ABSCHLUSSBERICHT

HFA-TiMBER

Vom Stamm bis zum Gebäude

HOLZ FORSCHUNG AUSTRIA

Standorte der Holzforschung Austria:
Arsenal und Stetten

Die Holzforschung Austria ist seit 1954 Mitglied bei ACR. Diese Vereinigung von außeruniversitären, gemeinnützigen Forschungseinrichtungen ist eine wichtige Plattform für Innovationen und bietet eine breite Basis an Kompetenz.

ACR
AUSTRIAN COOPERATIVE RESEARCH
KOOPERATION MIT KOMPETENZ

HOLZ FORSCHUNG AUSTRIA

PEFC zertifiziert
Dieses Produkt stammt aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern und kontrollierten Quellen.
PEFC/06-39-03
www.pefc.at

INHALT

VOM STAMM BIS ZUM GEBÄUDE	3
EXZELLENTE FORSCHUNG IM ZEICHEN DES HOLZES	4
LOG SURFACE	6
LOG QUALITY	10
GRAIN DEVIATION	14
INDOOR AIR QUALITY	18
ENERGY EFFICIENCY	22
VERÖFFENTLICHUNGEN, VORTRÄGE & ANERKENNUNGEN	26

IMPRESSUM

Medieninhaber/Verleger/Herausgeber:
Holzforschung Austria
Österreichische Gesellschaft für Holzforschung
ZVR: 850936522
Franz-Grill-Straße 7, 1030 Wien, Österreich

Tel. 01/798 26 23 -0, Fax -50
Redaktion: Dr. Andreas Suttner (DW 40),
a.suttner@holzforschung.at

Druck: Druckerei Janetschek GmbH, Heidenreichstein

Urheberrecht: Nachdruck und fotomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des Medieninhabers.
Alle Rechte, insbesondere auch die Übernahme von Beiträgen nach §44 Abs. 1 Urhebergesetz, sind vorbehalten. Veröffentlichte Texte und Bilder gehen in das Eigentum des Medieninhabers über. Es kann daraus kein wie immer gearteter Anspruch, ausgenommen allfällige Honorare, abgeleitet werden.

Fotos:
Alle Bildrechte liegen bei Holzforschung Austria ausgenommen:
Deckblatt Bild l. u.: © Rainer Sturm/pixelio.de

VORWORT

VOM STAMM BIS ZUM GEBÄUDE

MANFRED BRANDSTÄTTER
Institutsleiter der Holzforschung Austria

Die „Competence Centres for Excellent Technologies", kurz: COMET, unterstützen die Zusammenarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft, um auf den jeweiligen Seiten bestehendes Wissen in Zentren zu bündeln und auf diese Weise noch effektiver zu nutzen. Die K-Projekte boten für die HFA die besten Voraussetzungen das industrielle Kompetenzzentrum „Holztechnologie" (Laufzeit 2002-2008) fortzuführen.

Auch im K-Projekt HFA-TiMBER konnten aktuelle Fragestellungen, die im zentralen Interesse der Holzbranche liegen, bearbeitet werden. Der Themenbogen des fünfjährigen Projektes spannte sich dabei von der Rundholzsortierung im Sägewerk bis zur Wohngesundheit im modernen Holzhaus.

Im Vorfeld dazu fand ein kreativer Prozess zwischen Vertretern der Wirtschaft und der Forschung statt, bei dem die Ziele und Inhalte der Einzelprojekte definiert wurden.

Projekte mit einer deratig langen Laufzeit sind für alle Beteiligten eine Herausforderung. Änderungen bei den Unternehmenspartnern, sowohl was ihre Erwartungen betrifft, als auch Wechsel bei den direkten Ansprechpersonen, können die Ressourcen des Projektmanagement stark beanspruchen. Aber auch unser Forscherteam hat sich in den fünf Jahren gewandelt. Auf der einen Seite ist es uns gelungen mit neuen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern frische Expertise ins Projekt einzubringen, andererseits kam es zu einem gewissen Abfluss von Know How durch Fluktuation. Auch diese Entwicklungen haben uns neben der eigentlichen Forschungsarbeit stark beschäftigt, konnten aber sehr gut kompensiert werden.

Einen wertvollen Input zur Projektarbeit stellten die Ergebnisse aus der Zwischenevaluierung einer international besetzen Expertengruppe dar. Gemeinsam mit dem Konsortium haben wir die Empfehlungen der Gutachter in die einzelnen Arbeitspakete eingearbeitet. Eine große Anerkennung erhielten wir auch für die zahlreichen wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Fachvorträge.

Das Ergebnis geht auf ein engagiertes Team zurück, das sich selbst immer wieder neu motivieren musste, was es auch sehr gut getan hat. Ich möchte mich daher bei den 27 Expertinnen und Experten der HFA bedanken, die sehr viel Herzblut in die einzelnen Projekte eingebracht haben.

Ohne externe Unternehmenspartner wäre HFA-TiMBER nicht durchführbar gewesen. Sie haben neben dem inhaltlichen Input die für jedes öffentlich geförderte Projekt wichtige Co-Finanzierung sichergestellt.

Um eine bestmögliche Qualität der Forschungsergebnisse zu garantieren bedarf es neben hochkarätigen eigenen Expertinnen und Experten auch externes Wissen, welches durch unsere universitären Partner in kooperativer Weise eingebracht wurde.

Bedanken darf ich mich ebenfalls bei den Förderstellen FFG und der wirtschaftsagentur wien, die stellvertretend für die Bundeministerien bmwfw und bmvit, sowie die Stadt Wien stehen und uns die entsprechenden Fördermittel zur Verfügung gestellt haben.

Mit dieser Broschüre möchten wir der Fachöffentlichkeit und weiteren Interessenten einen Einblick in die durchgeführten Arbeiten und die abschließenden Ergebnisse geben.

EXZELLENTE FORSCHUNG IM ZEICHEN DES HOLZES

INDUSTRIENAHE FORSCHUNG FÜR DEN WIRTSCHAFTSSTANDORT ÖSTERREICH

PETER LINSENMANN

Um aus guten Ideen und tragfähigen Netzwerken auch ein Forschungsprojekt zu machen, bedarf es einer geeigneten Förderung und sorgfältiger Planung. Alle diese Punkte trafen 2008 zusammen und das Forschungsprojekt HFA-TiMBER wurde zur Evaluation eingereicht. Der Forschungsansatz, die Wertschöpfungskette vom Stamm bis hin zum Gebäude zu optimieren, hat die Jury schlussendlich überzeugt.

GEEIGNETE FÖRDERINSTRUMENTE

Die Förderschiene COMET - Competence Centers for Excellent Technologies wurde von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft 2006 ins Leben gerufen. Darunter wurden Forschungszentren verstanden, die in enger Kooperation zwischen Industrie und Wissenschaft betrieben werden sollten. Die Forschungsthemen waren „bottom up" zu wählen, d.h. es gab keine thematischen Schwerpunkte und alle Projektideen waren prinzipiell möglich. Durch diese Kooperation sollte das Potenzial an Forschungsideen erschlossen werden, das in der österreichischen Industrie vorhanden ist.

Gerade in der Holzindustrie gibt es viele Ideen, die Produktsicherheit zu erhöhen oder Produktionsabläufe zu optimieren. Die genaue Definition dieser Ideen, damit sie schlussendlich in neue Produkte oder Prozesse übersetzt werden können, scheitert aber immer wieder an fehlenden Fördermöglichkeiten. Und da die Projektvolumina in einem solchen Fall in die hunderttausende Euro gehen können, scheidet eine reine Industriefinanzierung aus. Das COMET-Programm schließt diese Lücke zumindest teilweise und stellt eine Finanzierung bereit. Der Kontakt der Holzforschung Austria zu unterschiedlichen Betrieben der Holzbe- und -verarbeitung ließ über die Jahre einen umfangreichen Pool an Projektideen entstehen. Der interne Prozess an der Holzforschung Austria, ein stimmiges Forschungsprogramm zusammenzustellen, startete 2007. Unter der Überschrift HFA-TiMBER - Timber in Material, Building and Environmental Research fügten sich in vielen Gesprächen mit Unternehmenspartnern nach und nach Projektideen zu einem Gesamtprojekt zusammen. Trotz der Erfahrung der Expertinnen und Experten bei der Erarbeitung von Forschungsanträgen, war der Aufwand, der im Vorfeld der Einreichung von allen Beteiligten betrieben werden musste, immens. Für die Einreichung mussten zehn Unternehmenspartner und vier wissenschaftliche Partner betreut werden. Das traf für die fachliche Ebene zu, was insbesondere bei der Detailplanung der Forschungsinhalte und der Abgrenzung der jeweiligen Zuständigkeiten viel Aufwand bedeutete. Aber auch die administrative Ebene war sehr umfangreich und es mussten zahlreiche Dokumente, vom „letter of intent" bis zum Budget, abgestimmt und eingeholt werden.

Es zeigte sich sehr schnell, dass die große fachliche Breite der Projektideen eine besondere Herausforderung bei der Antragerstellung darstellen würde. Durch den Kontakt der Holzforschung Austria sowohl zu Sägewerken, Weiterverarbeitern als auch zu Betrieben der Dämmstoffbranche entstand das Konzept, HFA-TiMBER im Sinn einer Wertschöpfungskette aufzubauen: Durch die Verbesserung der Ausgangsprodukte, also des Schnittholzes und dessen Herstellungsprozesses, würden bestehende Produkte optimiert. Dadurch würde es möglich sein, Hemmnisse beim Einsatz von entsprechenden Produkten bei den Verbrauchern aktiv abzubauen.

ERHÖHTE WERTSCHÖPFUNG

Mitte 2008 waren alle wissenschaftlichen Fragen definiert, alle Dokumente eingeholt und HFA-TiMBER war für die Einreichung bereit. Schlussendlich wurden fünf Teilprojekte definiert, die wiederum in zwei Areas organisiert waren. Die Area „Scanning and Processing" umfasste drei Teilprojekte, die sich mit der Sortierung des Schnittholzes und der Optimierung des Herstellungsprozesses im Sägewerk befassten. „Log surface" erarbeitete die Voraussetzungen, dass eine automatisierte, optische Rindenerkennung am Rundholz im Sägewerk möglich wurde. Der Hintergrund war die Objektivierung der Bestimmung des Rindenanteils auf einem Stamm, der sich direkt auf die Kosten beim Rund-

holzeinkauf auswirkt. Es ist gelungen, einen Auswertealgorithmus zu entwickeln, die notwendige Prototypanlage im Partnersägewerk zu installieren und auch eine breite Marktdurchdringung vorzubereiten, da das Verfahren durch das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen abgenommen werden wird und somit einen offiziellen Status erhält. Nach der optischen Sortierung des Rundholzes reihte sich die Optimierung der Prozesskette für die Erzeugung von Schnittholz ein. „Log quality" sollte die Möglichkeit schaffen, Rundholz mit bekannten Eigenschaften gezielt für die Produktion eines bestimmten Produkts zur Verfügung zu stellen. Durch den Einschnitt optimalen Rundholzes würde sich die Ausbeute des für die Produktion nutzbaren Schnittholzes erhöhen, was wiederum zu reduzierten Produktionskosten im Sägewerk führen würde. Das dritte Teilprojekt „grain deviation" befasste sich mit dem Schnittholz, und hier mit der Erkennung von lokalen Faserabweichungen mittels Mikrowellenstrahlung. Die Herausforderung lag hier sowohl auf der Konzeption und dem Bau eines Prototyps, der die dreidimensionale Mikrowellendurchstrahlung ermöglichte, als auch auf der Entwicklung eines geeigneten Algorithmus für die Auswertung der Daten. Dieses Projekt war hochkomplex, konnte aber durch die Kooperation der wissenschaftlichen und Unternehmenspartner erfolgreich bearbeitet werden. Erfolgreich heißt in diesem Zusammenhang, dass nicht nur ein funktionsfähiger Prototyp konstruiert, sondern auch ein Patent eingereicht und bewilligt wurde.

