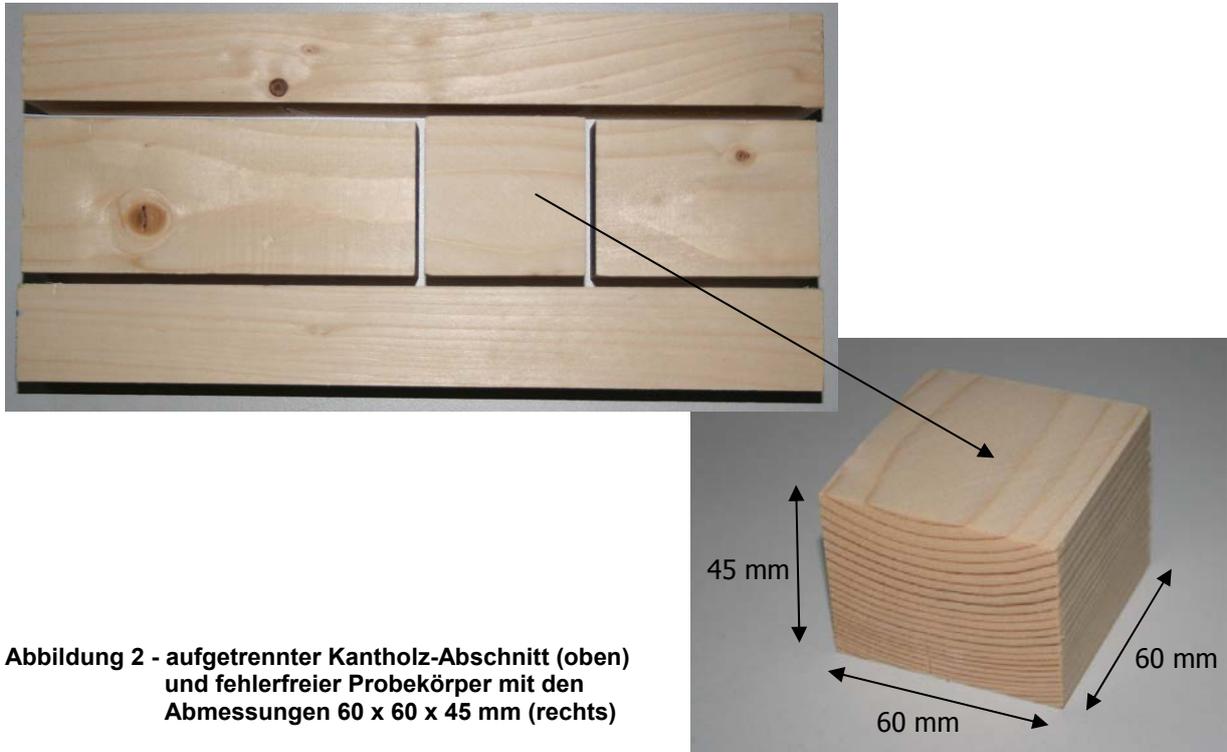
Natürliche Waldgesellschaften:

- Subherzynisches Fichten-Tannen-Buchen-Misch-
waldgebiet mit vergleichsweise hohem Fichtenanteil
und kühl-borealen Florenelementen. Der Effekt der
Klimadepression auf die Vegetation wird durch das
saure Substrat (Granit, Gneis) verstärkt
- In den tieferen Randlagen gibt es auch reiche
Eichen-Buchen-Mischwaldgesellschaften. Fichten-
forste sind hier besonders gefährdet. Verbreitet sind
sekundäre Rotföhrenwälder und anthropogene
Fichten-Ersatzgesellschaften
- Lokal (Wachau) Flaumeichen-Buschwald auf trok-
ken-warmen Karbonatstandorten der kollinen Stufe
- Auwälder an der Donau (Wachau): Silberpappel-Au,
Schwarzpappel-Au und Hartholz-Au mit Esche,
Feldulme und Stieleiche

Informationsquelle: Kilian et al. 1994

Probenpräparation

Aus jedem der 476 Kantholz-Abschnitten (Länge ca. 30 cm, Abbildung 2 links) und den zusätzlichen 40 Referenzhölzern (Abbildung 1) wurde ein fehlerfreies Probestücke (Abbildung 2 rechts) mit den Abmessungen 60 x 60 x 45 mm heraus präpariert und die Oberflächen mit einem frisch geschärften Messer gehobelt.



Abschließend wurden die Proben beschriftet und eine letzte Qualitätsbeurteilung (um den Einfluss durch „Holzfehler“ ausschließen zu können) durchgeführt. Das Probenmaterial wurde in einem verdunkelten Klimaraum bei 20°C Raumtemperatur und 65% relativer Luftfeuchte (Normklima) für mindestens 30 Tage gelagert, sodass sich eine konstante Holz-Ausgleichsfeuchte von cirka 12% eingestellt hatte.

Untersuchungs- und Auswertungsmethoden

Farbmessung

Mit Hilfe des Farbmessgerätes Chroma-Meter CR-410 von Konica Minolta (Abbildung 3) wurde die Farbe der gehobelten Probenoberfläche vermessen. Technische Beschreibung des Messgerätes bzw. der Farbmessparameter (ISO 7724, ISO/CIE 10527, DIN 5033) sind in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2 - Technische Beschreibung des Messgerätes Chroma-Meter CR-410 und die angewendeten Farbmessparameter (ISO 7724, ISO/CIE 10527, DIN 5033)

Lichtquelle	Xenon Blitzlampe
Empfänger	6 Silizium-Fotodioden - je 3 für Messungen bzw. Beleuchtungskontrolle - gefiltert für die Primär-Empfindungswerte von rotem, grünem und blauem Licht (DIN 5033-6)
Beobachter	CIE: 2° Standard-Beobachter (ISO/CIE 10527)
Normlichtarten	CIE: D65 (DIN 5033-8)
Messgeometrie	Großflächige Beleuchtung / 0° Beobachtung; mit Glanzeinschluss
Mess-/Beleuchtungsfläche	Kreisfläche, 50 mm Durchmesser



Abbildung 3 - Messgerät Chroma-Meter CR-410 (links) mit einer kreisförmigen Messfläche - Durchmesser 50 mm (rechts)

Die Auswertung erfolgte mit Hilfe des $L^*a^*b^*$ bzw. $L^*C^*h^\circ$ Farbsystemes. Es handelt sich hierbei um ein standardisiertes, gleichabständiges, geräteunabhängiges System, welches auf der menschlichen Wahrnehmung von Farben aufbaut (ISO 7724-3).

Die a- und b-Achse bilden eine Ebene, wobei die Skala beider Achsen einen Bereich von -128 bis +127 umfasst. Hierbei repräsentieren negative a-Werte grüne und positive a-Werte rote Farben. Auf der b-Achse befinden sich im negativen Bereich alle Blau- und im positiven Bereich alle Gelbtöne. Vertikal zur a- und b-Ebene verläuft die Helligkeitsachse L (L ... Luminance - Helligkeit oder Leuchtdichte). Ein L-Wert von 0 ergibt Schwarz und ein L-Wert von 100 Weiß.

Die Farben sind für den Menschen nur in einem farbspezifisch unterschiedlichen Bereich wahrnehmbar. So kann sichtbares Gelb b^* -Werte von über 100 erreichen, Blau hingegen nur b^* -Werte um -50. Daher ergibt sich eine sehr unregelmäßige Form des Farbraums, die durch die übliche Darstellungsweise als Zylinder oder Kugel stark vereinfacht wiedergegeben werden kann (Abbildung 4 links).

Der $L^*C^*h^\circ$ -Farbraum ist im eigentlichen Sinne kein eigener Farbraum. Es werden nur anstelle der kartesischen Koordinaten a^* und b^* die Polarkoordinaten C^* (C^* ... Chroma - Buntheit, relative Farbsättigung) und h° in Grad (h° ... Hue - Buntonwinkel oder Winkel des Farbtons in Grad) angegeben. Die Helligkeit L^* bleibt dabei unverändert (Abbildung 4 rechts).

Daraus ergibt sich, dass Farborte, die auf derselben Kreislinie um die L^* -Achse liegen, die gleiche Buntheit C^* und Farborte, die auf demselben Radiusstrahl liegen, den gleichen Farbton h° besitzen.

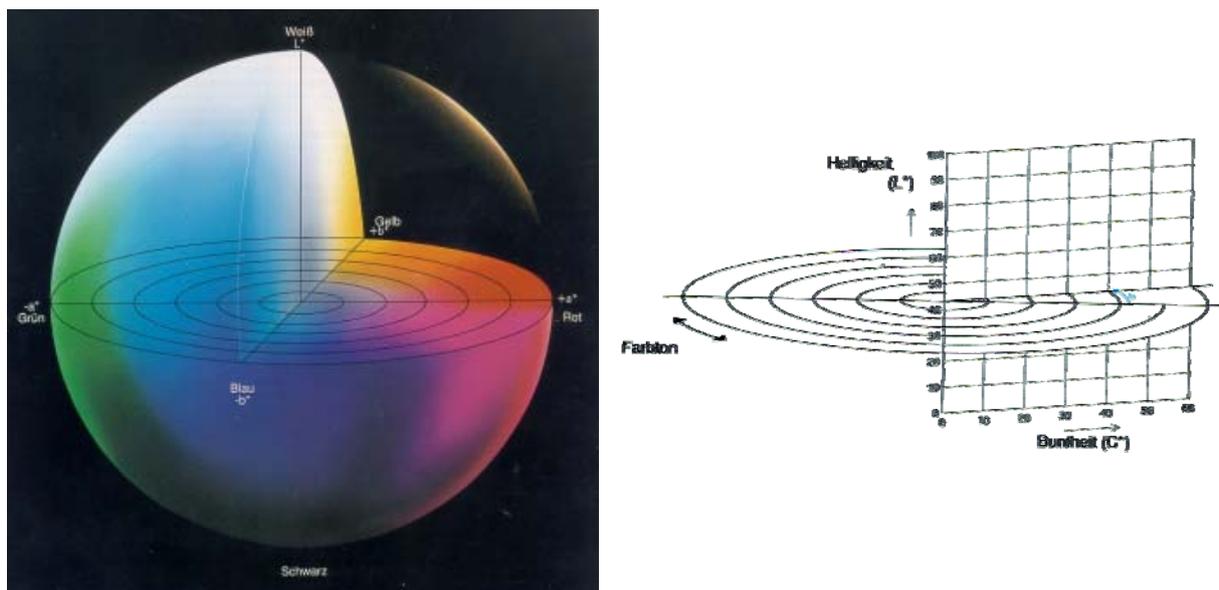


Abbildung 4 - schematische Darstellung des $L^*a^*b^*$ - Farbsystemes (links) und das darauf aufbauende $L^*C^*h^\circ$ - Farbsystem (rechts)

Bestimmung des Eindruckwiderstands oder „Härte nach Brinell“

Zur Bestimmung des Eindruckwiderstandes bzw. der Oberflächenhärte nach Brinell normal zu Faser (HB_{\perp}) wurde eine Universal-Prüfmaschine der Firma Zwick mit entsprechendem Equipment für Härteprüfung herangezogen. Hierzu wurde ein Eindringkörper (Stahlkugel mit einem Durchmesser D von 10 mm) mit einer Kraft F von 500 N (Kraftaufbringzeit ca. 8 Sekunden) für circa 25 Sekunden in die Holzoberfläche gepresst. Nach einer Wartezeit von circa 3 Minuten wurden 2 Durchmesser (im Winkel von 90° zueinander) des kreis- bis ellipsenförmigen Abdruck bestimmt. Der gemittelte Durchmesser d des Abdruckes und sowie den vorliegenden Daten konnte die Brinellhärte (HB) nach Formel 1 ermittelt werden (Abbildung 5).

$$HB = \frac{2 F}{\pi D \left[D - \left(D^2 - d^2 \right)^{0,5} \right]} \quad (1)$$

Auf Grund der geringen Härte von Fichtenholz musste die aufzubringende Kraft von 1 kN auf 500 N reduziert werden. Bei einer normgemäßen Belastung von 1000 N wäre ein Eindringkörper-Durchmesser von 10 mm nicht ausreichend gewesen und hätte nicht zulässige Daten ergeben. So wurde die Prüfung auf Basis von EN 1534 mit reduzierter Kraft (500 N) durchgeführt. Dies ermöglicht zwar eine vergleichende Aussage zu den Referenzhölzern, kann aber geringfügige Abweichungen zu üblichen Literaturwerten darstellen.

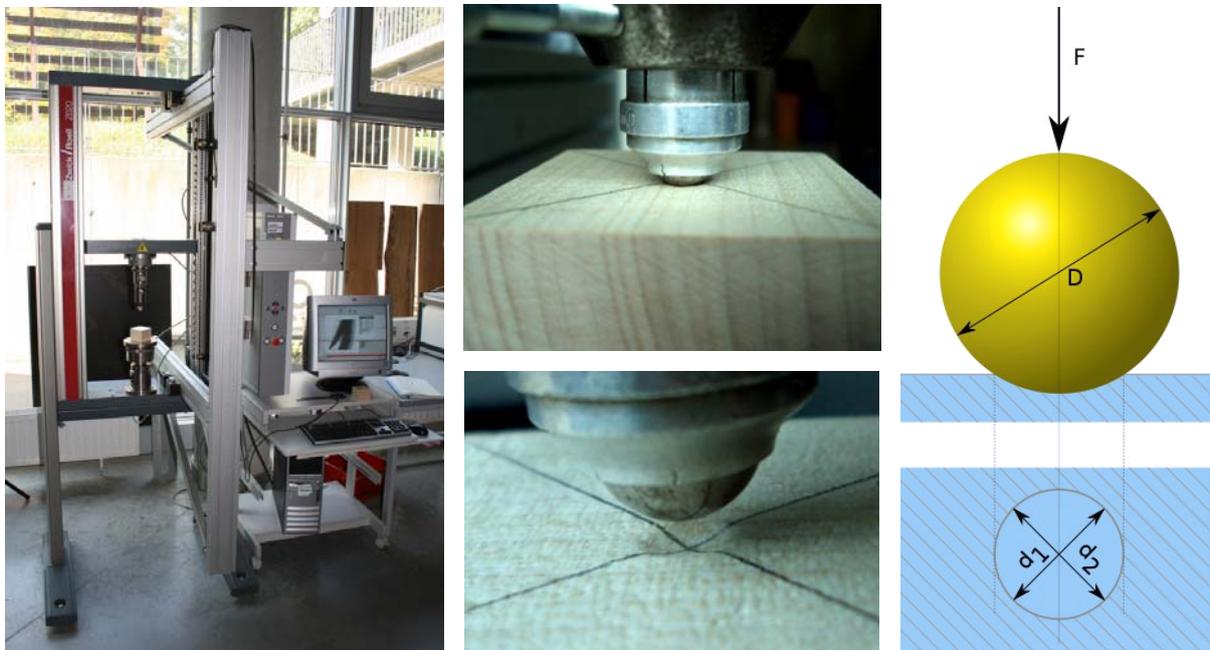
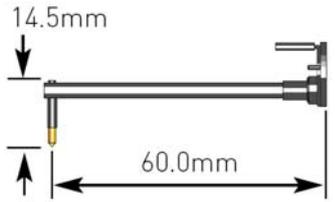


Abbildung 5 - Universal-Prüfmaschine mit Härteprüfungs-Equipment (links), Abdruck der Stahlkugel auf der Holzoberfläche (Mitte), schematische Darstellung der Brinellhärte-Prüfung (rechts)

Oberflächenrauigkeit

Zur Ermittlung der Oberflächenrauigkeit der gehobelten Gebirgsholz-Proben wurde das Oberflächenanalysegerät Form Talysurf (2) 50i der Firma Taylor-Hobson (Abbildung 6) verwendet. Technische Daten zum Gerät und zu den Messungen werden in Tabelle 3 erläutert.