Die zweite Area „Building and Living" setzte das Konzept in Richtung des Endverbrauchers fort: Optimierte Produktionsprozesse und verbesserte Produkteigenschaften sind zentrale „hard facts" bei einer Konsumentenentscheidung. „Soft facts" müssen aber ebenso berücksichtigt werden, soll Holz seinen Platz im Pantheon der Baustoffe erfolgreich verteidigen. Daher gliedert sich diese Area in zwei Teilprojekte, die beide zentrale Fragen in Bezug auf den Einsatz von Holz im Bauwesen bearbeiten. „Indoor air quality" untersuchte das Emissionsverhalten der in einem Holzhaus eingesetzten Bau- und Bauhilfsstoffe. Das Emissionsverhalten einzelner Baustoffe war und ist Teil intensiver Forschung. Wie sich aber die unterschiedlichen Emissionen in Kombination auswirken und welche toxikologische Bedeutung den Ergebnissen zuzumessen war, wurde in diesem Teilprojekt heraus gearbeitet. „Energy efficiency" schloss HFA-TiMBER mit der energetischen Analyse eines eigens gebauten Forschungshauses im Maßstab 1:1 ab. Dieses Teilprojekt fügte Informationen aus Messungen, Bewohnerbefragungen und Simulationen zu einem Ganzen zusammen und ermöglichte so eine differenzierte Betrachtung des Einflusses ganz unterschiedlicher Einflüsse: Nutzerverhalten, Art des Dämmstoffs, Umgang mit Beschattungseinrichtungen, etc.

Der Forschungsansatz für HFA-TiMBER: die Wertschöpfungskette vom Stamm bis zum Gebäude zu optimieren.

Der in HFA-TiMBER realisierte Ansatz, eine ganze Wertschöpfungskette zu analysieren, war herausfordernd. Die Ergebnisse bestätigen aber den Erfolg und haben wertvolle Erkenntnisse für die Industrie geliefert. Auf den folgenden Seiten haben Sie Möglichkeit, die Details der einzelnen Teilprojekte zu erfahren.

K-PROJEKT HFA-TiMBER

Gesamtanzahl MitarbeiterInnen: 27
Gesamtvolumen: 3,036.100 €
Laufzeit: September 2009 - Februar 2014

LOG SURFACE

TEILENTRINDUNG AUTOMATISCH ERKENNEN

ANDREAS WEIDENHILLER, JULIA K. DENZLER, MICHAEL GOLSER

Sägewerke, die Rundholz in Rinde lagern, messen den Rundholzdurchmesser in Rinde und wenden einen Rindenabzug an, um den Durchmesser unter Rinde vorherzusagen. Liegt Teilentrindung vor, wird dies bis heute manuell durch eine Person erfasst. Die Holzforschung Austria entwickelte im Rahmen des Projektes „log surface" ein Verfahren, die Teilentrindung computergestützt anhand von Form- und Bildinformationen der Stammoberfläche zu erfassen. Die Projektergebnisse zeigen, dass das Verfahren den Rundholzdurchmesser unter Rinde mit hoher Präzision vorhersagen kann.

Der Anlieferung von Rundholz im Sägewerk folgt meist unmittelbar eine Rundholzvermessung. Die Vermessung dient einerseits der Preisermittlung, andererseits der werksinternen Sortierung. Mittlerweile erfolgt die Vermessung fast ausschließlich durch elektronische Rundholzmessanlagen. Zur Preisermittlung werden die Rundholzlänge und der Rundholzdurchmesser in Stammmitte bestimmt, um das eigentliche Holzvolumen des Stammes beziffern zu können. Anders erfolgt die werkseigene Sortierung: Hier wird meist nach Zopfdurchmesser sortiert, da dieser die aus dem Stamm erzeugbaren Holzprodukte bestimmt. In beiden Fällen ist jedoch die möglichst exakte Bestimmung des Durchmessers an Holzvolumen und damit des Durchmessers unter der Rinde entscheidend.

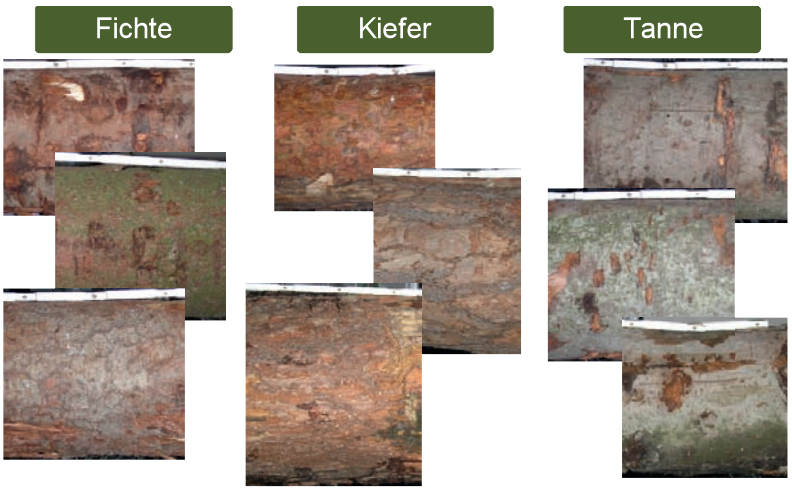


Abb. 1: Erscheinungsbild von Fichte, Kiefer und Tanne

Bei der Rundholzvermessung sind in Österreich sowohl die Messung in Rinde als auch die Messung ohne Rinde zugelassen und finden in der Praxis ihre Anwendung. Beide Varianten haben Vor- und Nachteile. Für die Messung in Rinde etwa spricht die verbesserte Wertkonservierung im Nasslager, höhere Vorschubgeschwindigkeit bei der Rundholzübernahme durch Wegfall des Flaschenhalses Entrindung sowie bessere Stapeleigenschaften im Vergleich zum frisch entrindeten Rundholz. Darüber hinaus ist bei bereits zopfsortiertem Rundholz eine schonendere Entrindung möglich. Erfolgt die Messung in Rinde, ist wie beim Waldabmaß ein Rindenabzug zwischen den Vertragspartnern zu vereinbaren; zum Beispiel anhand von Rindenabzugsfunktionen oder Zentimeterabschlägen. Teilentrindete Stämme werden vom Sortierer gesondert begutachtet. Ist eine Entrindung im Messbereich erkennbar, wird durch Tastendruck sichergestellt, dass kein automatischer Rindenabzug erfolgt. An genau dieser Stelle setzt das Projekt „log surface" an: Ziel des Projekts ist es durch eine objektive, automatische Rindenerkennung eine größtmögliche Genauigkeit der Durchmesser unter Rinde zu erzeugen. Durch das Engagement der Partner ist gewährleistet, dass sich die Entwicklung auf aktuellste Innovationen in der Scannertechnik stützen kann und alle Ergebnisse an einem großen, repräsentativen Rundholzsample überprüft werden können.

INNOVATIVE SCANNERTECHNIK

Kernstück eines solchen automatischen Rindenabzugsverfahrens ist fraglos ein robustes, Scanner gestütztes Verfahren der Rindenerkennung. Folgende Technologien wurden

LOG SURFACE

Unternehmenspartner:	Donausäge Rumplmayr
	MiCROTEC
Gesamtvolumen:	643.761 €
Projektleiterin:	Dr.-Ing. Julia K. Denzler

als geeignet für die Rindenerkennung identifiziert:

- 3D-Scanner
- Farb-Scanner
- Tracheid-Scanner

3D-Scanner zur Ermittlung der Oberflächenkontur gehören schon seit Längerem zur Grundausstattung vieler Sägewerke und werden zur hochgenauen Ermittlung von Durchmesserwerten verwendet. Die volle Information der Oberflächenkontur wurde bisher hingegen nur für Darstellungszwecke genutzt und nun erstmals zur Unterstützung der Rindenerkennung direkt herangezogen. Für die Rindenerkennung kommt ein 3D-Scanner der neuesten Generation mit weiter entwickelter Messtechnik und weiter erhöhter Messgenauigkeit zum Einsatz. Für die genaue Bestimmung der Oberflächenkontur werden pro Stamm weit über 100.000 einzelne Punkte mithilfe der Laser-Triangulation vermessen.
Farbbilder vom Rundholz wurden bisher ausschließlich zu Dokumentationszwecken verwendet, um etwa bei Rückfragen zur Qualitätsbeurteilung oder Rindenbeurteilung einer Fuhre Rundholz die korrekte Beurteilung nachvollziehen zu können. Derartige Bilder unterscheiden sich jedoch wesentlich von Aufnahmen, wie sie für eine algorithmische Bildanalyse benötigt werden. Für die Rindenerkennung wird ein neu entwickeltes Bildaufnahmesystem verwendet, das in Hinblick auf Beleuchtungssystem, Bildqualität und Auflösung erst die vollautomatische Rindenerkennung ermöglicht.
Der Tracheid-Scanner basiert auf der Beobachtung, dass auf eine Holzoberfläche einfallendes Laserlicht im Holz in Faserrichtung weitergeleitet und zurückgestrahlt wird, was neben der optischen und berührungsfreien Ermittlung der Faserrichtung auch eine Unterscheidung zwischen Holz und Rinde ermöglicht. Rinde streut den Laserstrahl in anderem Ausmaß als Holz. Auch in diesem Scanner wird aktuellste hochauflösende Kameratechnik genutzt.
Eine zentrale Herausforderung bei der Entwicklung war, dass der industrielle Prototyp den hohen Vorschubgeschwindigkeiten mit bis zu 240 m/min gerecht wird. Die hochauflösenden Scannersysteme erzeugen große Datenmengen, die in Echtzeit an den Hochleistungsrechner für die Rindenerkennung übertragen werden müssen. Hier kommt die neueste Netzwerktechnologie zum Einsatz.
Im Rahmen des Projekts wurde ein industrieller Prototyp mit diesen drei Scanningtechnologien vom Projektpartner MiCROTEC entwickelt und als Erweiterung des Scanner Systems LogEye beim Projektpartner Donausäge Rumplmayr in ein industrielles Umfeld integriert. Dadurch konnte die Grundlage für eine praxisnahe Entwicklung und Evaluierung der Rindenerkennung geschaffen werden.

ZUVERLÄSSIGE RINDENERKENNUNG

Auf den ersten Blick scheint es ein Leichtes zu sein, anhand optischer Informationen zwischen Rinde und Holz zu unterscheiden. Ein menschlicher Beobachter kann dies in vielen Fällen auf einen Blick. Führt man sich jedoch vor Augen, wie vielfältig das Erscheinungsbild von Rinde sowohl beim Vergleich der Holzarten als auch innerhalb der jeweiligen Holzarten sein kann (Abb. 1), so beginnt man zu ahnen, dass viel Erfahrung und Know-How nötig ist, um Rinde und Holz zuverlässig automatisiert unterscheiden zu können, und dies nicht nur in den offensichtlichen Fällen, sondern auch unter ungünstigen Umständen. Insbesondere die vielfältigen Störeinflüsse am Rundholz wie Verschmutzungen, Oberflächenschäden, Befall durch Pilz oder Käfer sowie jahreszeitlich bedingte Einflüsse wie Schnee und Eis müssen mit bedacht werden, um ein robustes Verfahren der Rindenerkennung zu erzielen. Darüber hinaus hinterlassen unterschiedliche Erntemethoden wie z.B. der Harvester Spuren an der Stammoberfläche, die das Ergebnis beeinflussen können.

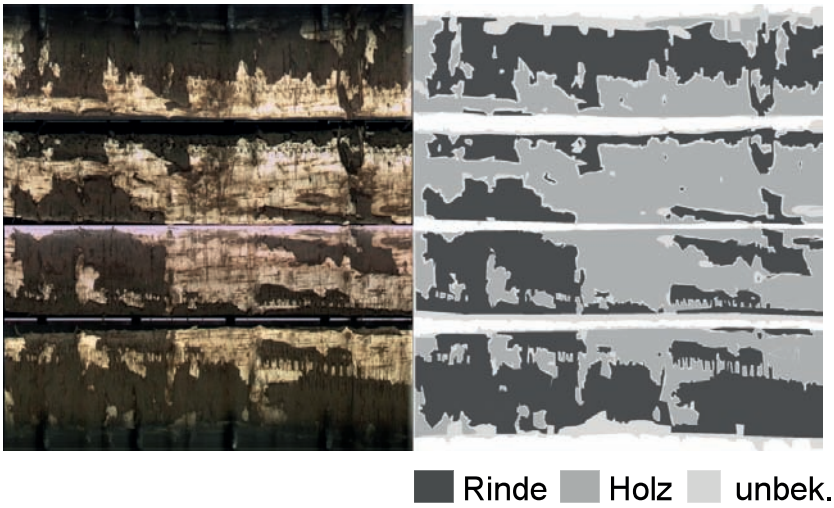


Abb. 2: Detailierte händische Markierung von Rinde und Holz bilden einen wesentlichen Grundstock für die Entwicklung der Rindenerkennung

Dementsprechend wurden gut vier Jahre Entwicklung in die Rindenerkennung gesteckt. In deren Verlauf wurde eine umfangreiche Datenbasis für die Unterscheidung von Rinde und Holz generiert, ausgehend von Farbfotos der Stammoberfläche über Daten aus verschiedenen Entwicklungsstadien des Prototypen bis hin zu groß angelegten Messreihen mit dem endgültigen industriellen System. Wichtiger Bestandteil dieser Datenbasis ist die detaillierte händische Kennzeichnung von Rinde und Holz auf über 100 Stück Rundholz (Abb. 2). Davon ausgehend wurden für jede der drei Scannertechnologien schrittweise Methoden identifiziert

und verfeinert, die eine zuverlässige und robuste Rindenerkennung ermöglichen (Denzler et al. 2013, Weidenhiller und Denzler 2013). Um die maximale Stabilität zu erzielen, wurden diese Methoden abschließend zu einem Multisensorsystem verschränkt. Dieses System ist in Abb. 3 schematisch dargestellt.

UMFANGREICHE EVALUIERUNG

Um nachzuweisen, dass die Rindenerkennung in der Praxis und ungeachtet der Jahreszeit bzw. der verschiedenen Störeinflüsse zuverlässig funktioniert, wurde sie beim Projektpartner Donausäge Rumplmayr an einem Rundholzsample von mehr als 1.400 Stämmen der Holzarten Fichte, Kiefer und Tanne evaluiert. Diese Holzarten werden hauptsächlich in der österreichischen Sägeindustrie verarbeitet

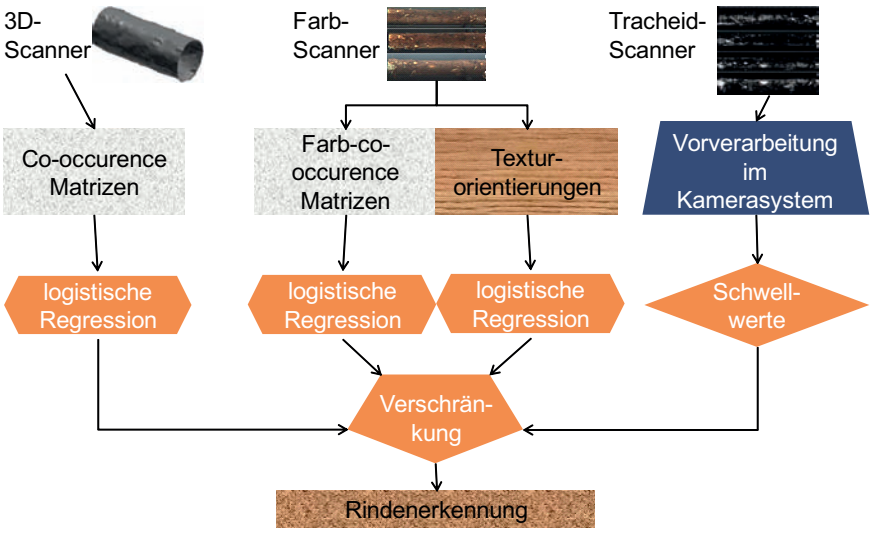


Abb. 3: Schematische Darstellung des Multisensorsystems zur Rindenerkennung

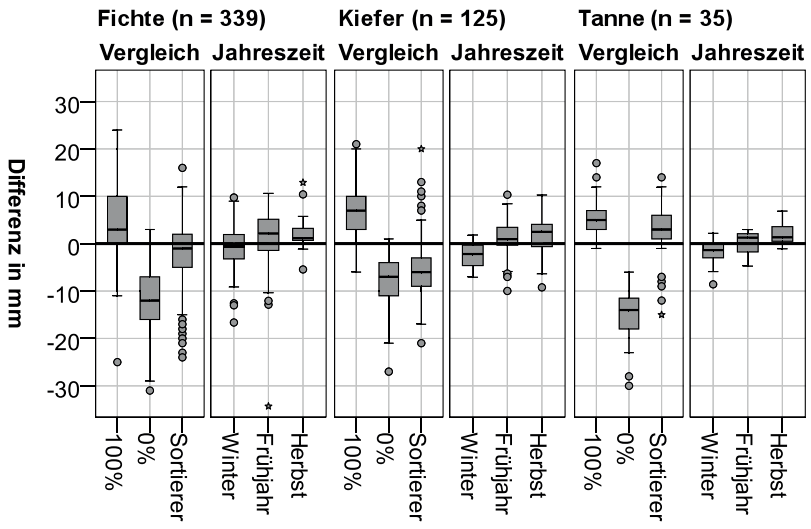


Abb. 4: Evaluierung der jahreszeitlichen Performance der Rindenerkennung

und sind somit eine geeignete, repräsentative Datengrundlage. In drei Durchgängen zu unterschiedlichen Jahreszeiten (Frühling, Herbst, Winter) wurden die Daten von je ca. 500 Stämmen mit dem industriellen Prototyp aufgezeichnet. Des Weiteren wurden verschiedene Eigenschaften wie Verfärbungen, Flechten, Verschmutzungen, Borkenkäfer, Schnee oder Nasslagerung bei der Rindenerkennung berücksichtigt. Diese Eigenschaften beeinflussen die Oberflächenbeschaffenheit und die Farbe von Holz und Rinde.

Die Stämme wurden sowohl in Rinde als auch nach der Entrindung gescannt. Der Scan in Rinde bildet die Grundlage für den automatischen Rindenabzug und entspricht der Aufgabenstellung des Projekts. Der Scan nach der maschinellen Entrindung ergibt eine Näherung für das tatsächliche Holzvolumen und damit die zu ermittelnde Zielgröße. Da eine industrielle Entrindung auch den Holzkörper beschädigen kann und dadurch die Zielgröße verfälscht werden könnte, wurden alle Stämme nach der Entrindung inspiziert. Vorsichtshalber wurden etwa 400 Stämme von der weiteren Auswertung ausgeschlossen, da bei diesen die Entrindung teils zu stark, teils zu schwach durchgeführt wurde und eine Verfälschung der Zielgröße nicht ausgeschlossen werden konnte.

Die verbleibenden 1.000 Stämme wurden zur Hälfte für die Entwicklung und zur Hälfte für eine unabhängige Evaluierung verwendet. Für letztere wurde, basierend auf dem Ergebnis der Rindenerkennung und der Schönbrunner Rindenstärketabelle, der Durchmesser unter der Rinde berechnet und mit dem Durchmesser nach der Entrindung verglichen. Die Differenz (entrindeter Durchmesser minus berechneter Durchmesser) ist in Abb. 4 für die drei Holzarten getrennt nach Jahreszeit für die Evaluierung dargestellt. Zum Vergleich ist jeweils angegeben, welche Differenz sich bei vollem Rindenabzug („100%“) bzw. ohne Rindenabzug („0%“) ergäbe, um den möglichen Wertebereich der Differenzen darzustellen. Weiters ist zum Vergleich die Differenz angegeben, die sich beim vom Sortierer durchgeführten Rindenabzug ergibt.

Die Diagramme zeigen, dass die Rindenerkennung für alle drei Holzarten gleichermaßen gut funktioniert. Es bestehen keine wesentlichen jahreszeitlichen Abhängigkeiten. Die Differenzwerte sind nahe bei null und zeigen, dass der berechnete Durchmesser unter der Rinde gut mit dem Durchmesser nach der Entrindung übereinstimmt. Die Boxenhöhe, die ein Maß für die Streuung der Werte ist, ist gering und zeigt, dass nicht nur im Mittel korrekte Durchmesser berechnet werden, sondern auch für jeden einzelnen Stamm. Die Höhen der „Sortierer“-Boxen in Abb. 4 sind etwas größer als für die neue automatische Rindenerkennung. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Sortierer den Rindenabzug über eine „Ja/Nein“-Entscheidung steuert, während die

automatische Rindenerkennung in der Lage ist, graduelle Rindenabzüge durchzuführen. In anderen Worten: Für den Einzelstamm hat die automatische Rindenerkennung die flexibleren Möglichkeiten, den Durchmesser unter Rinde genau zu treffen.

Neben den jahreszeitlichen Einflüssen wurden auch Einflüsse des Stammdurchmessers und der verschiedenen Störeinflüsse untersucht. Für die diesbezüglichen Ergebnisse sei auf die aus dem Projekt resultierenden Fachpublikationen verwiesen (Denzler et al. 2014, Weidenhiller et al. 2014).

Abb. 5 zeigt ein anschauliches Beispiel für die Genauigkeit der Rindenerkennung . Hier ist ein Fichtenstamm zunächst mit seiner optischen Oberflächenbeschaffenheit dargestellt. Darunter ist auf die Stammkontur die händische Markierung von Holz und Rinde projiziert; ganz unten schließlich das Ergebnis der vollautomatischen Rindenerkennung. Schon rein optisch ist die Deckung zwischen der erkannten Rinde und der tatsächlich vorhandenen Rinde am Stamm nahezu 100%.

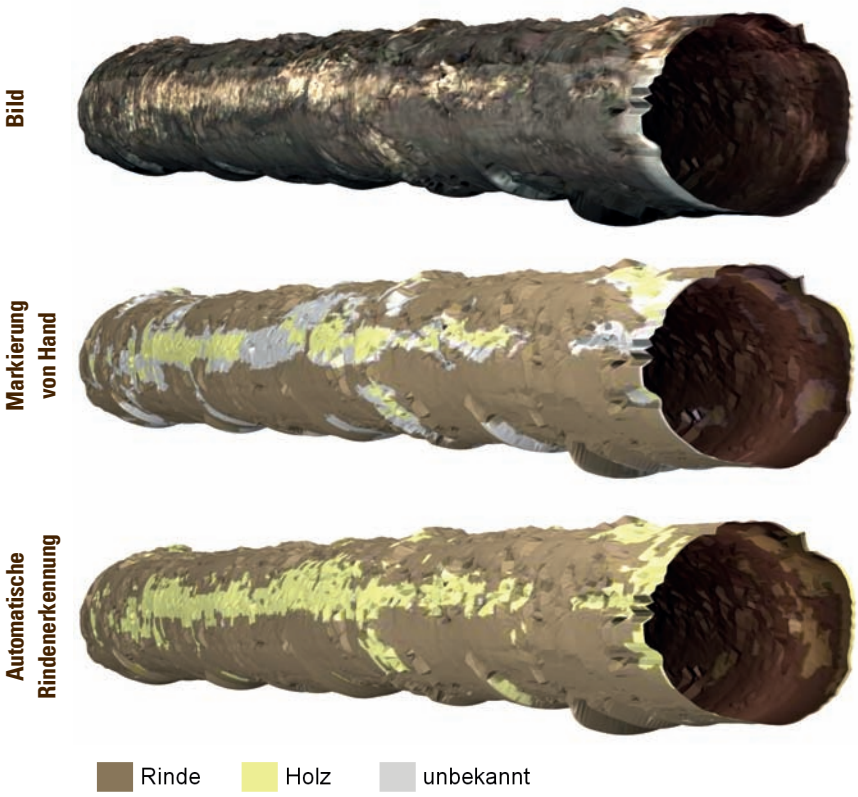


Abb. 5: Plastische Darstellung zum Vergleich von Originalbild, händischer Markierung und Ergebnis der Rindenerkennung

ZUSAMMENFASSUNG

Im HFA-TiMBER-Projekt „log surface" konnte unter Einsatz modernster Scannertechnologie und gestützt auf hochentwickelte Bildverarbeitungsmethoden der industrielle Prototyp einer vollautomatischen Rindenerkennung geschaffen werden. Sorgfältig geprüfte Evaluierungsergebnisse an etwa 500 Stämmen der Holzarten Fichte, Kiefer und Tanne belegen, dass dieses System bereits ganzjährig einsetzbar ist. Es hat sich als robust gegenüber den vielfältigen Störeinflüssen an der Rundholzoberfläche erwiesen. Damit könnte die vollautomatische Rindenerkennung bereits in naher Zukunft in der Praxis zum Einsatz kommen. Die zwischen den Marktpartnern erarbeiteten, langjährigen Grundprinzipien für Rundholzvermessung und Rindenabzug können dabei in vollem Umfang beibehalten werden.