Tabelle 3 - Technische Beschreibung des Oberflächenanalysegeräts Form Talysurf (2) 50i

max. Vorschublänge	120 mm
Vorschubgeradigkeit	1,0 µm bei Messlänge 120 mm 0,5 µm bei Messlänge 60 mm
Messgeschwindigkeit	0,5 mm/Sek. und 1,0 mm/Sek.
vertikale Messbereich	1,0 mm bei 60 mm Taster 2,0 mm bei 120 mm Taster
Auflösung (vertikale Datenauflösung)	16,0 nm bei 1 mm Messbereich
Taster 	Standarddiamanttaster Spitzenform: konisch Spitzenwinkel: 90° Spitzenradius: 2 µm Tasterlänge (Armlänge): 60 mm Testkraft: 0,7 bis 1 mN
Kalibrierung	Halbkugel 12,5 mm Nennradius
Kalibrierunsicherheit Pt	0,25 µm für oben beschriebenen Standarddiamanttaster

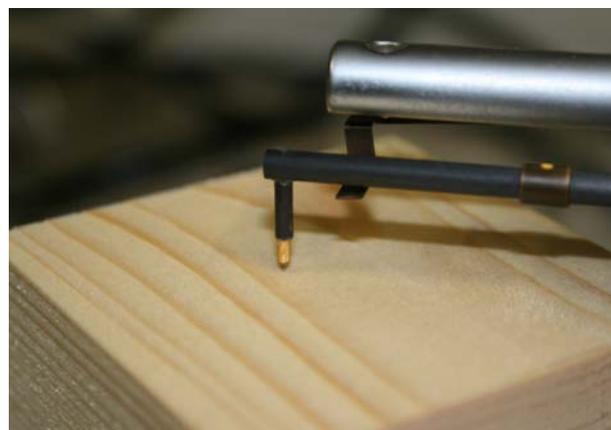


Abbildung 6 - Oberflächenanalysegerät Form Talysurf (2) 50i (links), Taster mit Diamantspitze auf einer Probenoberfläche (rechts)

Die Datenaufnahme, d.h. die Ermittlung des Rauigkeitsprofils, erfolgte nach ISO 4287 (entspricht DIN 4768) und ISO 4288. Da bei Vorversuchen an einigen Proben festgestellt wurde, dass die Rauigkeit der Proben sehr ähnlich ist, konnte eine gleiche Grenzwellenlänge λ_c von 2,5 mm festgelegt werden (Tabelle 4). Mit Hilfe der Grenzwellenlänge, auch als Rauigkeits-Cut-off l_e bezeichnet, werden langwellige Anteile des Ist-Rauigkeitsprofils, welche durch die Bearbeitung entstehen können (z.B. Hobelschlag), entsprechend der Filtercharakteristik teilweise oder gar nicht in das Messergebnis übernommen.

Tabelle 4 - Festlegung der Grenzwellenlänge λ_c nach ISO 4287

PERIODISCHE PROFILE	APERIODISCHE PROFILE		GRENZWELLEN-LÄNGE	EINZEL-/GESAMTMESS-STRECKE
Rillenabstand S_m (mm)	Rz (μm)	Ra (μm)	λ_c (mm)	l_r/l_n (mm)
>0.01 bis 0.04	bis 0.1	bis 0.02	0.08	0.08/0.4
>0.04 bis 0.13	>0.1 bis 0.5	>0.02 bis 0.1	0.25	0.25/1.25
>0.13 bis 0.4	>0.5 bis 10	>0.1 bis 2	0.8	0.8/4
>0.4 bis 1.3	>10 bis 50	>2 bis 10	2.5	2.5/12.5
>1.3 bis 4	>50	>10	8	8/40

In weiterer Folge konnte nun die Messstreckenlänge l_t mit ca. 18 mm festgelegt werden. Diese setzt sich aus 5 separat bewerteten Rauigkeits-Cut-offs l_e und einer Vorlauf- und Nachlaufstrecke (entsprechen jeweils cirka einer Rauigkeits-Cut-off-Länge) zusammen (Abbildung 7). Die Vorlaufstrecke hat die Funktion, dass der Messfühler bzw. -taster auf die richtige Messgeschwindigkeit anlaufen kann und die dabei entstehenden Eigenschwingungsvorgänge abklingen.

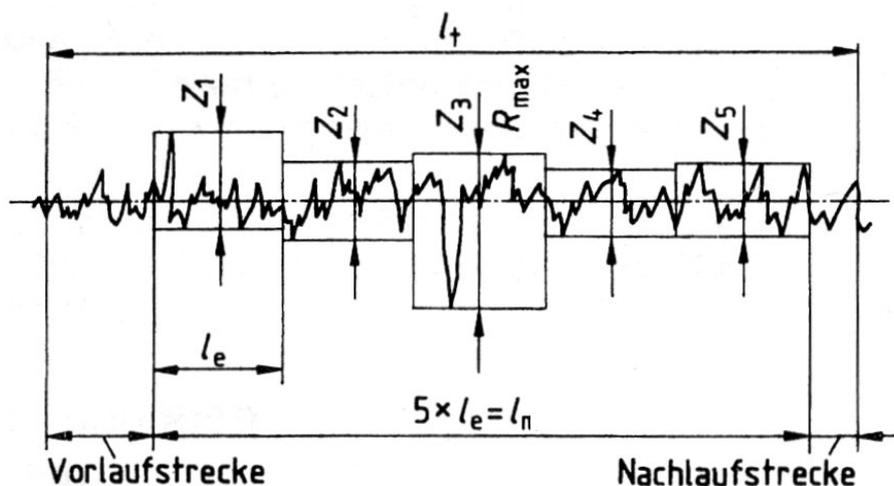


Abbildung 7 – Zusammensetzung der Messstreckenlänge l_t (nach ISO 4287)

Um bei der Datenaufnahme unerwünschte bzw. „falsche“ Schwingungen zu eliminieren, wurden die Rohprofile mit Hilfe einer Fouriersynthese einer Filterung unterzogen. Bei diesen Untersuchungen wurde der normierte Filter 2CR PC eingesetzt, der eine Durchlässigkeit von 75 Prozent zu einem gewählten Cut-off ergibt. Dieses Filter-Übertragungsverhalten bedeutet, dass die Amplitude der Unregelmäßigkeit mit dem gleichen Abstand der Cut-off-Länge auf 75 Prozent ihres wahren Wertes reduziert wird. Die Amplitude kürzerer Grenzwellenlängen-Unregelmäßigkeiten bleibt fast unverändert, hingegen werden die Amplituden längerer Unregelmäßigkeiten progressiv stärker reduziert (Abbildung 8).

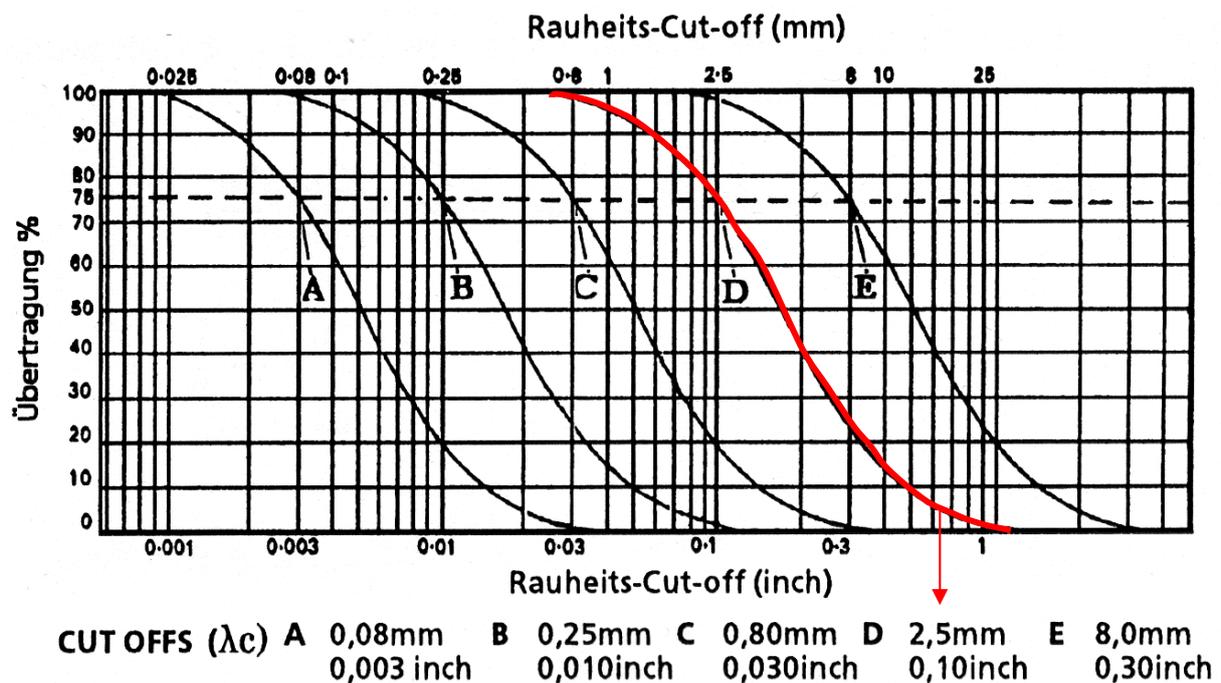


Abbildung 8 - Filter-Übertragungsverhalten eines 2CR PC - Filters (Quelle: Taylor Hobson,1997)

Um die Rauigkeit der einzelnen Proben bzw. der verschiedene Probenkollektive (z.B. Proben des gleichen Standortes oder Höhenstufe) vergleichbar zu machen, wurden die im Folgenden beschriebenen Rauigkeitskenngrößen ermittelt.

Der arithmetische Mittenrauhwert (R_a) ist das arithmetische Mittel der Abweichungen des Rauheitsprofils von der Mittellinie (Abbildung 9) und ist in Formel (2) dargestellt.

Der quadratische Mittenrauhwert (R_q) ist das quadratische Mittel der Abweichungen des Rauheitsprofils von der Mittellinie (Abbildung 9) und ist in Formel (3) dargestellt.

$$R_a = \frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} |z(x)| dx \quad (2)$$

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l_r} \int_0^{l_r} z^2(x) dx} \quad (3)$$

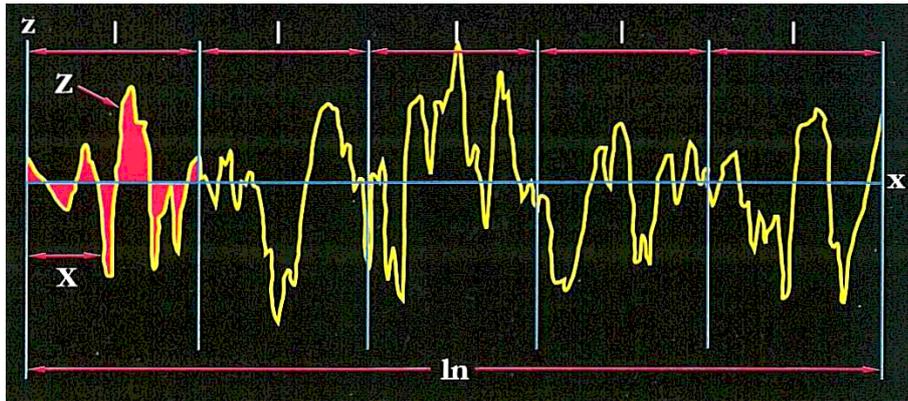


Abbildung 9 - Darstellung des arithmetische Mittenrauhwert (R_a) und quadratische Mittenrauhwert (R_q) (Quelle: Taylor Hobson,1997)

R_v ist die maximale Tiefe des Profils bezogen auf die mittlere Linie innerhalb einer Messstrecke (Abbildung 10).

R_{tm} oder R_z (Formel 4) ist der Durchschnitt aller R_{ti} -Werte (maximale Spitze-zu-Tal-Höhe), welche innerhalb der Messstrecke ermittelt wurden (Abbildung 10).

$$R_z \equiv R_{tm} = \frac{R_{t1} + R_{t2} + R_{t3} + R_{t4} + R_{t5}}{5} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} R_{ti} \quad (4)$$

N ist die Anzahl der Cut-off-Längen (üblicherweise 5)

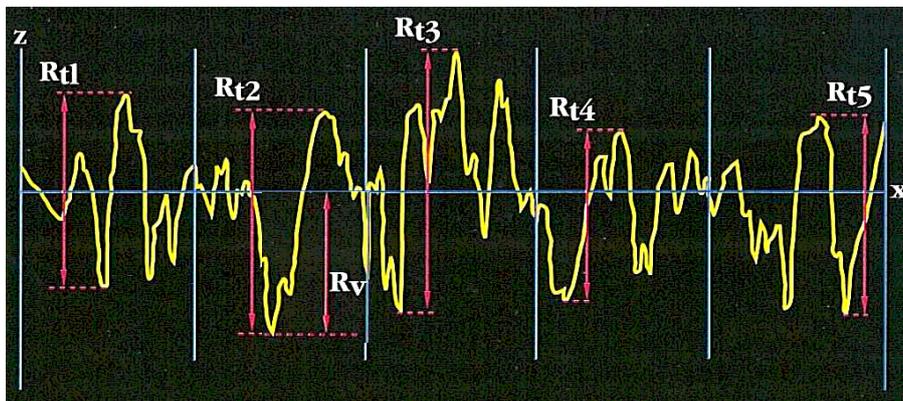


Abbildung 10 - Darstellung der maximalen Tiefe R_v und der durchschnittlichen Spitze-zu-Tal-Höhe (R_{tm}) (Quelle: Taylor Hobson,1997)

Bestimmung des Kontaktwinkels

Die Kontaktwinkelmessung ist ein physikalisch-oberflächenanalytisches Verfahren zur Untersuchung des Benetzungsverhaltens und der oberflächenenergetischen Eigenschaften von Festkörpern. Die Bestimmung des Kontaktwinkels an der Phasengrenze fest-flüssig-gasförmig ist eine der empfindlichsten Methoden der Oberflächencharakterisierung. Daher kam das am Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe speziell entwickelte Messgerät (Abbildung 12, oben) mit Analyse-Software (DSA1 v 1.90) der Firma Krüss zum Einsatz.