VERÖFFENTLICHUNGEN

Denzler, J. K.; Weidenhiller, A.; Golser, M. (2013) Comparison of different approaches for automatic bark detection on log images. Wood Science and Technology 47(4):749-761. doi: 10.1007/s00226-013-0536-9

Denzler, J. K.; Weidenhiller, A.; Golser, M. (2014) Detecting pine log diameter under bark by using shape and image data. submitted to Scandinavian Journal of Forest Research

Weidenhiller, A.; Denzler, J. K. (2014) On the suitability of colour and texture analysis for detecting the presence of bark on a log. Computers and electronics in agriculture 106:42-48. doi: 10.1016/j.compag.2014.05.010

Weidenhiller, A.; Denzler, J. K.; Golser, M. (2014) Detecting spruce and fir log diameter under bark by using shape and image data. submitted to Scandinavian Journal of Forest Research

KONTAKT
Mag. Andreas Weidenhiller
Tel. 01/798 26 23 - 917
a.weidenhiller@holzforschung.at

LOG QUALITY

OPTIMIERTER RUNDHOLZEINSATZ DURCH MULTI-SENSOR-TECHNOLOGIE

JULIA K. DENZLER, PETER LINSENMANN

„Log quality“ hat sich zum Ziel gesetzt, die in einem Sägewerk zur Verfügung stehenden Rundholzqualitäten ihrer bestmöglichen Nutzung zuzuführen. Was die „bestmögliche Nutzung“ ist, hängt von der Produktpalette, dem Anforderungsprofil der jeweiligen Firmen und dem Erlös des Schnittholzes ab. Einigkeit besteht aber darin, dass möglichst früh im Sägewerksprozess die Entscheidung getroffen werden soll, welches Rundholz für welches Produkt eingesetzt wird. Damit lassen sich unnötige Prozessschritte, z.B. Einschnitt oder Trocknung von nicht oder schlecht verwertbarem Material, vermeiden.

ALLGEMEINE PROBLEMSTELLUNG

Derzeit teilt die Sägeindustrie das eingekaufte Rundholz nach optischer Qualität und vor allem nach Zopfdurchmesser in Klassen ein, die für bestimmte Produkte verwendet werden. Die Entscheidung, welche Rundholzqualität zur Herstellung welcher Produkte verwendet wird, basiert zum Einen auf der Erfahrung des Sägers, zum Anderen auf der verfügbaren Menge der entsprechenden Qualitäten und Zopfdurchmesser. Diese Entscheidung sollte auf Basis automatisiert messbarer Parameter möglichst früh im Sägewerksprozess gefällt werden, damit jeder Stamm einer adäquaten und ökonomisch sinnvollen Nutzung zugeführt werden kann. Zu diesem Zweck war die Konzeption und Optimierung eines Multi-Sensor-Systems für Stämme vorgesehen, das aus drei wesentlichen Komponenten (Abb. 1) aufgebaut ist:

- einem Röntgenscanner,
- Oberflächenkameras und
- einer Längsschwingungsmessung.

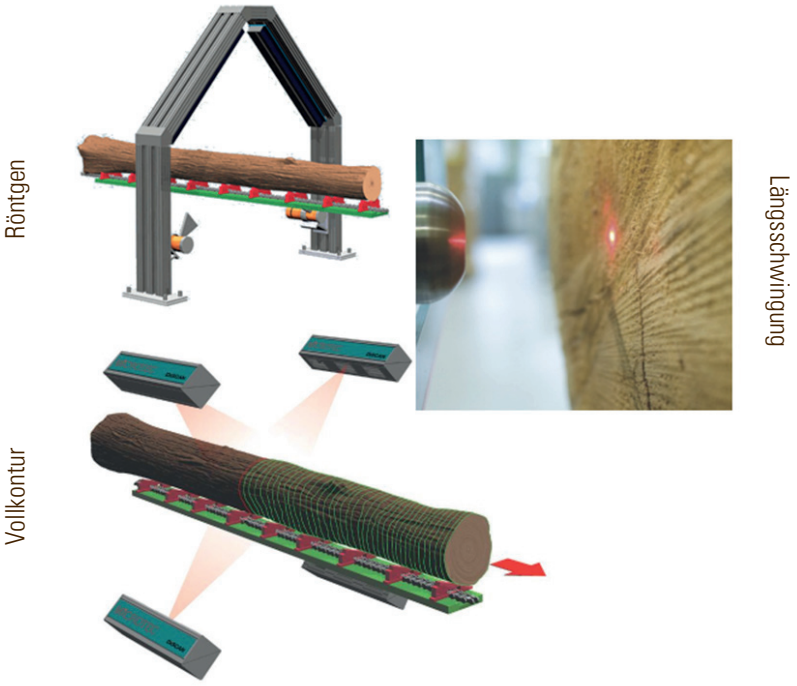


Abb. 1: Bestandteile des Multisensorsystems

Der Röntgenscanner dient zur Bestimmung der Rohdichte und der Erkennung von Ästen auch im Stamminneren. Die Oberflächenkameras liefern neben einer Vollkonturmessung, d.h. Abmessungen und Länge, auch Merkmale an der Stammoberfläche, z.B. sichtbare Äste und deren Abstand oder Verfärbungen. Über eine Längsschwingungsmessung kann die Eigenfrequenz f in Hz jedes Stammes ermittelt werden. Mit der Rohdichteinformation und der Länge des Stammes ist der sogenannte dynamische E-Modul ermittelbar.

Nur durch die Vernetzung der einzelnen Sensoren ist es möglich, die Vorteile der wesentlich verbesserten Qualitätsansprache des Rundholzes mit gewünschten Eigenschaften des Schnittholzes zu verbinden und auf diese Weise die angestrebten verbesserten Ausbeuten und verringerten Ausschüsse zu realisieren.

Die Leistungsfähigkeit des Multi-Sensor-Systems wurde in Versuchen an 85 Fichtenstämmen untersucht, von denen die eine Hälfte 23 cm, die andere 35 cm Zopfdurchmesser aufwies. Zusätzlich zu den oben genannten Scannern wurde das Potenzial des Tracheidlaser zur Erkennung von Drehwuchs am Stamm sowie der Zusammenhang von Harzgallen an der Rundholzstirnfläche zu den Harzgallen am Schnittholz untersucht um bei positiver Evaluierung entsprechende Geräte in das Multi-Scanner-System einzufügen.

LOG QUALITY

Unternehmenspartner:	Hassalcher Drauland Holzindustrie
	MiCROTEC
Gesamtvolumen:	336.231 €
Projektleiterin:	Dr.-Ing. Julia K. Denzler

Darüber hinaus erfolgte eine Qualitätseinstufung anhand der Österreichischen Holzhandelsusancen (ÖHHU) in AB, C, Cx und Y. Nach der umfassenden Aufnahme am Stamm erfolgte der Einschnitt (Tab. 1) und anschließend die Bestimmung von Festigkeit, E-Modul, Rohdichte und damit der Sortierklasse sowie der Anzahl an Harzgallen am Schnittholz.

ERGEBNISSE DER QUALITÄTSUNTERSUCHUNG

Erstes wesentliches Ergebnis des Projektes ist der sehr gute Zusammenhang zwischen dem E-Modul am Rundholz und dem E-Modul am Schnittholz (Abb. 2). Damit lässt sich am Rundholz bereits eine Einteilung in Rundholz-E-Modulklassen erzielen, die sich am Schnittholz wiederfinden werden. Dies gilt sowohl für den Kantholzeinschnitt als auch den Bretteinschnitt und kann als Meilenstein in der Vorsortierung von Rundholz betrachtet werden.

Betrachtet man die Schnittholzausbeuten detaillierter und sortiert Bretter und Kanthölzer maschinell in zwei Sortierklassen und Ausschuss, zeigt sich, dass in beiden Fällen die höchste Sortierklasse L40 bzw. C30 hauptsächlich aus der optisch hochwertigsten Rundholzklasse (AB) entstammt (Abb. 3). Der Ausschuss stammt bei den Brettern aus allen Rundholzqualitäten außer Y, bei den Kanthölzern aus allen außer AB. In beiden Fällen ist zu beachten, dass sich der Ausschuss nicht nur aus der maschinellen Sortierung ergibt, sondern auch Prüfkörper enthält, die händisch während des Sortierprozesses entweder nach der Säge im frischen Zustand oder nach der maschinellen Sortierung im trockenen Zustand aufgrund visueller Kriterien ausgeschieden wurden.

Die Qualitätseinteilung nach ÖHHU zeigt folglich ähnliche Tendenzen wie die Einteilung nach dem Rundholz-E-Modul. Eine Einteilung der Versuchsergebnisse mit den Grenzwerten 12.000 N/mm² und 9.500 N/mm² in drei E-Modulbereiche repräsentiert eine Qualitätseinstufung (Abb. 4): Auf der Y-Achse ist der Festigkeitsparameter der maschinellen Sortierung (IP_f) mit einem GoldenEye-706 aufgetragen, auf der X-Achse der Rundholz-E-Modul; die Klassen sind durch vertikale Linien getrennt. Die höchsten Sortierklassen L40 bzw. C30 werden auch hier überwiegend aus der höchsten Rundholz-E-Modulklasse produziert. Allerdings zeigt der geringe Ausschussanteil auch die allgemein hohe Qualität des Versuchsmaterials und damit die Schwierigkeit der Festlegung von Grenzen. Hierzu wäre eine deutliche größere Datenbasis notwendig. Zusammengefasst zeigen die ersten Ergebnisse, dass eine Rundholz-Vorsortierung durch den Stamm-E-Modul sehr gute Informationen über die Qualität des Schnittholzes liefert. Damit konnte eine wesentliche Fragestellung des Projekts positiv beantwortet werden.

Der Zusammenhang von Harzgallen am Rundholzquerschnitt mit den Harzgallen auf allen vier Schnittholzseiten über die gesamte Schnittholzlänge erwies sich als gering (Abb. 5). Tendenziell nimmt die Anzahl am Schnittholz mit zunehmender Anzahl am Rundholzquerschnitt zwar zu, aber es lassen sich keine Grenzwerte oder eindeutige Klassen definieren. Darüber hinaus ist eine technische Umsetzung automatisch generierter Hirnholzfotos während der industriellen Stammsortierung nicht einfach, z.B. sind die Lichtverhältnisse bei der Erstellung solcher Fotos für die automatische Auswertung entscheidend.

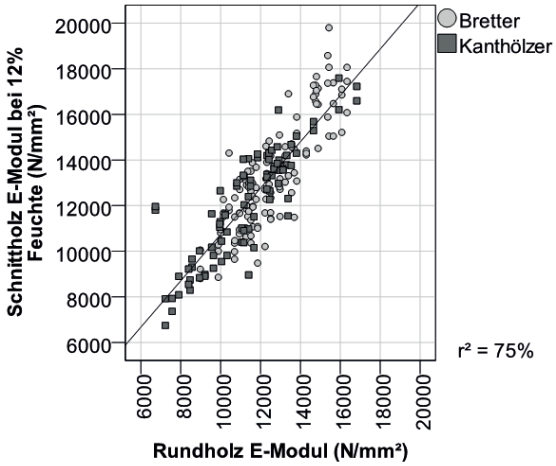
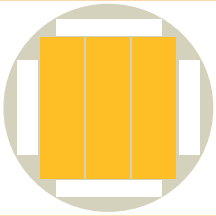
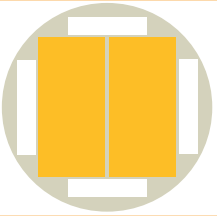


Abb. 2: Vergleich zwischen Rundholz- und Schnittholz-E-Modul

Drehwuchs an der Stammoberfläche kann mit Laserpunkten erfasst werden, die auf die entrindete Stammoberfläche projiziert werden. Durch den sog. Tracheid-Effekt werden die eigentlich runden Laserpunkte auf der Holzoberfläche zu Ellipsen verformt, die in Richtung der Faser weisen (Abb. 6a). Abb. 6b zeigt, dass der Zusammenhang zwischen Drehwuchs am Rundholz und Schnittholz nicht stark ausgeprägt ist. Mit einer Grenzwertanalyse können aber sehr stark drehwüchsige Rundhölzer und damit Schnitthölzer mit geringem E-Modul ausgeschieden werden. Überschreitet der

Tab. 1: Übersicht des Versuchsmaterials

				Summe
Stämme	Zopfdurchmesser	23 cm	35 cm	
	Länge	4 m	4 m	
	Anzahl	42	43	85
	Einschnitt			
Schnittholz	Anzahl Bretter	126 (48 x 155 mm²)	0	126
	Anzahl Kanthölzer	0	86 (110 x 234 mm²)	86
	Anzahl Seitenbretter	168 (84: 17 x 115 mm², 84: 22 x 104 mm²)	172 (106: 29 x 129 mm² 106: 29 x 157 mm²)	340

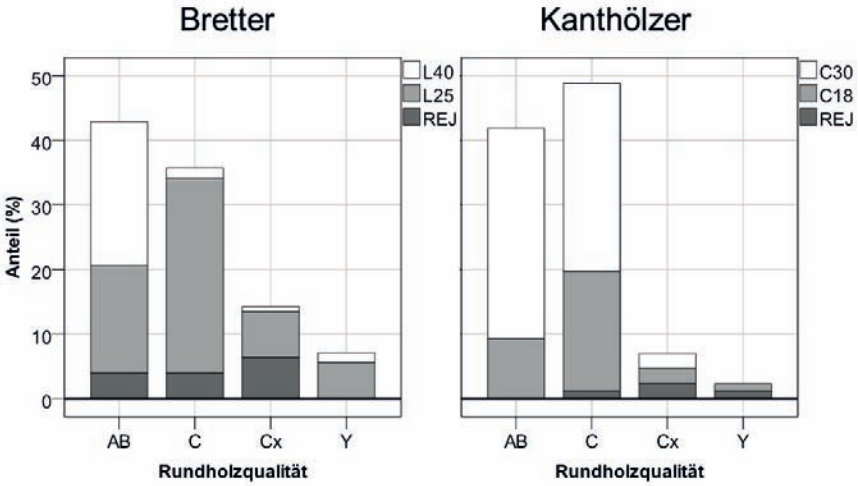


Abb. 3: Ausbeute bei maschineller Sortierung getrennt nach Einschnitt und Rundholzqualität

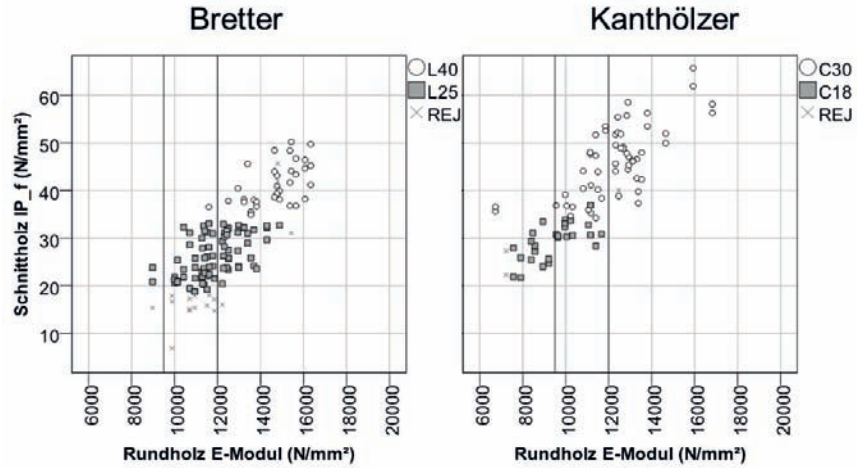


Abb. 4: Ergebnis der maschinellen Sortierung über E-Modulklassen

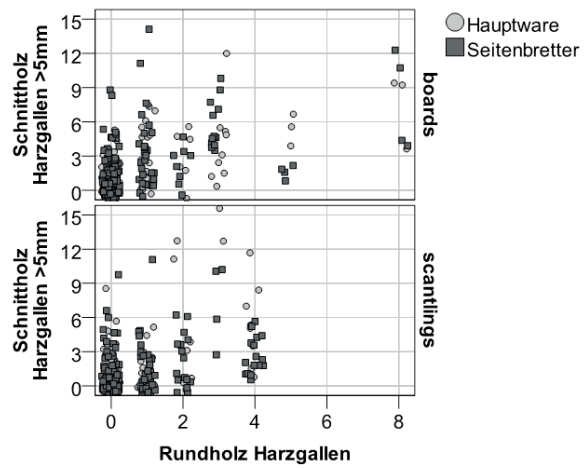


Abb. 5: Vergleich des Auftretens von Harzgallen am Rundholz-Querschnitt und am Brett bzw. Kantholz

Rundholzdrehwuchs einen Grenzwert von 8°, sollte dieses nicht für Schnittholz für tragende Zwecke eingeschnitten werden. Die Installation von Punktlasern in das Multi-Sensor-System sollte folglich angedacht werden. Weiterführende Informationen finden Sie bei Denzler & Weidenhiller (2014).

Die Versuchsergebnisse zeigen deutlich, dass der Rundholz-E-Modul einen wesentlichen Beitrag zur „frühen" Schnittholzsortierung liefert. Um einen ganzjährigen Einsatz zu ermöglichen, muss der Rundholz-E-Modul auch im Winter zuverlässig bestimmt werden können. Ist das Wasser im Stamm komplett gefroren, kann der gemessene Rundholz-E-Modul über einen Korrekturfaktor in einen Rundholz-E-Modul im aufgetauten Zustand überführt werden. Im Übergangsbereich – es ist sowohl aufgetautes als auch gefrorenes Wasser im Stamm vorhanden – können die Messwerte nur korrigiert werden als ob alles Wasser gefroren sei, da sich diese sprunghaft ändern. Dies führt allerdings zu erheblichen Ausbeuteverlusten.

ERGEBNISSE DES TEMPERATUREINFLUSSES

Durch eine zusätzliche, an sechs Fichtenstammabschnittschnitten durchgeführte Untersuchung sollte geklärt werden, ob es möglich ist, den Zustand des Stammes – komplett gefroren, Übergangszustand oder komplett aufgetaut – zu detektieren, um eventuell Messwerte von Stämmen im Übergangszustand zu verwerfen oder geeignet zu korrigieren. Untersuchte Methoden waren die Messung der Umgebungstemperatur, die Infrarotmessung der Stammoberfläche, die Temperaturmessung des Stammes selbst durch Sensoren in unterschiedlichen Tiefen sowie eine spezielle Analyse des gemessenen Frequenzspektrums. Es wurde ein Stammtemperaturbereich von 20°C bis +30°C untersucht, auch abhängig von der Richtung der Temperaturänderung, d.h. gefrieren oder auftauen. Als einzige Methode mit entsprechendem Potenzial konnte die Analyse des Frequenzspektrums identifiziert werden und dabei insbesondere die Dämpfung: Gefrorene Stämme weisen einen geringeren Dämpfungsfaktor auf, als aufgetaute oder teilweise aufgetaute Stämme (Abb. 7). Bei einem gewählten Dämpfungsfaktor von 0,03 bis 0,05 konnten rund 60% der Stämme identifiziert werden, die sich bei der Messung im Übergangszustand befanden und von der Auswertung ausgeschlossen werden sollten. Auch hier wäre eine detaillierte Untersuchung vor allem unter industriellen Bedingungen erforderlich. Mit Hilfe der Auswertung des Dämpfungsfaktors könnte das System der Rundholz-E-Modulmessung ganzjährig zur Rundholzvorsortierung verwendet werden, allerdings können nicht alle Stämme im Übergangszustand sofort weiterverarbeitet werden. Weiterführende Informationen finden Sie in Denzler et. al. (2014).

ZUSAMMENFASSUNG

Das Projekt „log quality" hat gezeigt, dass der Einsatz eines Multi-Sensor-Systems eine gute Datenbasis zur Rundholzvorsortierung liefert; insbesondere der E-Modul bietet das größte Potenzial. Für bestimmte Produkte ungeeignetes Rundholz kann aussortiert und der Einschnitt in einem sehr frühen Stadium des Produktionsprozesses in andere Produkte gelenkt werden und so wesentlich zur Kostenersparnis beitragen. Auch ist eine Optimierung innerhalb des Produktionsprozesses und damit eine deutlich bessere Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Materials möglich. Deshalb sehen die Autoren großes Potential in der Rundholzvorsortierung.

VERÖFFENTLICHUNGEN

Denzler, J. K.; Weidenhiller, A. (2014): Influence of moisture content and timber temperature on modulus of elasticity of spruce logs. submitted to Holzforschung

Denzler, J. K.; Weidenhiller, A.; Golser, M. (2014): Properties relationship between logs and sawn timber. In preparation for submission to Scandinavian Journal of Forest Research

a) b)

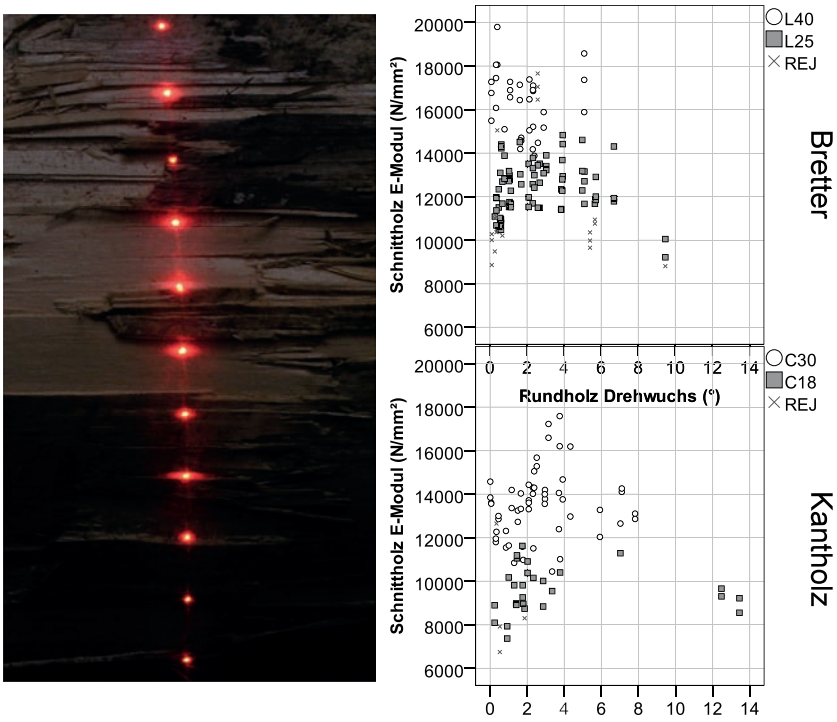


Abb. 6: a) Tracheidlaser trifft auf Rundholzoberfläche b) Schnittholz E-Modul über Rundholzdrehwuchs.

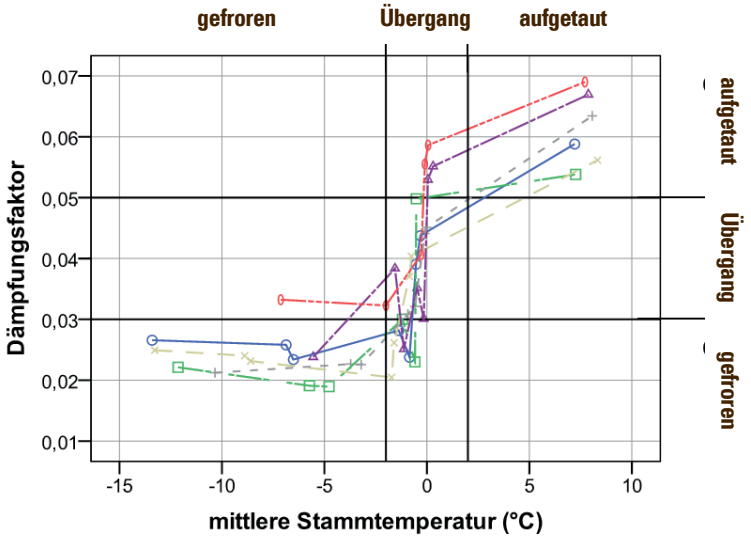


Abb. 7: Dämpfungsfaktor über mittlerer Rindholztemperatur

KONTAKT
Dipl.-Forstw. Peter Linsenmann
Tel. 01/798 26 23 - 51
p.linsenmann@holzforschung.at

GRAIN DEVIATION

DEM WIPFELBRUCH AUF DER SPUR

JULIA K. DENZLER, CHRISTIAN LUX

Das Projekt „grain deviation“ befasst sich mit der Schnittholzsortierung unterstützt durch Mikrowellendurchstrahlung. Weicht in Schnittholz die Faserrichtung von der Einschnittlängsrichtung ab, wird die Festigkeit deutlich reduziert. Bisher werden Faserabweichungen über Äste oder Risse im Holz abgeschätzt. Bei einigen starken Faserabweichungen wie z.B. bei Wipfelbrüchen ist dies nur schwer möglich. Gerade diese Stücke weisen teilweise geringe Festigkeiten auf und sollten aussortiert werden.