Um chemische Reaktionen zwischen Festkörper und Flüssigkeit bzw. das Anlösen und Anquellen des Festkörpers durch die Flüssigkeit während der Messung weitgehend zu unterbinden, wurde das Verfahren der fortschreitenden (dynamischen) Kontaktwinkelmessung angewandt. Bei dieser Methode bleibt die Spritze während der ganzen Messung im Tropfen. Das Tropfenvolumen wird durch automatische Zudosierung erhöht – so wandert der Tropfen über die Oberfläche und eine immer frische Oberfläche wird benetzt.

Am Tropfenrand, dem Dreiphasengrenzgebiet, wirken die Oberflächenspannung des Festkörpers γ_S , die Grenzflächenspannung γ_{SL} und die Oberflächenspannung der Flüssigkeit γ_L (Abbildung 11, links). Anhand dieser Spannungen formt sich der Tropfen entsprechend aus und ermöglicht die Messung des Kontaktwinkels.

Der Messvorgang läuft folgendermaßen ab: Ein Tropfen destillierten Wassers (polare Flüssigkeit) mit einem Volumen von circa 3-5 μl wird mit einer Nadel (Nadelspitzenöffnung circa 0,5 mm) auf die gehobelte Holzoberfläche aufgesetzt. Die Nadelspitze bleibt während des gesamten Messvorganges im Tropfen und ermöglicht somit eine konstante Nachdosierung (5 und 15 $\mu\text{l}/\text{min}$) der Flüssigkeit. Dabei wächst der Tropfen an und die Grenzfläche wandert nach außen (Abbildung 11, rechts).

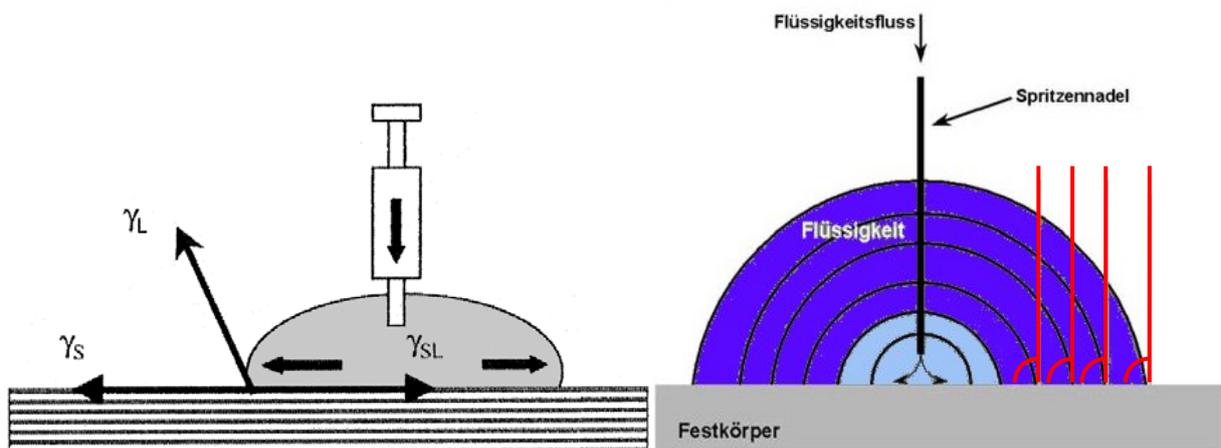


Abbildung 11 - Darstellung der Spannungen am Tropfenrand (links), Tropfenbildung während des Messvorganges (rechts) (Quelle: Sinn et al. 2002 - links, Krüss 2006 - rechts)

Während dieses Vorgangs wird der Fortschrittwinkel (der laufend neuausgeprägte Kontaktwinkel) mitgemessen (5 Messungen pro Sekunde). Im Anfangsbereich ist der gemessene Winkel noch nicht unabhängig vom Tropfenvolumen, weil der Nadelkontakt Auswirkungen auf die Tropfenform hat. Daher wurde die Datenaufzeichnung erst nach Ausbildung einer geeigneten Tropfenform gestartet. Fortschrittwinkel simuliert die immer wieder neue Bildung der Oberfläche den Kontaktwinkel, der sich direkt nach dem Entstehen des Kontaktes von Flüssigkeit und Oberfläche einstellt. Die Messung ist daher die am besten reproduzierbare Art, Kontaktwinkel zu messen.

Mit Hilfe einer hochauflösenden Kamera wurde der stetig wachsende Tropfen aufgezeichnet und die Konturen bestimmt. Das Objektiv blickte im rechten Winkel zur Faserrichtung des Gebirgsholzes auf den zu beobachtenden Wassertropfen. Durch Unterstützung von mathematischen und statistischen Modellen konnten pro Messvorgang 20 bis 30 Fortschreitwinkel bestimmt werden und daraus schließlich ein Kontaktwinkel dargestellt werden (Abbildung 12, unten).

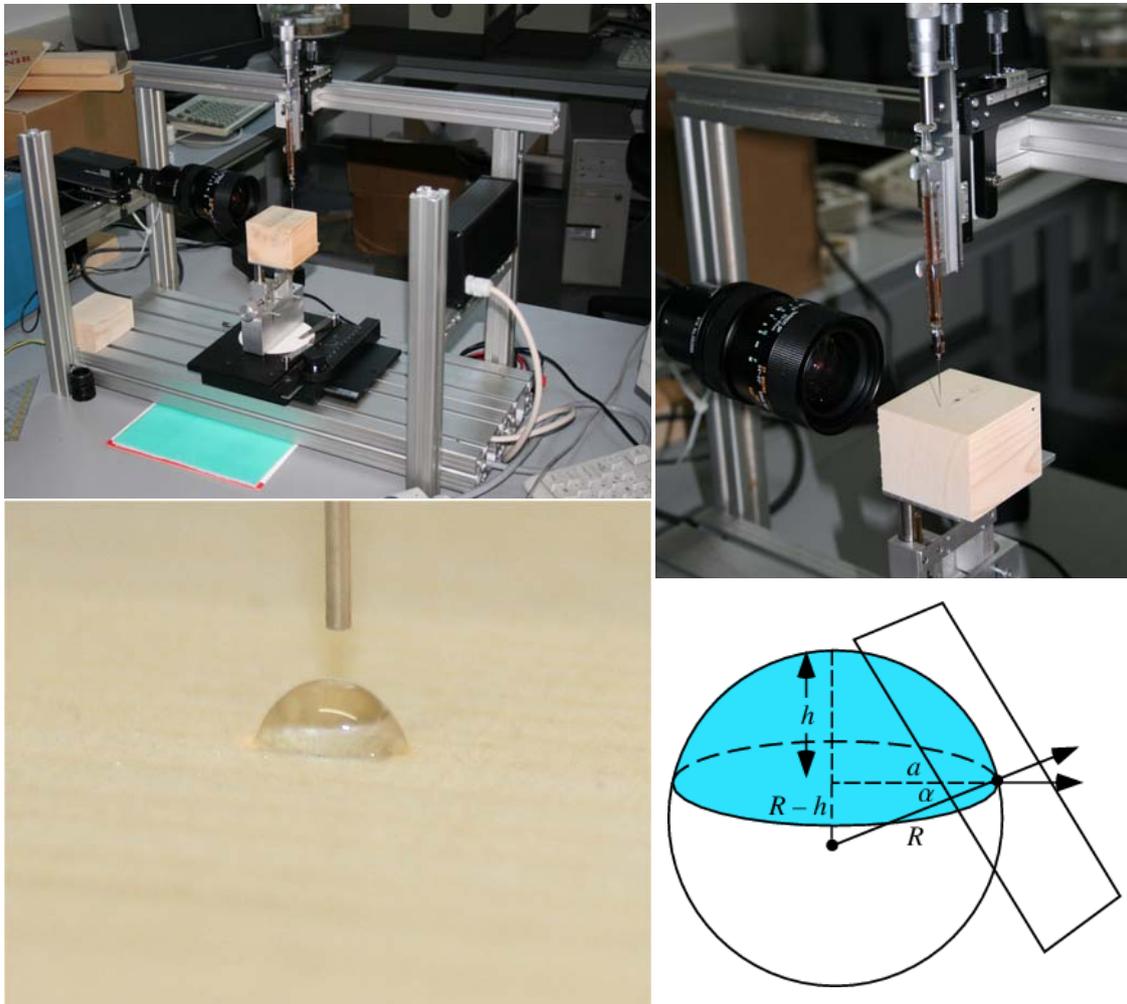


Abbildung 12 - Messaufbau zum Kontaktwinkelmessen (oben), ausgebildeter Tropfen an der Holzoberfläche (unten, links), Berechnung des Kontaktwinkels (unten rechts)

Ergebnisse

Im ersten Teil der Ergebnisse werden einige wichtige holzphysikalische bzw. holzatomische Eigenschaften, die speziell Auswirkung auf die Oberflächencharakteristik besitzen, beschrieben. Die weiteren Ergebnisse wurden in die vier Hauptbereiche der Oberflächenanalyse unterteilt:

- Holzfarbe an der Oberfläche
- Oberflächenhärte nach Brinell
- Rauigkeit der Oberfläche
- Kontaktwinkel an der Oberfläche

Die Auswertung ist hauptsächlich an zwei Hauptstandorte (Navis und Pustertal), an die Hanglage (Nord- bzw. Südhang) und an neun Höhenstufen gekoppelt, wobei die beiden ersten bzw. unteren Stufen (320m und 610m über Adria) als Tieflagen-Referenzen (Standort Kobernauserwald und Dunkelsteinerwald, Abbildung 1) in das laufende Projekt zusätzlich eingeführt wurden (Abbildung 13).

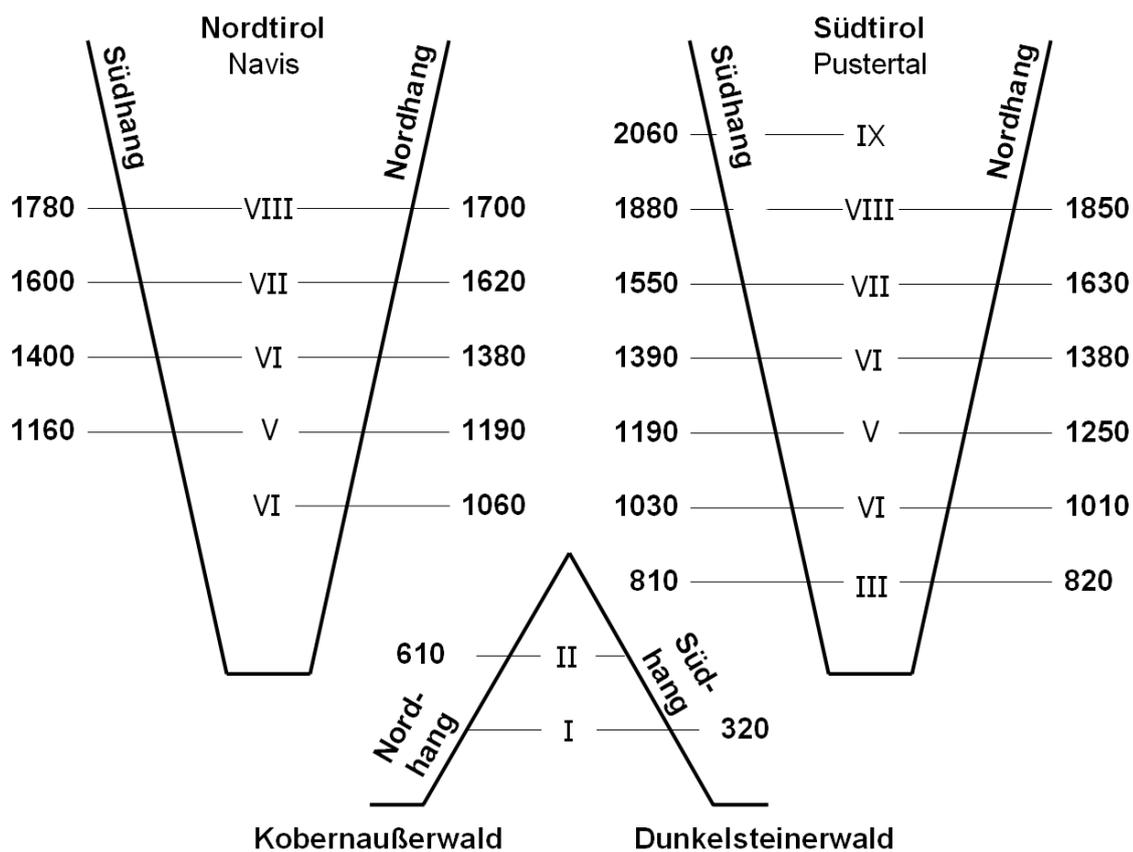


Abbildung 13 - Darstellung der Standorte, der Hanglagen und der Höhenstufen

Dichte, Jahrringanzahl und Jahrringlage

Dichte der Proben

Nach Klimatisierung der Proben im Normklima bei 20°C und 65% relativer Luftfeuchte wurden die Dimensionen und die Masse der Probekörper bestimmt und die Dichte bei einer Holzausgleichsfeuchte von cirka 12% berechnet.

Die Dichte von Gebirgsholz zwischen Nord- und Südtirol unterschied sich nicht signifikant und ergab im Mittel einen Wert von cirka 413 kg/m³. Die Referenzproben hingegen waren stärker standortsabhängig – Proben aus dem Kobernaußerwald wiesen Werte um 438 kg/m³, Holz aus dem Dunkelsteinerwald lag nur bei 389 kg/m³. Der Mittelwert beider Referenzstandort lag bei cirka 406 kg/m³.

Die Variation innerhalb eines Standortes bzw. einer Höhenstufe war oft sehr stark, vereinzelt wurden Dichteunterschied von bis zu 150 kg/m³ verzeichnet. Die höchsten Werte, mit fast 550 kg/m³, wurden bei Gebirgsholz in Nordtirol an einem Südhang in Höhen von cirka 1400m festgestellt. Der geringste Wert (ca. 335 kg/m³) bei Gebirgsholz wurde in Südtirol an einem Südhang in einer Höhe von 810m registriert (Tabelle 5).

Trotz des Trends der Extremwerte konnte bei Gebirgsholz kein signifikanter Zusammenhang zwischen Dichte und der geografischen Höhe der Baumentnahme, festgestellt werden. Die Tieflagen-Referenzhölzer zeigten hingegen einen signifikanten Zusammenhang ($r=0,56$) zwischen Dichte und Höhenlage → je höher, umso dichter. Es kann jedoch der Einfluss anderer Standortparameter (Kobernaußer- und Dunkelsteinerwald liegen 200 km von einander entfernt) nicht ausgeschlossen werden (Abbildung 14).