Abb. 1: Prüfkörper gebrochen durch starke lokale Faserabweichung

Im Zuge des Projekts wurden mit Hilfe von Mikrowellendurchstrahlung ein Verfahren zur Bestimmung von 3D Faserrichtungen im Holz und ein zugehöriger Prototyp entwickelt, der die Faserabweichung auch im Inneren des Holzkörpers detektieren kann. Dadurch wird eine große Lücke im Rahmen der maschinellen Festigkeitssortierung geschlossen. Dieses Projekt hatte eine Laufzeit von 4,5 Jahren und umfasste ein Budget von knapp 700.000 €.

Ziel der maschinellen Schnittholzsortierung ist es, die Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften von Schnittholz aufgrund von zerstörungsfrei ermittelten Parametern möglichst genau vorherzusagen. Trotz der rasanten Weiterentwicklung von maschinellen Sortiersystemen bleiben derzeit Faserabweichungen, die nicht direkt in Verbindung mit Ästen auftreten, nur an der Oberfläche sichtbar (Abb. 1). Die fehlende Möglichkeit des Erkennens von Faserabweichungen im Holzvolumen führt zur Suche nach alternativen Messmethoden. Einen Lösungsansatz bietet die Mikrowellendurchstrahlung die zur Bestimmung der Faserrichtung in Holz verwendet wird.

Mikrowellen sind elektromagnetische Wellen die in einem Frequenzbereich von 300 GHz bis 0,3 GHz liegen. Handelsübliche Haushaltsmikrowellen arbeiten mit einer Frequenz von 2,45 GHz, die eine Wellenlänge von 12,2 cm hat. In diesem Projekt wurde eine Arbeitsfrequenz von 12 GHz mit einer Wellenlänge von 2,5 cm benutzt. Die halbe Wellenlänge entspricht der maximalen möglichen Auflösung, so dass Schnittholz in Einzelvolumen von 1,25 × 1,25 × Dicke cm^3 untersucht werden kann. Dieses Verfahren arbeitet berührungslos und zerstörungsfrei. Im Gegensatz zum Röntgenverfahren ist die Mikrowellendurchstrahlung in diesem Frequenzbereich für den Menschen unschädlich, so dass keine aufwändigen Abschirmungen oder Sicherheitsvorkehrungen im Werk getroffen werden müssen, was einen entscheidenden Vorteil für den industriellen Einsatz darstellt.

Holz besitzt neben seinen mechanischen auch elektrische Eigenschaften, die bei der Mikrowellendurchstrahlung genutzt werden. Es wird linear polarisierte Mikrowellenstrahlung verwendet, die beim Durchgang von Holz verändert wird. Diese Änderungen werden nach dem Austreten der Mikrowellenstrahlung aus dem Holz gemessen und mit der eingestrahlten Ausgangswelle verglichen. Aus diesen Informationen lassen sich Faserabweichungen, Holzfeuchte und Rohdichte bestimmen. Im Vergleich zum bereits eingesetzten Tracheid-Lasersystem zur Faserwinkelerkennung ist die Mikrowellendurchstrahlung in der Lage, die Faser-

GRAIN DEVIATION

Unternehmenspartner:	DOKA
	MiCROTEC
Wissenschaftliche Partner:	TU Wien / Institute of Electrodynamics, Microwave and Circuit Engineering (EMCE)
	BOKU / Physik und Materialwissenschaft (IPM)
Gesamtvolumen:	713.381 €
Projektleiterin:	Dr.-Ing. Julia K. Denzler

abweichungen auch im Inneren des Prüfkörpers zu detektieren, was dem Tracheid-Lasersystem nur oberflächlich möglich ist.
Im Rahmen des Projekts wurde ein Prototyp entwickelt, der erstmals Faserwinkel in drei Raumrichtungen und in lokaler Auflösung liefert. Als erstes wurde ein Verfahren zur Berechnung der 3D Faserrichtungen mittels stereoskopischer Mikrowelleneinstrahlung entwickelt. Stereoskopische Einstrahlung bedeutet, dass die Mikrowellenstrahlung aus mehreren Richtungen simultan verwendet wird. Des Weiteren mussten neue Sende- und Empfangsantennen für den Prototyp entwickelt werden, um das Mikrowellensystem modular aufzubauen und eine hohe Flexibilität zu erreichen. Das Ergebnis war ein Prototyp mit einer Sendezeile bestehend aus 28 Antennen und mit einer Empfängereinheit bestehend aus 3 Antennen, die über der Sendezeile in unterschiedlichen Winkeln angeordnet sind (Abb. 2a). Um die endgültige Konfiguration des Prototyps zu erreichen, arbeiteten die Projektpartner eng zusammen, um sowohl die industriellen Anforderungen als auch die technische Umsetzbarkeit bestmöglich zu berücksichtigen. Industrielle Anlagen arbeiten z.B. mit Vorschubgeschwindigkeiten von bis zu 450 m/min. Diesen Anforderungen muss ein Scanning-System einschließlich des Mikrowellenprototyps gewachsen sein und dabei alle wesentlichen, festigkeitsrelevanten Holzmerkmale berührungslos und zerstörungsfrei erkennen können. Erste Testmessungen mit dem Prototyp zeigten Abweichungen zwischen Messwerten und realen Prüfkörpern. Um diese Abweichungen zu beseitigen, mussten zusätzliche Modifikationen erarbeitet werden:

• Planung und Konstruktion von Abschirmungen, um sogenannte Randeffekte, die bei den Messungen auftreten, abzuschirmen. Beim Scannen mit Mikrowellenstrahlung werden die Wellen an den Prüfkörperkanten gebrochen und erzeugen Sekundärwellen, die die primären „Messwellen" überlagern. Werden diese Sekundärwellen nicht abgeschirmt, wird das gesamte überlagerte Signal detektiert was bei der Auswertung zu falschen Ergebnissen führt. Weiterführende Beschreibungen können der Veröffentlichung (Denzler et al. 2013) entnommen werden.

• Kalibration jeder der 28 Antennen der Sendezeile und der drei Empfangsantennen, um eine sauber getrennte Signalgebung zu erreichen.
• Einstellen eines geeigneten Abstandes zwischen Sendezeile und Empfängereinheit, da dieser die Signalübertragung beeinflusst.
• Anbringen von Absorbermaterial, um Reflexionen an Gestell und Antennengehäuse zu verhindern.
Mit diesen Modifikationen wurde die endgültige Konfiguration des Prototyps erreicht und verschiedene Prüfkörperkategorien gescannt:
• „Standard" dabei werden die Faserabweichungen durch Äste bzw. Astquirle hervorgerufen
• „Wipfelbruch in der Fläche", die auftretenden Faserabweichungen sind überwiegend horizontal und
• „Wipfelbruch in der Tiefe", die auftretenden Faserabweichungen sind überwiegend vertikal (tauchend)

Abb. 4a) zeigt einen Prüfkörper mit einem Wipfelbruch in der Fläche. Die berechneten Faserwinkel auf der Breitseite sind als schwarze Pfeile dargestellt und folgen der darunter ersichtlichen Holzmaserung. Dies gilt auch für die tauchenden Faserabweichungen auf der Schmalseite. Abb. 4b) zeigt einen Prüfkörper mit einem Wipfelbruch in der Tiefe. Mit dieser finalen Konfiguration und den erfolgreichen und genauen Testmessungen wurden folgende Fragestellungen aus dem Projekt bearbeitet:

• Können Stücke mit starken Faserabweichungen identifiziert und ausgeschlossen werden?
• Ist eine Holzfeuchte- und Dichtemessungen für Schnittholz

Tab. 1: Schnitthölzer der Festigkeitssortierung

Serie	Kategorie	n	Art / Anzahl		Holzfeuchte in %	Festigkeit in N/mm²	Steifigkeit in N/mm²	Dichte in kg/m³
„Training"	Standard	86			9,6	32,6	11 900	448
	Wipfelbruch	97	Fläche	71	9,3	29,9	11 400	452
			Tauch	26	9,3	28,2	10 500	440
	gesamt	183			9,3	30,9	11 500	448
„Test"	Standard	60			10,1	33,7	12 600	454
	Wipfelbruch	56	Fläche	34	9,4	25,8	10 800	438
			Tauch	22	9,5	22,4	10 100	424
	gesamt	116			9,8	29,2	11 600	444

a) b)

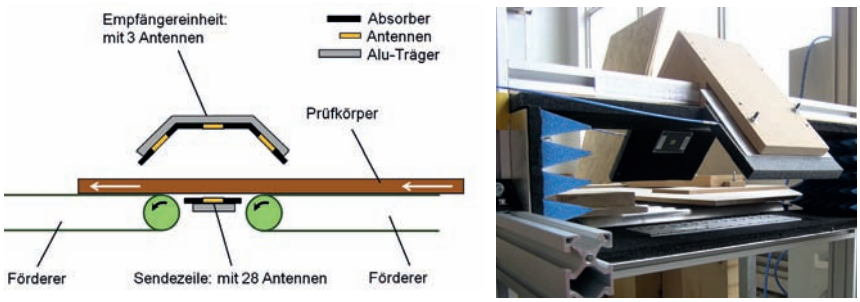


Abb. 2: Prototypensetup, a) Skizze des Prototypenaufbaus, b) Endgültige Konfiguration des Prototyps.

a) b)

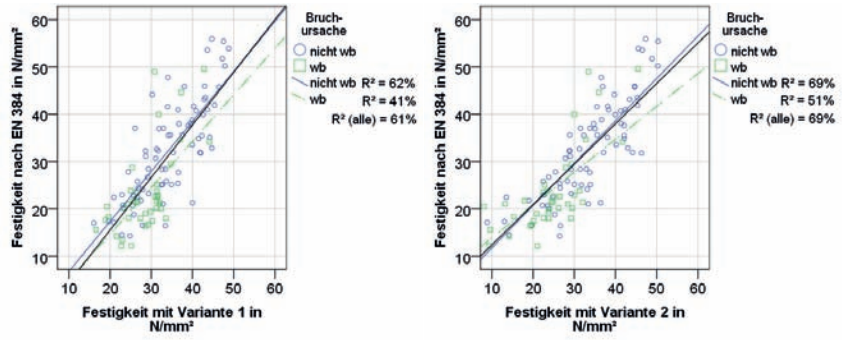


Abb. 3: Vergleich der Festigkeitsregressionen von a) Längsschwingung & Dichte und b) Längsschwingung & Dichte & Mikrowellendurchstrahlung

mit Gebrauchsfeuchten im Bereich von 6 – 20 % berührungslos und mit ausreichender Genauigkeit möglich?

FESTIGKEITSSORTIERUNG VON SCHNITTHOLZ

Die zu beantwortende Fragestellung lautete: Lässt sich die Genauigkeit der Festigkeitsvorhersage durch die Hinzunahme des Mikrowellensystem steigern? Lassen sich bessere Ausbeuten bei der maschinellen Festigkeitssortierung erzielen? Um statistisch gesicherte Erkenntnisse zu erzielen, wurden 2 Schnittholzserien untersucht, wobei die erste zum „Training" des Systems und der Einstellwerte herangezogen wurde, die zweite Serie zum Testen und erzielen von unabhängigen Ergebnissen verwendet wurde (Tab. 1). Alle Schnitthölzer wurden zunächst mit der Sortiermaschine GoldenEye-706 bestehend aus Längsschwingungsmessung mit ViSCAN, Röntgenscanner und voll ausgestattetem Oberflächenscanner (Triangulation, Tracheid, Farbe) gemessen. An der Holzforschung Austria erfolgte dann die Messung mit dem Mikrowellenprototyp sowie die Einteilung der Prüfkörper in Kategorien (Tab. 1), bevor die Schnitthölzer im Zugversuch zerstörend geprüft wurden.

Die Ergebnisse zeigten, dass Mikrowellendurchstrahlung auf zwei unterschiedliche Arten genutzt werden kann: Entweder zum Identifizieren und Aussortieren von Schnitthölzern mit starken Faserabweichungen oder zur Verbesserung der Festigkeitsvorhersage aller Schnitthölzer.

Bei der Identifikation von Schnitthölzern mit starker Faserabweichung wurden von der Testserie rund 85 % der Prüfkörper mit Wipfelbruch zutreffender Weise identifiziert. Somit können mit Hilfe des Prototypen Schnitthölzer aufgrund von Faserabweichungen detektiert und aussortiert werden.