Im Vergleich mit den Dichteangaben von Fichte der ÖN B 3012, wo ein Mittelwert von 441 kg/m³ (Grenzwerte von 330 bis 680 kg/m³) dokumentiert ist, lagen sowohl die Gebirgsholzproben als auch die Tieflagen-Referenzproben im unteren Bereich.

Tabelle 5 - Dichtewerte [kg/m³] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz

	Mittelwert der Dichte ρ_{12} [kg/m ³]	maximaler Wert ρ_{12} [kg/m ³]	minimaler Wert ρ_{12} [kg/m ³]	Standard- abweichung ρ_{12} [kg/m ³]	Darr- Dichte ρ_0 [kg/m ³]
Gebirgsholz Nordtirol	415	543	342	38,5	385
Gebirgsholz Südtirol	410	524	335	33,8	380
Gesamt Gebirgsholz	413	543	335	36,6	383
Referenz Kobernaußerwald	438	472	415	18,8	407
Referenz Dunkelsteinerwald	389	469	333	42,8	360
Gesamt Tieflagen-Referenz	406	472	333	43,2	377
Gesamtwert aller Proben	412	543	333	37,0	383
Werte laut ÖN B 3012	441	680	330	-	-
XXL-Wood					

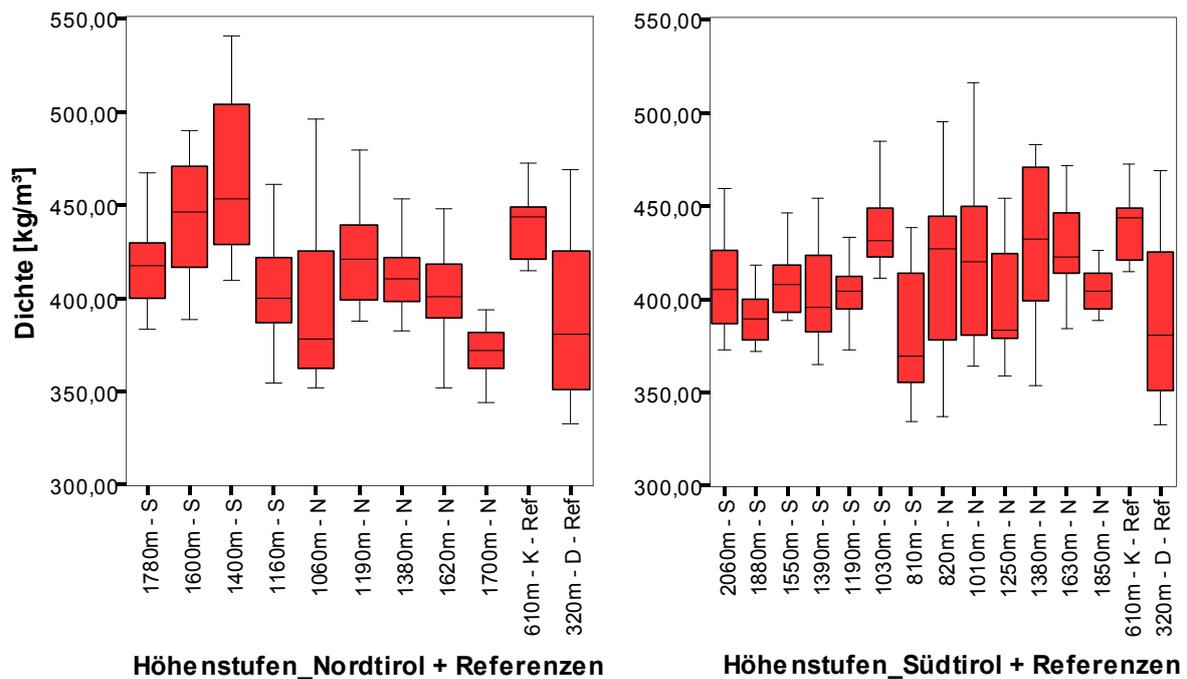


Abbildung 14 - Dichtewerte [kg/m³] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen

Jahrringanzahl an den Proben

Zur Ermittlung der mittleren Jahrringbreite [mm pro Jahrring] wurde eine radiale Messstrecke pro Probe festgelegt und die Anzahl der Jahrringe ermittelt. Aus Länge der Messstrecke und der Jahrringanzahl ließ sich die mittlere Jahrringbreite ermitteln (Abbildung 16).

Die mittlere Jahrringbreite bei fehlerfreiem Gebirgsholz lag in Nordtirol bei circa 2,35 mm und in Südtirol bei circa 2,85 mm. Die beiden Referenzstandorte wiesen mittlere Jahrringbreiten von 2,07 mm (Kobernauberwald) und 2,78 mm (Dunkelsteinerwald) auf. Die jeweiligen Mittelwerte von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz wiesen nur mehr geringe Unterschiede auf.

Wie in Abbildung 15 ersichtlich, zeichnet sich hier eine deutliche Tendenz ab → je höher, desto schmaler die Jahrringe. Diese Aussage ist bei den Gebirgsholzproben, sowohl in Nord- ($r = 0,67$) als auch Südtirol ($r = 0,47$) und den Tieflagen-Referenzproben ($r = 0,74$) abgesichert.

Die Proben aus den Hochlagen (höher als 1600m) zeigen auch nur mehr geringe Unterschiede in den mittleren Jahrringbreiten und liegen alle zwischen 0,8 mm bis maximal 2 mm. In tieferen Lagen wurden in einer Höhenstufe Unterschiede von bis zu 5 mm registriert, das heißt hier wurden Proben mit einer mittleren Jahrringbreite von kleiner als 2 mm und bis zu 7 mm aufgezeichnet.

Tabelle 6 - mittlere und maximale bzw. minimale Jahrringbreiten [mm pro Jahrring] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz

	mittlere Jahrringbreite [mm pro JR]	maximale Jahrringbreite [mm pro JR]	minimaler Jahrringbreite [mm pro JR]	Standardabweichung [mm pro JR]
Gebirgsholz Nordtirol	2,34	5,37	0,81	1,04
Gebirgsholz Südtirol	2,84	6,85	0,89	1,57
Gesamt Gebirgsholz	2,56	6,85	0,81	1,32
Referenz Kobernaußerwald	2,07	2,62	1,28	0,46
Referenz Dunkelsteinerwald	2,78	4,70	1,73	0,85
Gesamt Tieflagen-Referenz	2,52	4,70	1,28	0,81
Gesamtwert aller Proben	2,56	6,85	0,81	1,30
XXL-Wood				

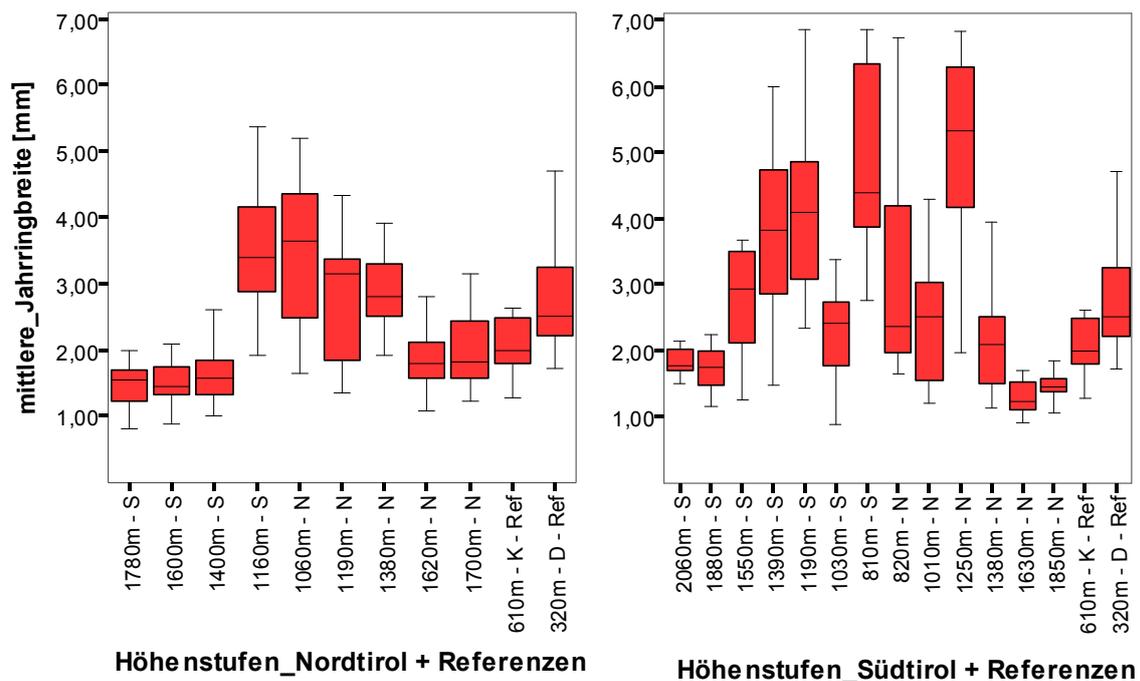


Abbildung 15 - mittlere Jahrringbreiten [mm pro Jahrring] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen

Jahrringlage bei den Proben

Neben Dichte und Jahrringanzahl war die Jahrringlage ein wichtiger beschreibender Parameter der zu untersuchenden Probenoberfläche. Hierzu wurde von jeder Probe der Tangenten-Winkel zur Oberfläche, wo die Messungen durchgeführt wurden, ermittelt (Abbildung 16). Ein Winkel von 0° bedeutet, dass die Jahrringe parallel und ein Winkel von 90° bedeutet, dass die Jahrringe im rechten Winkel zur Oberfläche verlaufen. Die Winkelabmessungen wurden in 5 Kategorien unterteilt und sollen somit die Verteilung der Jahrringlage dokumentieren und zusätzlich die Vergleichbarkeit mit den Referenzproben aufzeigen.

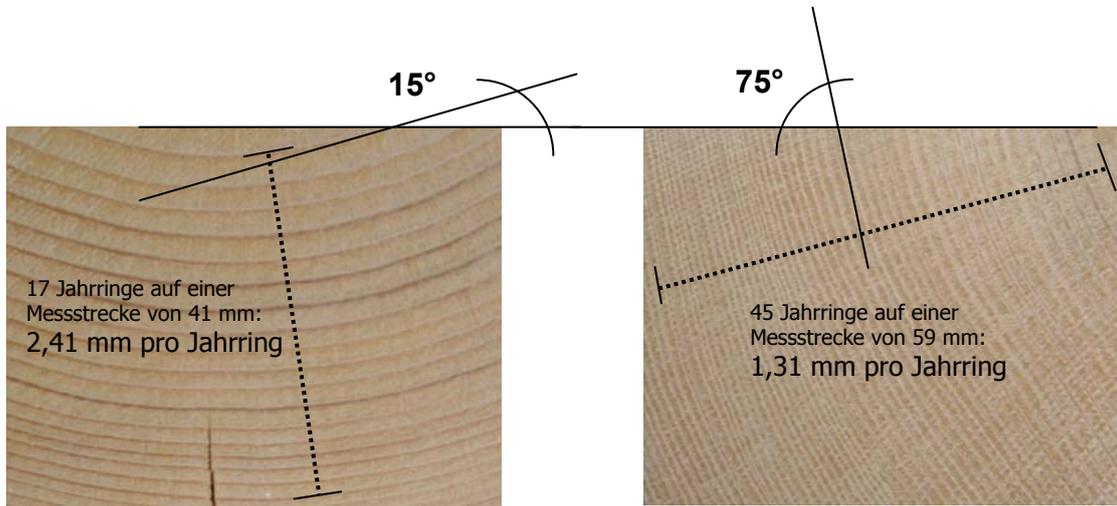


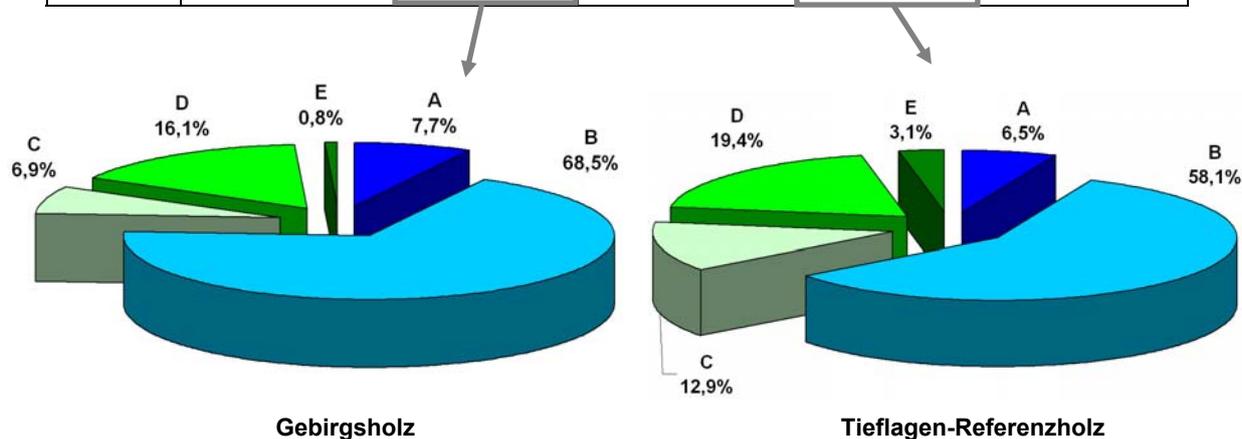
Abbildung 16 - Ermittlung des Tangenten-Winkel zur Oberfläche und der mittleren Jahrringbreite

In Tabelle 7 ist die Verteilung der Jahrringlagen der Gebirgsholzproben und der Tieflagen-Referenzproben aufgezeigt und gegenübergestellt. Circa zwei Drittel der Hölzer besaßen einen Tangenten-Winkel von 6° bis 31° (Kategorie B) - unabhängig ob es sich um Gebirgsholz oder Tieflagen-Referenzholz handelte. Weiters waren die optimal orientierten, das heißt genau nach den anatomischen Hauptrichtungen des Holzes ausgerichteten, Jahrringlagen nur im geringen Umfang vorhanden.

Da zwischen den beiden Gruppen der Gebirgshölzer und der Tieflagen-Referenzhölzer kaum Unterschiede herrschen, ist eine Vergleichbarkeit aus Sicht der Jahrringlage gewährleistet.

Tabelle 7- Verteilung der Winkelkategorien A bis E und die dazugehörigen durchschnittlichen Winkel der einzelnen Kategorien

Kategorie	Tangenten-Winkelbereich [°]	Gebirgsholz		Tieflagen-Referenzholz	
		Verteilung der Kategorien [%]	Durchschnittliche Winkel in der Kategorie [°]	Verteilung der Kategorien [%]	Durchschnittliche Winkel in der Kategorie [°]
A	0 – 5	7,7	4,6	6,5	5,0
B	6 – 31	68,5	17,8	58,1	21,4
C	32 – 57	6,9	41,2	12,9	53,0
D	59 – 84	16,1	71,8	19,4	69,2
E	85 – 90	0,8	87,2	3,1	85,0



Holzfarbe an der Oberfläche

Der letzte Schritt der Probenpräparation war das Hobeln der Oberfläche. Anschließend wurden die Proben für weitere 7 Tage im verdunkeltem Klimaraum (20°C, 65% rel. Luftfeuchte) konditioniert. Gemeinsam mit dem Arbeitsschritt der Dichtebestimmung wurde die Farbe an der Oberfläche der Proben gemessen und mit Hilfe des L*a*b* bzw. L*C*h° Farbsystems ausgewertet.

Helligkeit L* der Proben

Die Helligkeit L* ist in einer Skala von 0 (schwarz) bis 100 (weiß) unterteilt. Aus früheren Messungen, die unter den gleichen Bedingungen am Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe durchgeführt wurden, ist bekannt, dass Fichtenholz Werte zwischen 82 und 85 erreicht, wobei die dunkelsten bzw. hellsten Extremwerte zwischen 76 und 91 gemessen wurden.

Gebirgholz - unabhängig von Standort oder Höhenlage - wies eine mittlere Helligkeit von 83,5 auf (Tabelle 8). Auf Grund der geringen Abweichung der einzelnen Werte ist beim Großteil der Proben das menschliche Auge nicht im Stande einen Unterschied zu erkennen.

Die Tieflagen-Referenzhölzer zeigten zwar den gleichen mittleren Helligkeitswert ($L^* = 83,1$), wiesen aber innerhalb der Gruppe größere Unterschiede auf (Abbildung 17).

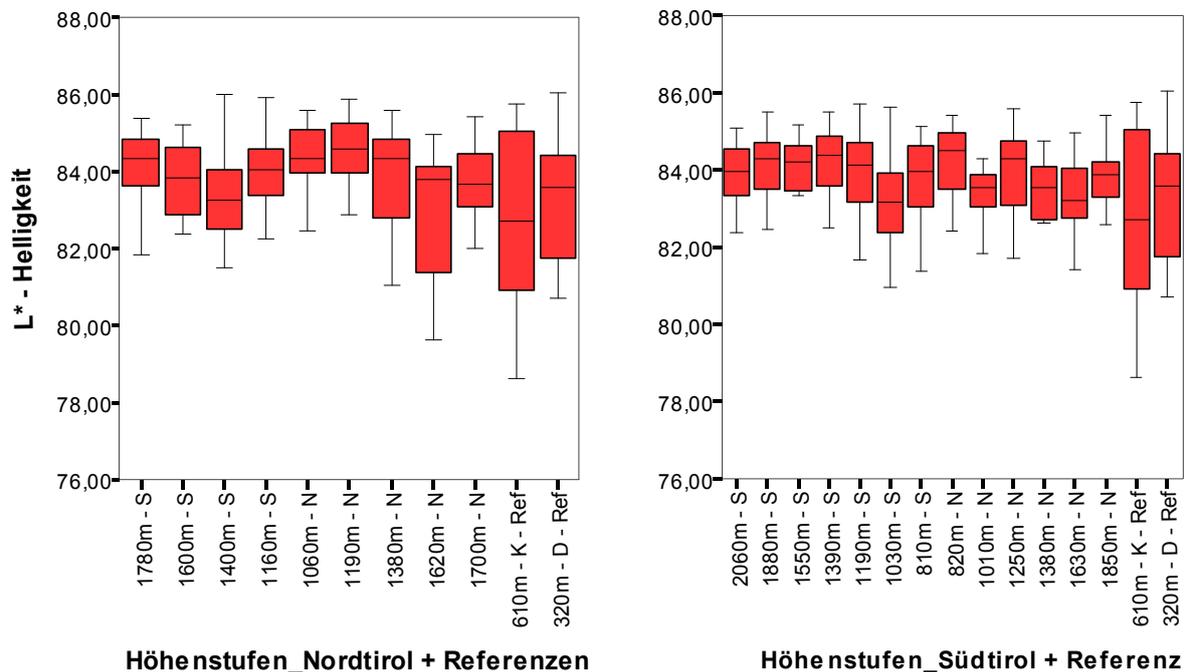


Abbildung 17 - Darstellung des Farbparameters Helligkeit L* [-] von Gebirgholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen

Farbsättigung C* der Proben

Der Farbparameter Farbsättigung ist im Farbtonbereich Orange-Gelb Werte von 0 (grau) bis 110 (maximal kräftige Farbe) für das menschliche Auge sichtbar. Bei Fichtenholz liegen die üblichen Werte zwischen 18 und 23, wobei hier Extremwerte zwischen 16 bis 26 möglich sind.

Die Messungen am Gebirgs Holz ergaben Farbsättigungswerte von circa 21 (Tabelle 8). Die Unterschiede zwischen den beiden Standorten Nord- und Südtirol sind so gering, dass diese mit den menschlichen Sinnen nicht wahrgenommen werden könnte. Es konnte auch kein Zusammenhang mit den Höhenstufen hergestellt werden.

Die Referenzproben zeigten eine geringfügig schwächer ausgebildete Farbsättigung. Die Werte liegen ebenfalls innerhalb der üblichen Grenzen und es kann somit kein Zusammenhang mit Höhelage oder Standort getroffen werden (Abbildung 18).

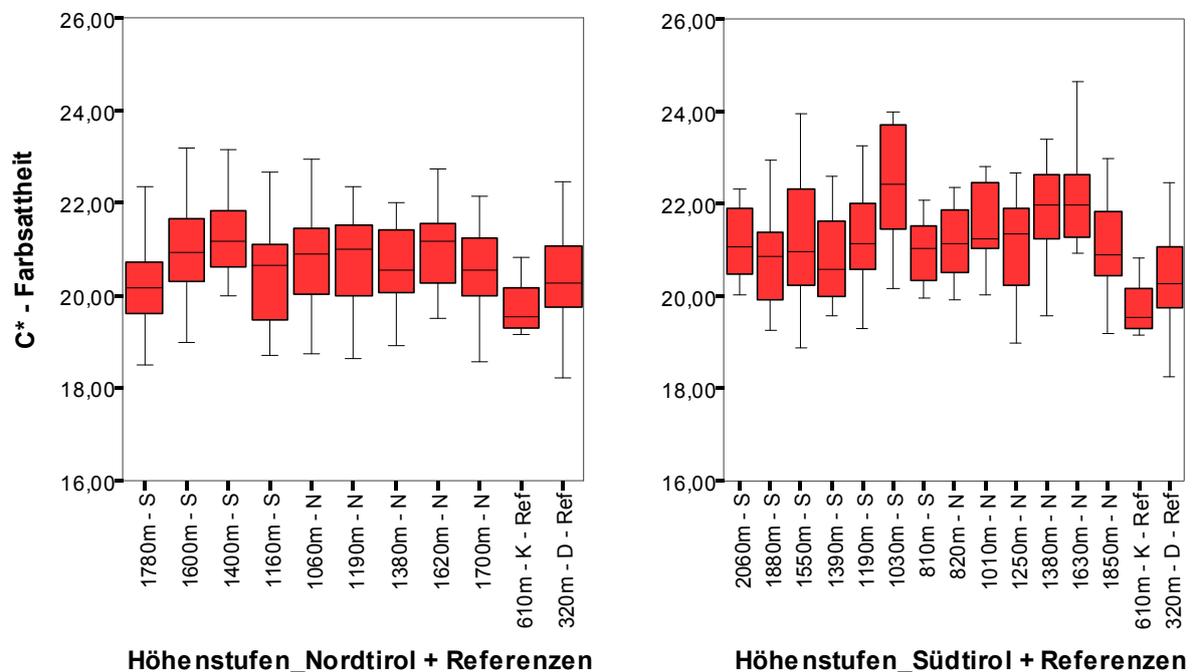


Abbildung 18 - Darstellung des Farbparameters Farbsättigung C* [-] von Gebirgs Holz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen

Farbton(winkel) h°

Ein Farbtonwinkel h° von 0° entspricht rot, 75° liegt im Bereich von braun-orange und 90° entspricht gelb. Die üblichen Werte bei Fichte liegen bei 73° bis 84°, wobei hier in der Vergangenheit am Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe Extremwerte (auf vergleichbaren Proben) von 70° bis fast 90° gemessen wurden.

Gebirgs Holz wies einen Farbtonwinkel von circa 78° auf, dies entspricht einer orangen Farbe. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Standorten bzw. Höhenstufen festgestellt werden.

Das Tieflagen-Referenzholz zeigte eine Farbe die etwas bräunlicher ist ($h^\circ = 76,9$). Dieser Farbtonunterschied kann auf Grund des geringen Unterschiedes und der geringen Farbsattheit mit dem menschlichen Auge nicht wahrgenommen werden.

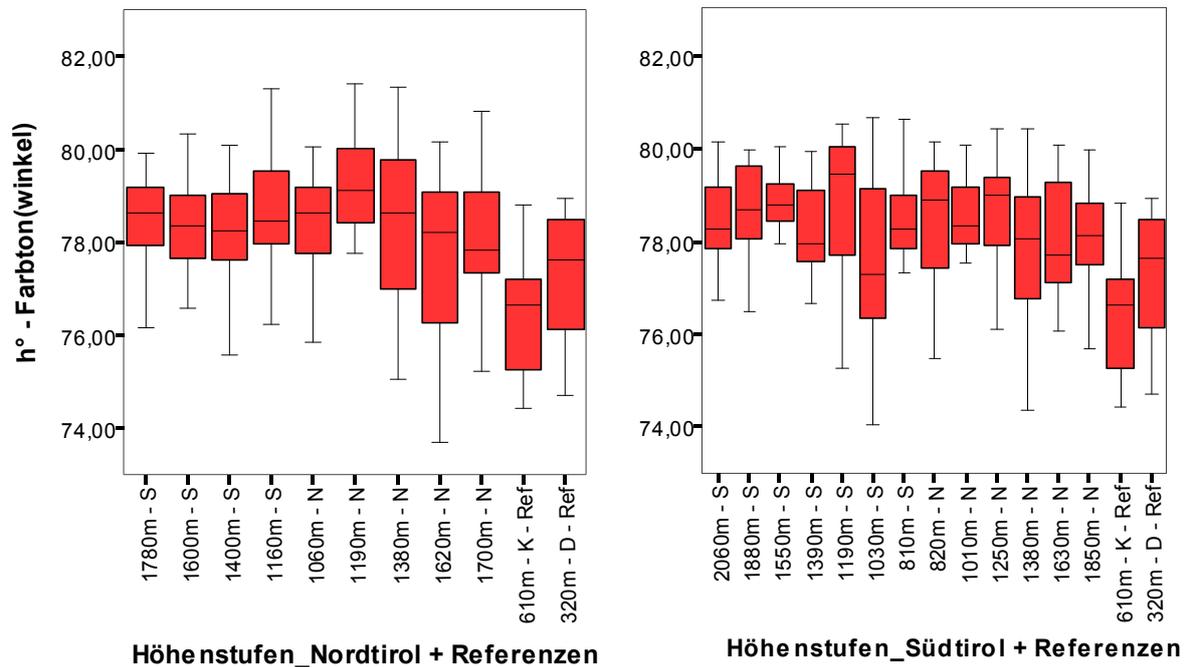


Abbildung 19 - Darstellung des Farbton(winkel)s h° [°] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen

Tabelle 8 - Mittelwerte der Farbparameter Helligkeit L^* , der Farbsattheit C^* und des Farbton(winkel)s h° von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz

	Helligkeit L^* [-]	Farbsattheit C^* [-]	Farbton(winkel) h° [°]
Gebirgsholz Nordtirol	83,5	20,7	77,9
Gebirgsholz Südtirol	83,5	21,4	78,2
Gesamt Gebirgsholz	83,5	21,0	78,0
Referenz Kobernaußerwald	82,8	18,8	76,2
Referenz Dunkelsteinerwald	83,3	20,4	77,3
Gesamt Tieflagen-Referenz	83,1	19,8	76,9
Gesamtwert aller Proben	83,5	21,0	78,0

Oberflächenhärte nach Brinell

Nach Abschluss der Farbmessungen wurden die Proben an einer Universalprüfmaschine der Härtebestimmung nach Brinell unterzogen. Auf Grund der geringen Oberflächenhärte musste die normierte Arbeitsanweisung leicht abgeändert werden. Anstatt der vorgeschriebenen 1000 N Eindringkörper-Belastungen wurden lediglich 500 N angewandt. Dies ermöglichte, dass bei allen Proben ein Härtewert bestimmt werden konnte und somit die Vergleichbarkeit innerhalb des Probenkollektivs aufrecht erhielt. Es kann aber nicht ausgeschlossen werden, dass diese Normprüfungs-Änderung zu geringfügigen Abweichungen zu üblichen Literatur- bzw. Normwerten führt.

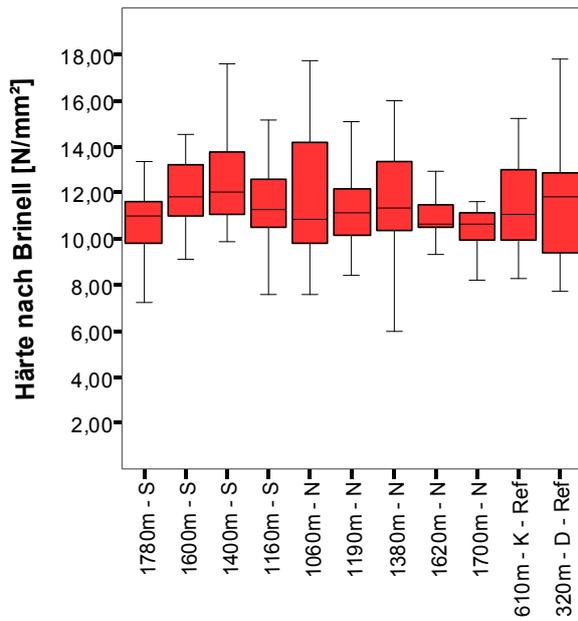
Laut ÖN B 3012 weist Fichtenholz, mit mittlerer Dichte und bei einer Holzfeuchte von circa 12%, eine Brinell-Härte von 12 N/mm².

Bei Gebirgsholz als auch beim Tieflagen-Referenzholz wurde eine durchschnittliche Härte von circa 11,6 N/mm² registriert, wobei bei den Fichtenhölzern aus Tirol große Extremwerte zu verzeichnen waren – die Werte lagen innerhalb von 6 und bis zu 24 N/mm² (Tabelle 9).