Sollen diese Schnitthölzer nicht direkt aussortiert sondern die Festigkeit aller Schnitthölzer mit Hilfe des Mikrowellenscanners vorhergesagt werden, werden die Mikrowellendaten mit bestehenden Sortiermaschinendaten kombiniert. Tab. 2 und Abb. 3 zeigt, dass durch Hinzunahme der Mikrowellendaten sowohl für Variante 1 als auch für Variante 3 eine deutliche Verbesserung in der Vorhersagegenauigkeit der Sortiermaschinen im Bereich von 3 bis 8% erzielt werden kann. Erstaunlich dabei ist, dass die Kombination Variante 2 ähnlich hohe Bestimmtheitsmaße erzielt wie die Variante 3. Damit könnte der bewährte Röntgenscanner durch das wesentlich günstigere Mikrowellensystem ersetzt werden. Weiterführende Ergebnisse können der Veröffentlichung Denzler & Weidenhiller 2014 entnommen werden.

BERÜHRUNGSLOSE BESTIMMUNG VON FEUCHTE UND DICHTE

Die zweite Untersuchung galt dem Einsatz des Prototyps

Tab. 2: Bestimmtheitsmaße der Festigkeitssortierung anhand der Test-Serie.

Variante	System / Systemkombination	R^2	R^2	R^2
		alle Schnitthölzer	Bruch ohne Einfluss des Wipfelbruche	Bruch aufgrund des Wipfelbruches
	n	116	76	40
1	Längsschwingung & Dichte	61	62	41
2	Längsschwingung & Dichte & Mikrowellendurchstrahlung	69	69	51
3	Längsschwingung & Dichte & Röntge	67	67	48
4	Längsschwingung & Dichte & Röntgen & Mikrowellendurchstrahlung	70	70	57

zur berührungslosen Bestimmung von Holzfeuchte und Rohdichte. Ausgangsmaterial dafür waren 72 Schnitthölzer mit Breiten von 15,2 bis 27,4 cm und Höhen von 3,3 bis 4,0 cm. Die Prüfkörper wurden in drei Gruppen mit je 24 Prüfkörpern eingeteilt, wobei die Gruppen mehreren Phasen der acht klimatischen Umgebungsbedingungen durchlief. Damit wurde ein Feuchtebereich von 7 bis 19% mit einem zugehörigen Rohdichtebereich von 340 bis 580 kg/m³ abgedeckt.
Die insgesamt 190 Ergebnisse wurden wie bei der Festigkeitssortierung in eine Trainingsserie und ein Testserie eingeteilt, um statistisch unabhängige Ergebnisse erzielen zu können. Abb. 5 zeigt die Ergebnisse für Holzfeuchte (a) und Rohdichte (b). Für beide Parameter konnte ein Bestimmtheitsmaß von 92% erreicht werden. Im Vergleich dazu werden mit handelsüblichen Wiederstands- und Kapazitiven-Holzfeuchte-Messsystemen R²-Werte im Bereich von 70 bis 94% erreicht. Damit stellt der Prototyp eine echte Alternative zu diesen Systemen dar. Weiterführende Erklärungen und Ergebnisse können der Veröffentlichung (Denzler et al. 2014) entnommen werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Projekt konnte mit Hilfe der Mikrowellendurchstrahlung eine berührungslose Methode zur Identifikation von Wipfelbrüchen und Faserabweichungen sowie zur Bestimmung von Holzfeuchte und Rohdichte entwickelt werden. In Bezug auf die Festigkeitsvorhersage konnten wesentliche Verbesserungen im Vergleich zu derzeit gängigen Systemen vor allem unter Berücksichtigung der kostengünstigen Technologie gefunden werden. Mit der Entwicklung dieses Prototyps zeigt das System viel Potenzial für industrielle Anwendungen.
Prinzipiell kann das Messverfahren auf verschiedene Holzarten wie Laub- und Nadelholz angewendet werden. Um das volle Potenzial auszuschöpfen und die Messmethode weiter zu optimieren, arbeitet die Holzforschung Austria bereits an Folgeprojekten.

VERÖFFENTLICHUNGEN

Denzler, J. K.; Koppensteiner, J.; Arthaber, H. (2013) Grain angle detection on local scale using microwave transmission. International Wood Products Journal 4(7):68-74

Denzler, J. K.; Lux, C.; Arthaber, H. (2014) Contactless moisture content and density evaluation of sawn timber using microwave transmission. Accepted for publication in International Wood Products Journal

Denzler, J. K.; Weidenhiller, A. (2014) Microwave scanning as an additional grading principle for sawn timber. Submitted to Wood science and technology

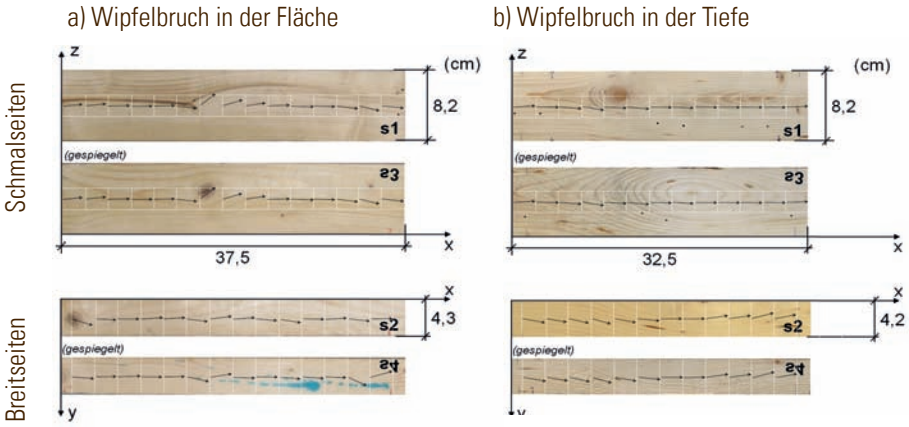


Abb. 4: Vergleich von Prüfkörpern mit zwei unterschiedlichen Wipfelbrüchen, Auflösung in Volumen mit 1,25 × 1,25 × 4,30 cm³

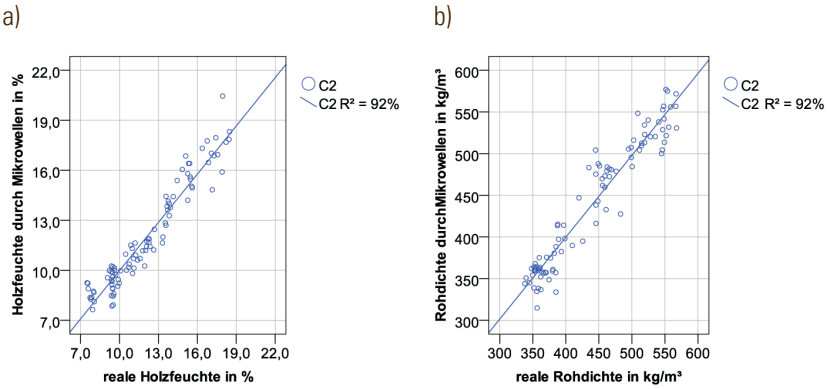


Abb. 5: Vergleich der Messwerte des Prototyps mit den Referenzwerten für a) Holzfeuchte und b) Rohdichte.

KONTAKT
DI (FH) Christian Lux
Tel. 01/798 26 23 - 972
c.lux@holzforschung.at

INDOOR AIR QUALITY

INNENRAUMLUFTQUALITÄT IN HOLZHAUSBAUTEN

STEFAN NAGL, ELISABETH HABLA, SYLVIA POLLERES

Das Projekt „Indoor Air Quality“ befasst sich mit der Innenraumluftqualität bei modernen Holzhausbauten. Untersucht wurden dabei hauptsächlich im Holzbau eingesetzte Baustoffe und deren Verhalten hinsichtlich Emission, Adsorption und Desorption. Das Emissionsverhalten von flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) wurde bei Bauteilaufbauten mit unterschiedlichen Materialkonstruktionen in Modellräumen im Maßstab 1:1 über mehrere Monate erfasst und quantifiziert.

Wie der Name schon erahnen lässt, ging es in diesem Teilprojekt um die Qualität der Innenraumluft in Gebäuden - insbesondere in Holzbauten. Die Problemstellung zu Beginn des Projektes charakterisiert sich folgendermaßen: Moderne Holzbauten werden aufgrund energetischer und nutzungsbedingter Rahmenbedingungen immer dichter ausgeführt. Der natürliche Luftwechsel des Gebäudes reicht oft nicht mehr aus, um die Bewohner mit ausreichend Frischluft zu versorgen. Infolge dessen können sich erhebliche Konzentrationen an Luftschadstoffen im Gebäudeinneren ansammeln.

Abb. 1: Modellräume im Maßstab 1:1 mit je 30 m³ Innenraumvolumen

INDOOR AIR QUALITY

Unternehmenspartner:	Fachverband der Holzindustrie Österreichs / WKÖ Landwirtschaftskammer Österreich / Abteilung Forst- und Holzwirtschaft, Energie
Gesamtvolumen:	423.560 €
Projektleiterin:	DI Sylvia Polleres

Dieses Phänomen wird durch weitere Rahmenbedingungen verschärft: Aufgrund von Vorfertigung und Verkürzung der Bauzeiten rückt der Zeitpunkt des Erstbezugs immer weiter nach vorne. Dadurch werden Schadstoffe aus der Bauphase in die Einrichtungs- und Wohnphase mitgeschleppt und können bei Bewohnern zu Beschwerden wie „Sick Building Syndrome“ (SBS) oder „Multi Chemical Sensitivity“ (MCS) führen. Das Projekt hat sich zum Ziel gesetzt, Emissionen in Form von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), die aus der Holzkonstruktion abgegeben werden können zu erfassen, zu quantifizieren und Lösungsansätze zu deren Reduktion zu finden.

Es gilt zu berücksichtigen, dass VOC ganz allgemein eine sehr umfangreiche Gruppe an Verbindungen der organischen Chemie sind. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) zählt Substanzen mit einem Siedepunkt zwischen ca. 50 °C und 400 °C zu den VOC. Wieviele Verbindungen tatsächlich zu den VOC gehören kann nicht genau quantifiziert werden. In jedem Fall sind VOC nicht nur Inhaltsstoffe von alten Lacken und seltenen Chemikalien sondern ständiger Begleiter unseres alltäglichen Lebens. Auch ist ein großer Teil der Verbindungen in üblichen Konzentrationen nicht gesundheitsschädlich oder gar giftig. VOC bilden sich beim Kochen- und Backen, sind in Obst und Gemüse enthalten und werden sogar zur „Verbesserung“ der Raumluft z.B.: in Duftsprays oder in Reinigungsmitteln eingesetzt. Als organisches Material emittiert Holz von Natur aus ebenfalls VOC, jedoch in einem sehr geringen Maß.