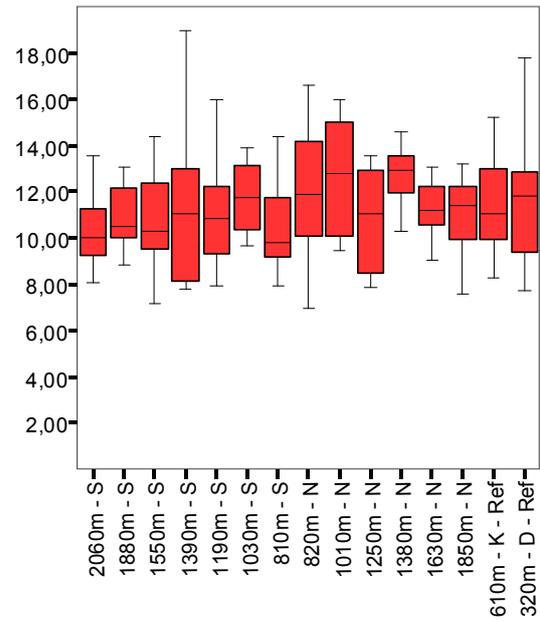
Zwischen den Höhenstufen konnte kein signifikanter Unterschied verzeichnet werden, somit besteht auch keine nachweisbarer Zusammenhang mit den Höhenstufen (Abbildung 20). Zwischen der Dichte und den Werten der Brinell-Härte hingegen besteht ein signifikanter Zusammenhang ($r = 0,41$) → je Dichter, desto Härter.

Tabelle 9 - mittlere und maximale bzw. minimale Härtewerte nach Brinell [N/mm²] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz

	mittlere Härte nach Brinell [N/mm²]	maximale Härte nach Brinell [N/mm²]	minimale Härte nach Brinell [N/mm²]	Standardabweichung [N/mm²]
Gebirgsholz Nordtirol	11,7	24,1	6,0	2,4
Gebirgsholz Südtirol	11,5	23,7	5,9	2,9
Gesamt Gebirgsholz	11,7	24,1	5,9	2,6
Referenz Kobernaußerwald	11,5	15,3	8,3	2,2
Referenz Dunkelsteinerwald	11,6	17,8	7,7	2,7
Gesamt Tieflagen-Referenz	11,6	17,8	7,7	3,1
Gesamtwert aller Proben	11,6	24,1	5,9	2,6
XXL-Wood				



Höhe stufen_Nordtirol + Referenzen



Höhe stufen_Südtirol + Referenzen

Abbildung 20 - Darstellung der Härte werte nach Brinell [N/mm²] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen

Rauhigkeit der Oberfläche

Im Zuge der Rauheitsmessungen wurden eine Vielzahl an Rauheits-Werten ermittelt. Im Folgenden werden die zwei am häufigsten gebrauchten Werte dargestellt, die eine deutliche Aussage zulassen.

Rauheitsmessungen werden stark von der vorher verrichteten Oberflächenbehandlung anhängig. In diesem Fall wurde einer gehobelten Holzoberfläche gemessen. Die Hobelmesser wurden vor der Oberflächenbearbeitung geschärft und das Probenmaterial wurde in einer zufälligen Reihenfolge bearbeitet. Somit kann ausgeschlossen werden, dass bereits bei der Holzbearbeitung eine systematische Beeinflussung stattgefunden hat.

Praktische Beispiele der Rauheitsmessung an Holzoberflächen sind in Abbildung 23 dargestellt.

Arithmetischer Mittenrauhwert (R_a)

Der arithmetische Mittenrauhwert (R_a) lag bei den gehobelten Gebirgsholz-Oberflächen bei einem Wert von circa 4,6 μm . Die Tieflagen-Referenzhölzer wiesen bei diesen Untersuchungen zwar höhere, jedoch nicht signifikant höhere, Werte ($R_a = 6,3$) auf (Tabelle 10). In der Holzbearbeitung gelten Holzoberflächen, die einen Mittenrauhwert (R_a) unter 10 μm aufweisen, als einwandfrei und sind für die entsprechende Weiterverarbeitung geeignet.

Die Gebirgshölzer zeigten innerhalb ihres Probenkollektivs (unterschieden in Höhenstufen und Standort) keine signifikanten Unterschiede auf (Abbildung 21).

Tabelle 10 - mittlerer und maximaler bzw. minimaler arithmetische Mittenrauhwert (R_a) [μm] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz

	mittlerer Mittenrauhwert (R_a) [μm]	maximaler Mittenrauhwert (R_a) [μm]	minimaler Mittenrauhwert (R_a) [μm]	Standardabweichung [μm]
Gebirgsholz Nordtirol	4,56	9,14	2,13	1,34
Gebirgsholz Südtirol	4,68	12,08	2,11	1,56
Gesamt Gebirgsholz	4,61	12,08	2,11	1,44
Referenz Kobernaußerwald	5,79	9,52	4,27	1,59
Referenz Dunkelsteinerwald	6,60	12,45	2,37	3,08
Gesamt Tieflagen-Referenz	6,31	12,45	2,37	2,65
Gesamtwert aller Proben	4,71	12,45	2,11	1,59

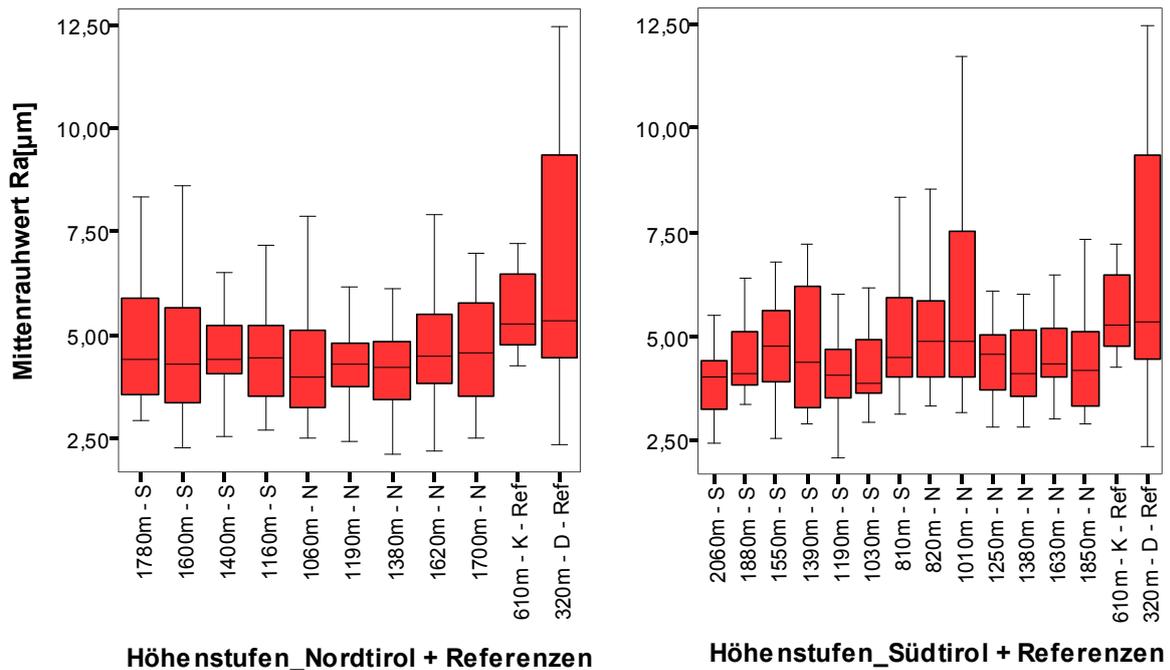


Abbildung 21 - Darstellung des arithmetischen Mittenrauhwertes (R_a) [μm] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen

Durchschnitt aller maximalen Spitze-zu-Tal-Höhen (R_z)

Neben der Beurteilung der Gesamtstruktur der Oberfläche ist die Bewertung einzelner Rauigkeitsspitzen ein wichtiger Parameter. Der Durchschnitt aller maximalen Spitze-zu-Tal-Höhen (R_z) zeigte ein ähnliches Bild wie der Mittenrauhwert (R_a). Der Wert bei Gebirgsholz - unabhängig von Standort oder Höhenstufe - lag im Mittel bei circa 29,1 μm , bei den Tieflagen-Referenzhölzern bei circa 37,3 μm . Spitze-zu-Tal-Höhen, die größer als 50 μm sind, können mit dem menschlichen Auge als Rille wahrgenommen werden.

Innerhalb der Standortgruppen konnte keine signifikante Abhängigkeit von einem anderen Parameter (z.B. Höhenstufe oder Dichte bzw. Jahrringlage) festgestellt werden.

Tabelle 11 - mittlerer und maximaler bzw. minimaler Durchschnittwert aller maximalen Spitze-zu-Tal-Höhen (R_z) [μm] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz

	mittlerer Durchschnittswert aller max. Spitze-zu-Tal-Höhen (R _z) [μm]	maximaler Durchschnittswert aller max. Spitze-zu-Tal-Höhen (R _z) [μm]	minimaler Durchschnittswert aller max. Spitze-zu-Tal-Höhen (R _z) [μm]	Standardabweichung [μm]
Gebirgsholz Nordtirol	28,73	76,00	15,06	7,18
Gebirgsholz Südtirol	29,58	51,94	16,58	8,38
Gesamt Gebirgsholz	29,10	76,00	15,06	7,73
Referenz Kobernauserwald	36,01	51,71	27,36	7,73
Referenz Dunkelsteinerwald	37,96	56,77	14,66	12,75
Gesamt Tieflagen-Referenz	37,27	56,77	14,66	11,13
Gesamtwert aller Proben	29,61	76,00	14,66	8,20

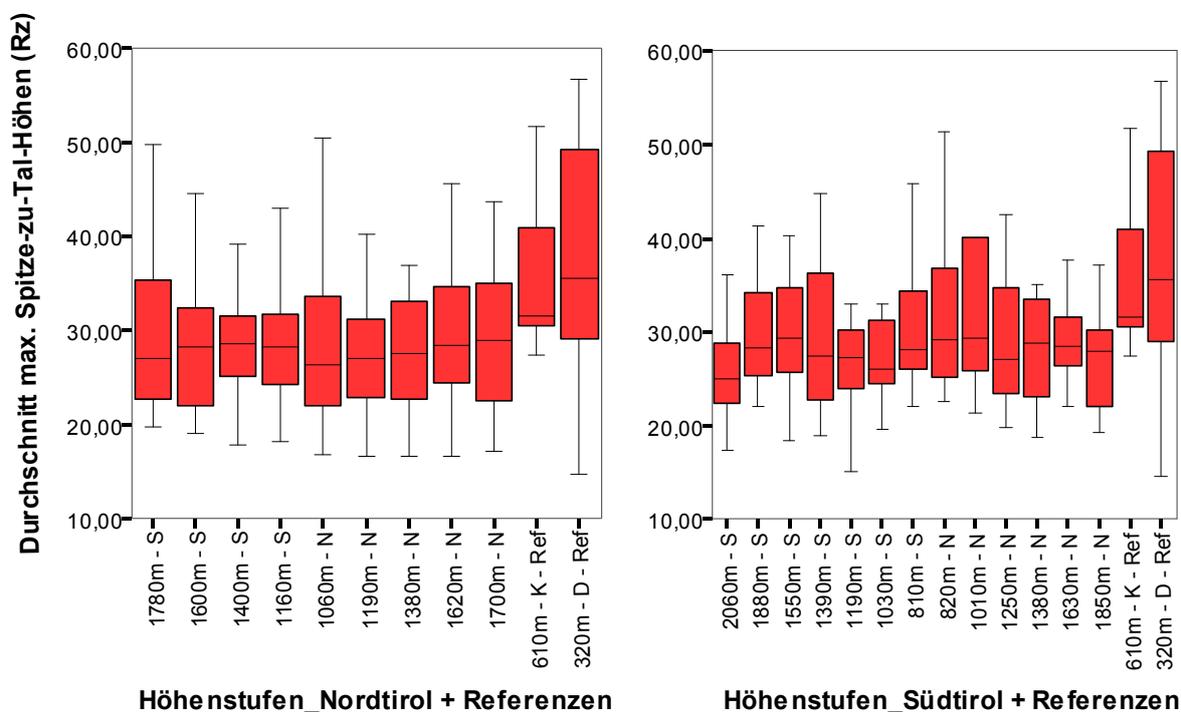


Abbildung 22 - Darstellung der Durchschnittwert aller maximalen Spitze-zu-Tal-Höhen (R_z) [μm] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen

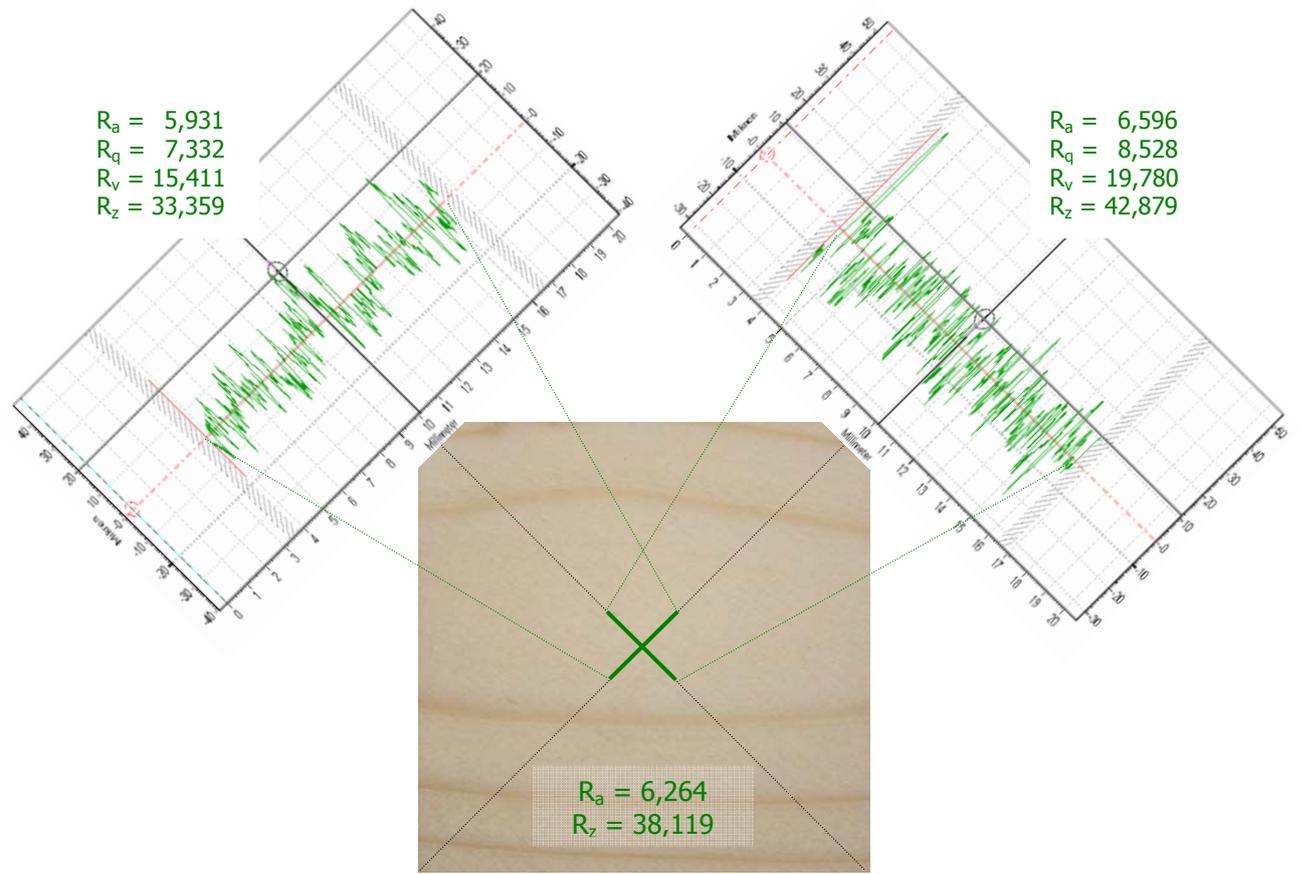
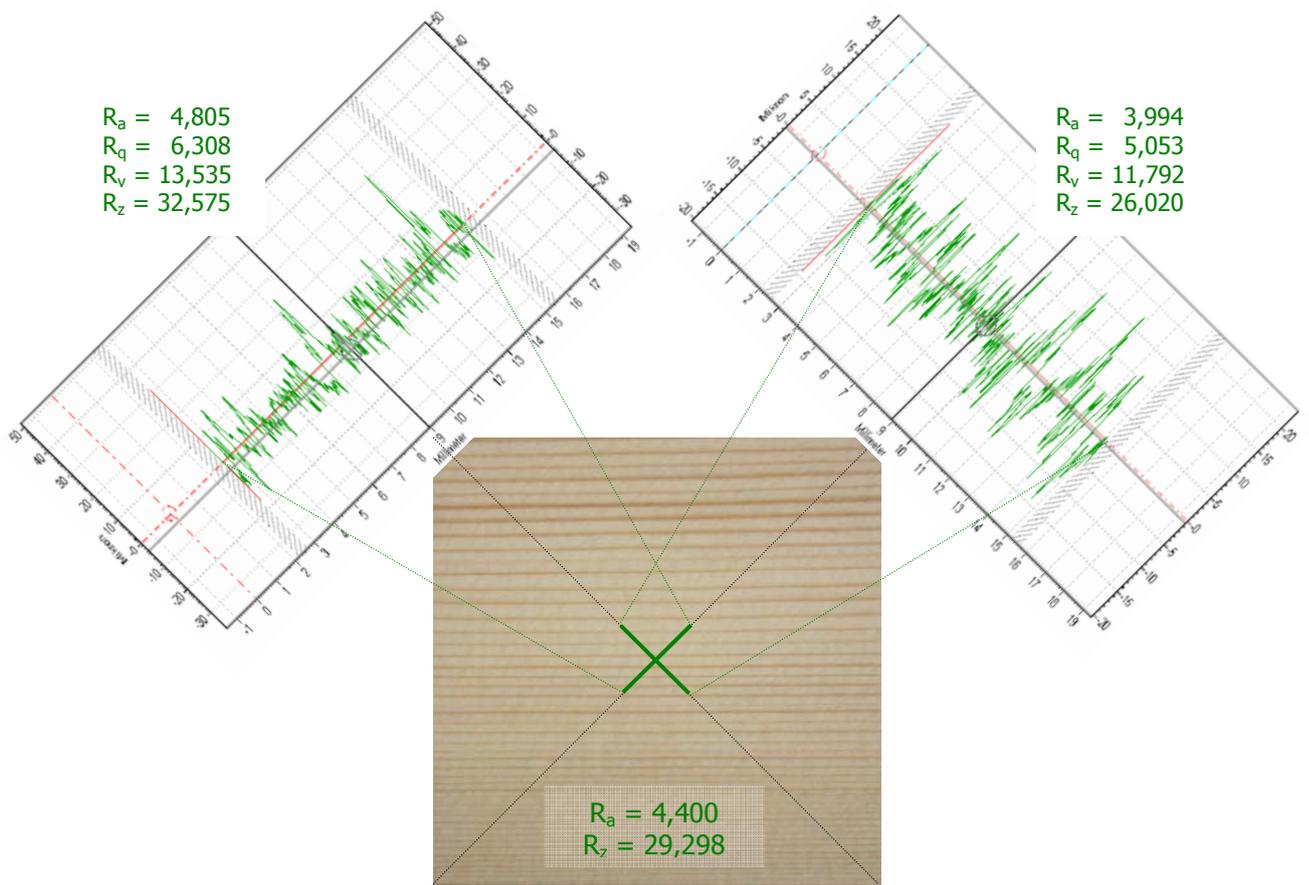


Abbildung 23 - praktische Beispiele der Rauheitsmessung mit Rauheitsprofilen der Teilmessungen (oben: Messung an radialer Fläche, unten: Messung bei tangentialer Fläche)

Kontaktwinkel an der Oberfläche

Abschließend wurden Benetzungsversuche zur Ermittlung des Kontaktwinkels durchgeführt. Dieser ist - ähnlich wie die Rauheitsmessung - stark von der Oberflächenstruktur bzw. der Oberflächenbearbeitung abhängig. Bei den unten dargestellten Untersuchungen wurde auf einer gehobelten Holzoberfläche, die nach der Bearbeitung circa 14 Tage im Normklima (20°C, 65% rel. Luftfeuchte) gelagert wurde, durchgeführt.

Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz wiesen den fast gleichen durchschnittlichen Kontaktwinkel von circa 70,8° auf. Innerhalb der Probengruppen - unabhängig vom Standort oder der Höhenstufe - waren deutliche Unterschiede zu verzeichnen, die Extremwerte reichten von 22° bis zu 117° (Tabelle 12).

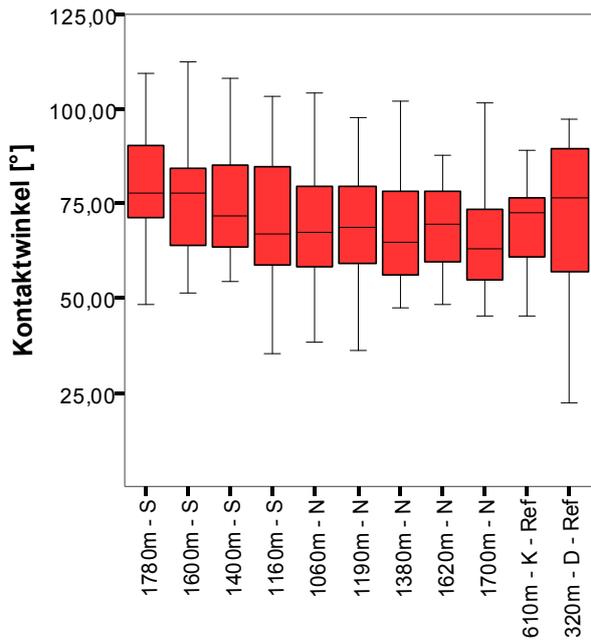
Bei institutsinternen Untersuchungen in der Vergangenheit bzw. bei Werten in der Literatur sind sehr unterschiedliche Werte dokumentiert. Dies liegt aber hauptsächlich daran, dass die Oberflächenbearbeitung bzw. die Vorbehandlung des Holzes (z.B. durch Trocknung) sehr verschieden ist. Ähnliche Versuche, die den hier dargestellten sehr nahe kommen, wiesen Kontaktwinkel in der Größenordnung von 60° bis 85° auf.

Da kein signifikanter Zusammenhang mit anderen, für das Projekt bedeutende Parameter (z.B. Höhenlage, Dichte oder Jahrringlage) erhoben werden konnte und ebenfalls kein Unterschied zu den Tieflagen-Referenzhölzern erkennbar war, kann vom gleichen Verhalten bei der Benetzbarkeit gegenüber anderem Fichtenholz ausgegangen werden (Abbildung 24).

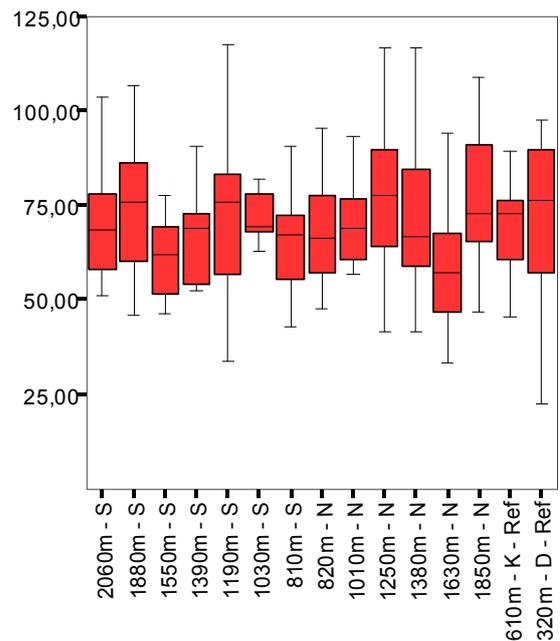
Praktische Beispiele der Kontaktwinkelmessung an Holzoberflächen sind in Abbildung 25 dargestellt.

Tabelle 12 - mittlerer und maximaler bzw. minimaler Kontaktwinkel [°] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz

	Mittlerer Kontaktwinkel [°]	maximaler Kontaktwinkel [°]	minimaler Kontaktwinkel [°]	Standardabweichungen [°]
Gebirgsholz Nordtirol	71,56	112,45	25,45	16,6
Gebirgsholz Südtirol	69,91	117,40	33,05	16,6
Gesamt Gebirgsholz	70,84	117,40	25,45	16,6
Referenz Kobernaußerwald	68,53	89,00	45,25	13,0
Referenz Dunkelsteinerwald	71,9	97,25	22,20	20,9
Gesamt Tieflagen-Referenz	70,70	97,25	22,20	18,3
Gesamtwert aller Proben	70,83	117,40	22,20	16,7



Höhenstufen_Nordtirol + Referenzen



Höhenstufen_Südtirol + Referenzen

Abbildung 24 - Darstellung des Kontaktwinkels [°] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen

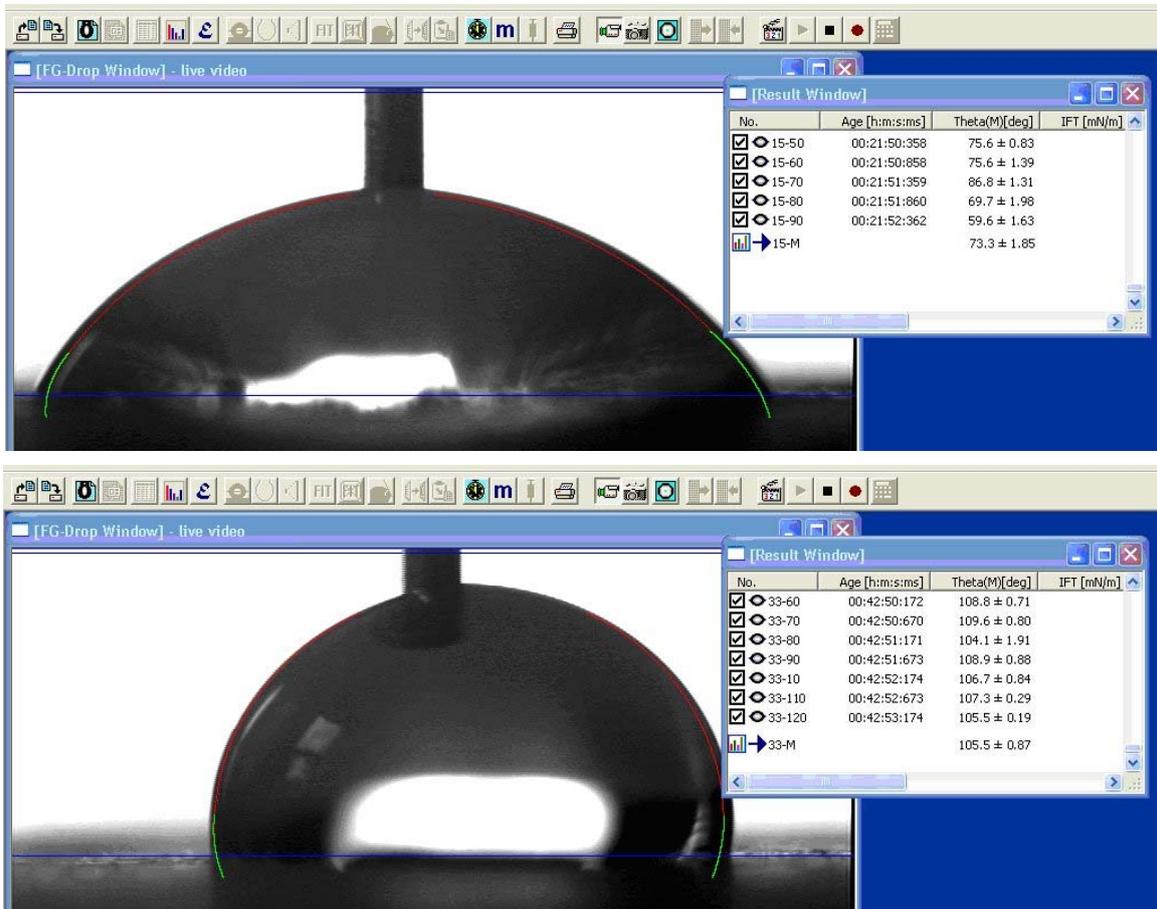


Abbildung 25 - praktische Beispiele der Kontaktwinkelmessung (oben: für Gebirgsholz üblicher Kontaktwinkel von ca. 73°, unten: hoher Kontaktwinkel mit ca. 105°)

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes „Gebirgsholz – Wald ohne Grenzen“ wurde am Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe an der Universität für Bodenkultur Wien eine detaillierte Charakterisierung der Holzoberfläche vorgenommen. Hierzu wurden einerseits wichtige Ausgangsparameter, wie Dichte oder Jahrringlage, an fehlerfreien Proben bestimmt und andererseits zur Beschreibung der Oberfläche die Farbe des Holzes die Härte nach Brinell, die Rauigkeit nach dem Hobeln und schlussendlich der Kontaktwinkel mit destilliertem Wasser ermittelt. Als Referenzen wurden zusätzliche Tieflagenhölzer aus dem Kobernaußerwald (OÖ) und dem Dunkelsteinerwald (NÖ) untersucht.

Dichte und Jahrringbreite

Das Gebirgsholz zeigte ein mit Literaturwerten vergleichbares Dichtespektrum. Die Werte variierten zwischen 340 kg/m^3 bis 545 kg/m^3 und lagen im Mittel bei circa 415 kg/m^3 . Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Höhenlage und Dichte festgestellt werden. Anders bei der Jahrringverteilung – hier konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen Jahrringbreite und Höhenlage nachgewiesen werden. Das heißt je höher das Wuchsgebiet lag desto schmaler waren die Jahrringe.

Holzfarbe an der Oberfläche

Die Farbmessungen zeigten, dass sich Gebirgsholz farblich nicht von anderen Fichtenhölzern unterscheidet. Die drei bestimmenden Farbparameter Helligkeit, Farbsättigung und Farbton lagen innerhalb der üblichen Farbvariationen von Holz mit der gleichen Oberflächenbeschaffenheit.

Oberflächenhärte nach Brinell

Da Dichte bzw. Jahrringbreiten durchschnittliche Werte zeigten, ist es plausibel, dass auch die Härte des Holzes die in den Normen abgebildeten Wertebereichen entspricht (laut ÖN B 3012 bei 12 N/mm^2). Die Untersuchungen nach Brinell zeigten für Gebirgsholz Härtewerte, unabhängig von der Höhenlage oder Standort, von circa $11,7 \text{ N/mm}^2$.

Rauigkeit der Oberfläche

Die Untersuchungen der Rauigkeit nach der Oberflächenbearbeitung (in diesem Fall Hobeln) zeigten, dass die Gebirgsholzproben im Vergleich mit Tieflagen-Referenzfichten zwar niedrigere, aber nicht signifikant geringere Oberflächen-Rauigkeitswerte zeigten.

Benetzungsuntersuchungen – Ermittlung des Kontaktwinkels

Mit Hilfe der Benetzungsversuche konnten Erkenntnisse über die Ausbreitung von Flüssigkeiten auf der Holzoberfläche (Spreitung) und das Eindringverhalten in die Holzoberfläche (Penetration) gewonnen werden. Ein aussagekräftiger Parameter diesbezüglich ist der Kontaktwinkel. Im Vergleich mit bereits bekannten Ergebnissen und mit den Tieflagen-Referenzhölzern zeigten die Untersuchungen am Gebirgsholz keine nachweisbaren Unterschiede. Das heißt, auf Grund der vorliegenden Daten kann die Aussage getroffen werden, dass Gebirgsholz unter gleichen technologischen Bedingungen (z.B. in der Verklebungstechnologie) eingesetzt werden kann.

Weiterführende Literatur

- BFW (2010) Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft - Institut für Waldökologie und Boden (<http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=4256>), Datenerhebung am 6. Oktober 2010
- Gindl M, Sinn G, Gindl W, Reiterer A, Stanzl-Tschegg S (2001) A Comparison of Different Methods to Calculate the Surface Free Energy of Wood Using Contact Angle Measurements. *Colloids and Surfaces A*, 181/1-3, 279-287
- Hameed M, Roffael E (1999) Über die Benetzbarkeit von Splint- und Kernholz von Kiefer, Douglasie und Lärche. *Holz als Roh- und Werkstoff* 57, 287-293
- Hecker M, Becker G (1997) Möglichkeiten zur Beeinflussung der Oberflächen-Rauhigkeit von Douglasien-Furnieren durch waldbauliche Maßnahmen. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, Volume 116 (1997), Numbers 1-6, 45-52,
- Holzknacht S (2010) Bericht zum Einschnitt des Probenmaterials. Interner Bericht von Holzcluster Tirol und proHolz Tirol, erstellt am 25.01.2010 in Innsbruck
- Kilian W, Müller F, Starlinger F (1994) Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs - eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. *FBVA-Berichte* 82/1994, Herausgeber: Forstliche Bundesversuchsanstalt in Wien, 60 Seiten
- Krüss (2006) Benutzerhandbuch für Kontaktwinkelmess-System DSA 100. Version: V1.9.93, Krüss GmbH, Hamburg, 2006
- Mayer H (1992) *Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage*. 4., teilweise neu bearbeitete Auflage. G. Fischer, Stuttgart - Jena - New York 1992, ISBN 3-437-30684-7
- Meinlschmidt P (2005) *Farbmessung an Oberflächen*. Bericht am Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Institut für Holzforschung, Braunschweig, 2005
- Patzelt M, Emsenhuber G, Stingl R (2003) Colour measurement as means of quality control of thermally treated wood. Konferenzbeitrag - European Conference on Wood Modification 2003 - 3.- 4. April 2003 in Ghent, Belgien
- Scheikl M, Dunky M (1998) Measurement of dynamic contact angles on wood for the determination of its surface tension and the penetration of liquids into the wood surface. *Holzforschung* 52(1), 89-94
- Sinn G, Gindl M, Reiterer A (2002) *Ausgewählte materialphysikalische Eigenschaften von modifiziertem Holz*. LIGNOVISIONEN Band 3, Schriftenreihe am Institut für Holzforschung an der Universität für Bodenkultur Wien
- Stauder M (2010) *Gebirgsholz – Wald ohne Grenzen*. Kurzdarstellung des Projekts, Cluster Holz & Technik (Legno & Tecnica), TIS innovation park, Bozen
- Stingl R, Herbers Y (2003) *Untersuchung zur Farbveränderung von Erlenholz entlang der Wertschöpfungskette*. Bericht zu einer Feasibility Study, durchgeführt am Institut für Holzforschung an der Universität für Bodenkultur Wien
- Taylor Hobson (1997) *Bedienungshandbuch zur FormTaly surf Serie*. Talyor Hobson Limited, Leicester, England, GB, 1997

Verwendete und weiterführende Normen

- ASTM E 1347 (1997) Prüfverfahren für Farben und Farben-Differenzmessung durch Messung im Dreibereichsverfahren (Test Method for Color and Color-Difference Measurement by Tristimulus (Filter) Colorimetry)
- ASTM E 805 (1994-00-00) Instrumentelle Messung von Farben und Farbunterschieden von Stoffen (Identification of Instrumental Methods of Color or Color-Difference Measurement of Materials)
- CIE 101 (1993) Parametrische Einflüsse auf die Farbabstandsbewertung; Zusammenfassung (Parametric effects in colour-difference evaluation; summary)
- DIN 4768 (1990) Ermittlung der Rauheitskenngrößen R_a , R_z , R_{max} mit elektrischer Tastschnittgeräten - Begriffe, Meßbedingungen
- DIN 5033-1 (1979) Farbmessung; Grundbegriffe der Farbmessung (Colorimetry; basic concepts)
- DIN 5033-2 (1992) Farbmessung; Normvalenz-Systeme (Colorimetry; standard colorimetric systems)
- DIN 5033-3 (1992) Farbmessung; Farbmaßzahlen (Colorimetry; colorimetric measures)
- DIN 5033-4 (1992) Farbmessung; Spektralverfahren (Colorimetry; spectrophotometric method)
- DIN 5033-5 (1981) Farbmessung; Gleichheitsverfahren (Colorimetry by visual matching)
- DIN 5033-6 (1976) Farbmessung; Dreibereichsverfahren (Colorimetry; tristimulus method)
- DIN 5033-7 (1983) Farbmessung; Messbedingungen für Körperfarben (Colorimetry; measuring conditions for object colours)
- DIN 5033-8 (1982) Farbmessung; Messbedingungen für Lichtquellen (Colorimetry; measuring conditions for light sources)
- DIN 5033-9 (1982) Farbmessung; Weißstandard für Farbmessung und Photometrie (Colorimetry; reflectance standard for colorimetry and photometry)
Internationale Übereinstimmung: ISO 7724-2-1984
- EN 1534 (2000) Wood flooring - Determination of resistance to indentation (Brinell) - Test method (Holzfußböden - Bestimmung des Eindruckwiderstands (Brinell) – Prüfmethode)
- ISO 3274 (1996) Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Nominal characteristics of contact (stylus) instruments
- ISO 3350 (1975) Wood - Determination of static hardness
- ISO 4287 (1997) Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions and surface texture parameters
- ISO 4288 (1996) Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Rules and procedures for the assessment of surface texture
- ISO 7724-1 (1984) Paints and varnishes - Colorimetry - Part 1: Principles
- ISO 7724-2 (1984) Paints and varnishes - Colorimetry - Part 2: Colour measurement
- ISO 7724-3 (1984) Paints and varnishes - Colorimetry - Part 3: Calculation of colour differences
- ISO 11562 (1996) Geometrical Product Specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Metrological characteristics of phase correct filters
- ISO/CIE 10527 bzw. CIE 527 (1991) CIE Farbmessung Normalbeobachter (CIE standard colorimetric observers)
- ÖN B 3012 (2003) Holzarten - Kennwerte zu den Benennungen und Kurzzeichen der ÖNORM EN 13556

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1	Entnahmeorte des Referenz-Tieflagen-Fichtenholzes in Oberösterreich (K ... Kobernaußerwald) und Niederösterreich (D ... Dunkelsteinerwald)	6
Abbildung 2	aufgetrennter Kantholz-Abschnitt (links) und fehlerfreier Probekörper mit den Abmessungen 60 x 60 x 45 mm (rechts)	7
Abbildung 3	Messgerät Chroma-Meter CR-410 (links) mit einer kreisförmigen Messfläche - Durchmesser 50 mm (rechts)	8
Abbildung 4	schematische Darstellung des L*a*b* - Farbsystemes (links) und das darauf aufbauende L*C*h° - Farbsystem (rechts)	9
Abbildung 5	- Universal-Prüfmaschine mit Härteprüfungs-Equipment (links), Abdruck der Stahlkugel auf der Holzoberfläche (Mitte), schematische Darstellung der Brinellhärte-Prüfung (rechts)	10
Abbildung 6	Oberflächenanalysegerät Form Talysurf (2) 50i (links), Taster mit Diamantspitze auf einer Probenoberfläche (rechts)	11
Abbildung 7	Zusammensetzung der Messstreckenlänge l_t (nach ISO 4287)	12
Abbildung 8	Filter-Übertragungsverhalten eines 2CR PC - Filters (Quelle: Taylor Hobson,1997)	13
Abbildung 9	Darstellung des arithmetische Mittenrauhwert (Ra) und quadratische Mittenrauhwert (Rq) (Quelle: Taylor Hobson,1997)	14
Abbildung 10	Darstellung der maximalen Tiefe Rv und der durchschnittlichen Spitze-zu-Tal-Höhe (Rtm) (Quelle: Taylor Hobson,1997)	14
Abbildung 11	Darstellung der Spannungen am Tropfenrand (links), Tropfenbildung während des Messvorganges (rechts) (Quelle: Sinn et al. 2002 - links, Krüss 2006 - rechts)	15
Abbildung 13	Darstellung der Standorte, der Hanglagen und der Höhenstufen	16
Abbildung 14	Dichtewerte [kg/m ³] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen	19
Abbildung 15	mittlere Jahringbreiten [mm pro Jahrring] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen	20
Abbildung 16	Ermittlung des Tangenten-Winkel zur Oberfläche und der mittleren Jahringbreite	21
Abbildung 17	Darstellung des Farbparameters Helligkeit L* [-] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen	22
Abbildung 18	Darstellung des Farbparameters Farbsättigung C* [-] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen	23
Abbildung 19	Darstellung des Farbton(winkel)s h° [°] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen	24
Abbildung 20	Darstellung der Härtewerte nach Brinell [N/mm ²] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen	26
Abbildung 21	Darstellung des arithmetischen Mittenrauhwertes (Ra) [µm] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen	28
Abbildung 22	Darstellung der Durchschnittwert aller maximalen Spitze-zu-Tal-Höhen (Rz) [µm] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen	29

Abbildung 23	praktische Beispiele der Rauigkeitsmessung mit Rauigkeitsprofilen der Teilmessungen (oben: Messung an radialer Fläche, unten: Messung bei tangentialer Fläche)	30
Abbildung 24	Darstellung des Kontaktwinkels [°] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz, unterteilt in Standort und Höhenstufen	32
Abbildung 25	praktische Beispiele der Kontaktwinkelmessung (oben: für Gebirgsholz üblicher Kontaktwinkel von ca. 73°, unten: hoher Kontaktwinkel mit ca. 105°)	32
Tabelle 1	Umfang des Probenmaterials (standortbezogen)	1
Tabelle 2	Technische Beschreibung des Messgerätes Chroma-Meter CR-410 und die angewendeten Farbmessparameter (ISO 7724, ISO/CIE 10527, DIN 5033)	8
Tabelle 3	Technische Beschreibung des Oberflächenanalysegeräts Form Talysurf (2) 50i	11
Tabelle 4	Festlegung der Grenzwellenlänge λ_c nach ISO 4287	12
Tabelle 5	Dichtewerte [kg/m ³] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz	18
Tabelle 6	mittlere und maximale bzw. minimale Jahrringbreiten [mm pro Jahrring] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz	20
Tabelle 7	Verteilung der Winkelkategorien A bis E und die dazugehörigen durchschnittlichen Winkel der einzelnen Kategorien	21
Tabelle 8	Mittelwerte der Farbparameter Helligkeit L*, der Farbsattheit C* und des Farbton(winkel)s h° von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz	24
Tabelle 9	mittlere und maximale bzw. minimale Härtewerte nach Brinell [N/mm ²] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz	25
Tabelle 10	mittlerer und maximaler bzw. minimaler arithmetische Mittenrauhwert (Ra) [µm] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz	27
Tabelle 11	mittlerer und maximaler bzw. minimaler Durchschnittwert aller maximalen Spitze-zu-Tal-Höhen (Rz) [µm] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz	29
Tabelle 12	mittlerer und maximaler bzw. minimaler Kontaktwinkel [°] von Gebirgsholz und Tieflagen-Referenzholz	31

Impressum



Projekt: Gebirgsholz – Wald ohne Grenzen; deutliche Verbesserung des Marktwertes Süd-, Ost- & Nordtiroler Gebirgshölzer und ausgewählter Holz-Nischenprodukte
Legname di montagna - foreste senza confini; valorizzazione del legname di montagna in Tirolo (Sud, Nord e orient.); prodotti di nicchia scelti
Interreg IV Projekt zwischen Italien-Österreich

Arbeitsbereich: Oberflächencharakterisierung von Gebirgsholz



Ein Interreg IV Italien-Österreich Projekt, kofinanziert aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und nationalen öffentlichen Beiträgen

Auftraggeber: Cluster Holz & Technik



TIS innovation park
Siemensstr. 19 | via Siemens 19
I-39100 Bozen | Bolzano
Ansprechpartner: Paolo Bertoni
Michael Stauder

pro:Holz

Tirol

Holzinformation
Holzcluster
Holzbaulehrstuhl

proHolz Tirol / Holzcluster
Meinhardstraße 14
A-6020 Innsbruck
Ansprechpartner: Wolfram Allinger-Csollich
Simon Holzknecht

Durchführung: Institut für Holztechnologie und Nachwachsende Rohstoffe
Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik
Universität für Bodenkultur Wien
Konrad Lorenz Straße 24



A-3430 Tulln
Projektleitung: Alfred Teischinger und Christoph Buksnowitz
Praktische Umsetzung: Robert Stingl, Gerhard Emsenhuber und Anton Wegscheider
Berichtslegung: Robert Stingl und Marie Louise Zukal

Wien, im November 2010