Hinsichtlich der Raumluft von Wohnräumen gibt es in Österreich keine gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte. Grenzwerte bestehen nur für Arbeitsplätze- die sogenannten MAK- Werte (maximale Arbeitsplatzkonzentration), wobei diese nur ausgewählte Substanzen betreffen. Das Umweltministerium gibt jedoch folgende Empfehlung für die Beurtei-

lung von TVOCs ab:

0..250 µg/ m³: gute Luftqualität
250..500 µg/ m³: durschnittliche Luftqualität
500..1000 µg/ m³: geringfügig erhöhte Konzentration
1000..3000 µg/ m³: deutlich erhöhte Konzentration (darüber „stark erhöht")

Das gesamte Forschungsprojekt war in vier unterschiedliche Arbeitspakete aufgeteilt:

- Vorbereitung/Literatur
- Materialmessung
- Raumluftmessungen
- Strategien zur Reduktion von VOC in Innenräumen

Zu Beginn wurden an 26 verschiedenen, holzbautypischen Bau- und Bauhilfsstoffen Messungen durchgeführt, die zeigen sollten wie viele und welche Substanzen von den unterschiedlichen Materialien emittiert werden. Gemessen wurde auch, wie sich die einzelnen Materialien hinsichtlich der unterschiedlichen chemischen Verbindungen verhalten, speziell in Bezug auf Aufnahme-, Speicher-, Durchlass- und Wiederabgabefähigkeit. Im Laufe der Untersuchungen wurde festgestellt, dass unter den Holzwerkstoffen insbesondere OSB- Platten hohe Eigenemissionen aufweisen. Holzwerkstoffe im Allgemeinen besitzen ein sehr unterschiedliches, materialabhängiges Emissionsverhalten. So wurden im Projekt auch sehr niedrige Emissionen bei Holzwerkstoffen gemessen (z.B. bei Massivholzplatten). Gipswerkstoffe emittieren grundsätzlich sehr wenig VOC, da Gips ein anorganisches Material ist. Durch Zusatzstoffe können jedoch auch Gipsplatten erhebliche Emissionen aufweisen. Oft unterschätzt werden sogenannte Bauhilfsstoffe wie z.B.: „Dichtmittel", Anstriche, Schäume und Klebebänder. Diese kommen meist nur in geringer Menge zum Einsatz, durch Ihre teilweise starken Emissionen können sie jedoch erheblich zur Gesamtbelastung in Innenräumen beitragen. Dämmungen und diverse Folien verhielten sich in dieser Untersuchung sehr unauffällig. Hinsichtlich der Aufnahmefähigkeit von VOC zeigte sich, dass Holzwerkstoffe Substanzen aus der Umgebungsluft sehr gut aufnehmen und auch speichern können (MDF-Platten, Holzfaserdämmung). Dämmungen im Allgemeinen können aufgrund ihrer luftigen Konsistenz diverse Verbindungen ebenfalls sehr gut aufnehmen, geben diese jedoch bei Gelegenheit auch zu einem Großteil wieder ab. Auch Gipskartonplatten wiesen eine gute Speicherfähigkeit auf (siehe Abbildung 2-4).
Die Ergebnisse der Materialuntersuchungen sollten nun mit Messungen unter praxisnahen Bedingungen verknüpft werden. In weiteren Untersuchungsreihen wurde daher das Verhalten der Baustoffe gegenüber der Raumluft unter Realbedingungen untersucht. Basierend auf den Ergebnissen der Materialmessungen wurden einzelne Bauprodukte ausgewählt, deren Eigenschaften im 1:1 Versuch ermittelt werden sollten. Für diesen Zweck wurden erstmals in Europa zwei sogenannte Modellräume nachgebaut, die normativ üblicherweise nur virtuell als Berechnungsgrundlage diverser Parameter dienen. Die Räume haben eine Grundfläche von 12 m² (3 x 4 m) bei einer Höhe von 2,5 m. Daraus ergibt sich ein Innenvolumen von 30 m³. Die Raumluft ist voll klimatisiert auf 23 °C und 50 % relative Luftfeuchte. Die Luftwechselrate beträgt 0,5/h. Das bedeutet, dass 15 m³ Frischluft in der Stunde zugeführt werden.

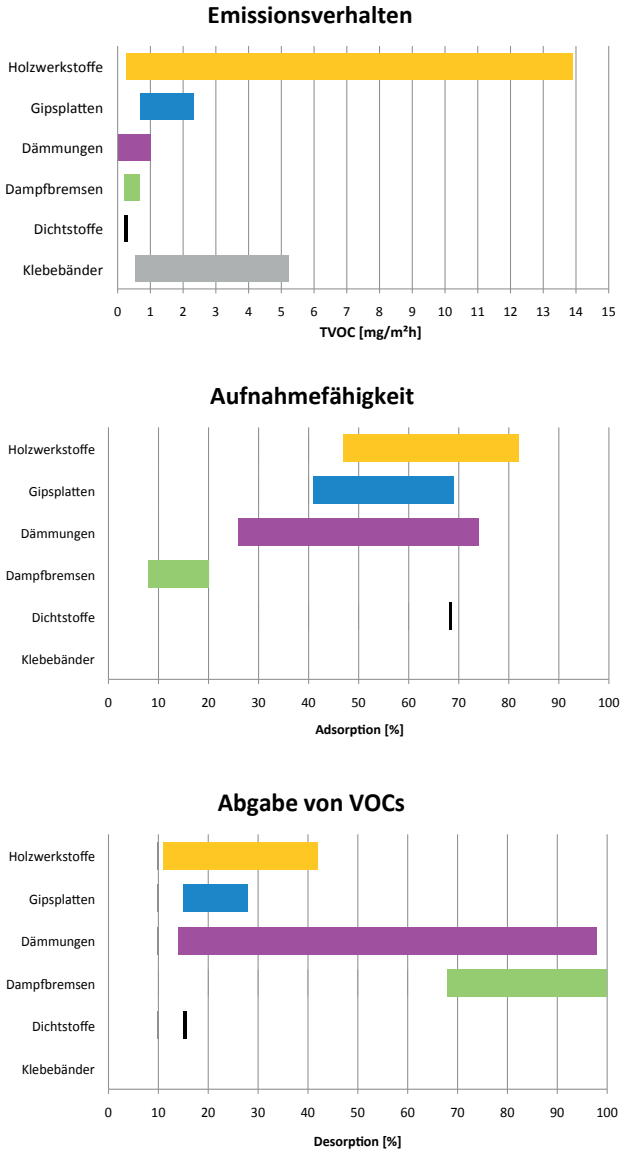
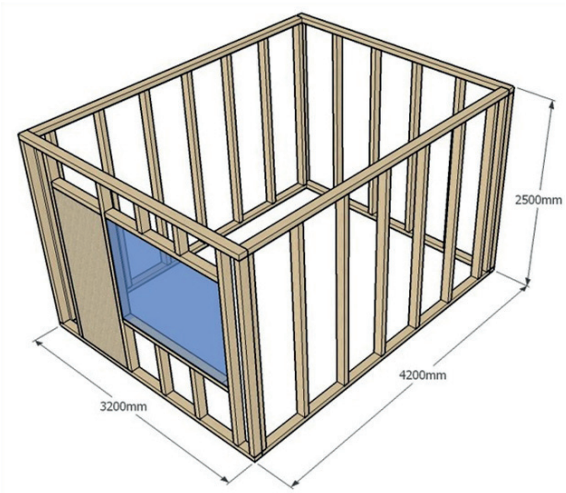


Abb. 2 - 4: Die Grafiken zeigen das Emissions-, Adsorptions- und Desportionsverhaltender der geprüften Baustoffe

Diese Modellräume wurden innenseitig mit unterschiedlichen Beplankungen ausgestattet, um das Verhalten einzelner Materialien oder unterschiedlicher Materialkombinationen zu untersuchen. Außenseitig wurde die Holzrahmenkonstruktion der beiden Modellräume mit Aluminiumverbundfolie aus diffusionstechnischen Gründen und Spanplatten aus statischen Gründen beplankt. Üblicherweise sind Holzbauten jedoch von innen nach außen hin mit diffusionsoffener werdenden Schichten aufgebaut. Diese Aufbauten verhindern bei Holzbauten üblicherweise, dass sich, bedingt durch Temperaturunterschiede in den Schichten der Außenwände

schädliches Kondenswasser bilden und sammeln kann. Da sich der Aufstellungsort der Modellräume in einer beheizten Halle befand, verhinderte die außenseitige Aluminiumverbundfolie einen Austausch von VOC zwischen Hallenluft und Innenraumluft. Für die Modellräume bedeutet das eine Verschärfung der Bedingungen im Vergleich zu realen Holzbauten, bei welchen Wasserdampf, VOC und andere Verbindungen sehr wohl nach außen entweichen können. Bei den Untersuchungen war dies nicht möglich. Die Modellräume stellen somit hinsichtlich der Ansammlung von VOC ein „worst case scenario" dar.



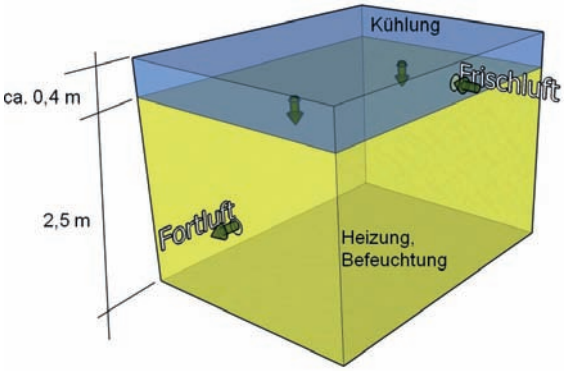


Abb. 5 - 6: Aufbau der 1:1 Modellräume

Aus den Materialmessungen des ersten Arbeitspakets war bekannt, dass OSB Platten teilweise hohe Emissionen und Gipsplatten üblicherweise sehr niedrige Emissionen verursachen. Um diese beiden Extreme gegenüberzustellen wurde einer der beiden Modellräume innenseitig mit OSB beplankt, der andere mit einer Lage Gipskartonfeuerschutzplatte (GKF). In weiteren Untersuchungen wurden aufwendigere Aufbauten untersucht, die ebenfalls in der Praxis zum Einsatz kommen. Als innere Beplankung bei diesen Varianten wurden die Kombinationen OSB/ GKF, OSB/ Dampfbremse (sd= 10m; „DB10")/ GKF sowie OSB/ Dampfbremse (sd= 100m; „DB100")/ GKF analysiert. Die unterschiedlichen Materialkombinationen sollten zeigen inwiefern die diversen Materialien die Emissionen aus den OSB verzögern, abmildern oder sperren können. Erwartungsgemäß wurden in der Variante mit nur OSB Beplankung die höchsten Emissionsspitzen gemessen. Es fällt jedoch auf, dass ebenfalls in dieser Variante die Emissionen sehr schnell und stark abfallen und innerhalb weniger Tage auf ein durchschnittliches Niveau absinken. Die Variante mit reiner GKF Beplankung zeigte von Beginn an erwartungsgemäß nur sehr geringe Emissionen. Diese wurden über einen Zeitraum von 48 Tagen beobachtet. Danach wurde die Untersuchung beendet, weil die Emissionen von Anfang an auf einem stabil niedrigen Niveau lagen. Im Zuge eines Umbaus der beiden Modellräume wurden zwei weitere Varianten hergestellt. Zum Einen die Variante mit OSB/ GKF Beplankung, zum Anderen die Variante mit einer Dampfbremse („DB10") zwischen OSB und GKF. Die Anfangsemissionen dieser beiden Varianten waren nahezu identisch und lagen etwas unter der OSB Variante. Die weitere Entwicklung der Raumluftkonzentration verlief jedoch unterschiedlich. Die OSB/ GKF Variante zeigte nach einem anfänglichen Abfall der Emissionen einen raschen aber kurzen Wiederanstieg, gefolgt von einem neuerlichen Abfall auf ein Niveau von ca. 900 µg/ m³. Zu diesem Zeitpunkt (nach 14 Tagen) wiesen die Varianten „OSB", „OSB/ GKF" und „DB10" ähnliche Raumluftkonzentrationen auf. Von da an sank der VOC Gehalt in der OSB/ GKF Variante stetig ab bis auf ein Niveau von ca. 300 µg/ m³ nach 2 Monaten. Dieses Niveau wurde weitere 2 Monate gehalten, bevor der Versuch beendet wurde. Die Variante „DB10" wies zu Beginn der Messungen weder nennenswerte Steigerungen noch entsprechende Absenkungstendenzen auf. Bis zur Messung nach 3 Tagen gab es quasi keine Änderung. Danach sanken die Messwerte innerhalb der ersten 10 Tage in zwei Stufen auf ein Niveau von ca. 750 µg/ m³. Dieses Niveau erreichten die Varianten „OSB" und „OSB/ GKF" erst einige Tage später. Allerdings begannen die Messwerte in der Variante „DB10" danach wieder zu steigen bis auf ein Niveau von fast 900 µg/ m³ (Tag 28). Von da an wies diese Variante über einen Zeitraum von 4 Monaten erhöhte Messwerte verglichen mit den Varianten „OSB" und „OSB/ GKF" auf. Erst danach wurde ein „durchschnittliches" Niveau von unter 500 µg/ m³ erreicht. Die Variante „DB100" wies zu Beginn der Versuchsreihe mittelmäßig hohe Werte auf (um 700 µg/ m³). Diese sanken von Anfang an stetig ab. Der Versuch konnte aus zeitlichen Gründen nur über einen Zeitraum von 4 Monaten durchgeführt werden. In diesem Zeitraum zeigte die verwendete Dampfbremse jedenfalls sehr gute Eigenschaften hinsichtlich der Blockierung von VOC aus dem Bauteil. Über die langfristige Wirkung bzw. ob es zu einem verzögerten Anstieg wie bei DB10 kommt, konnten jedoch zum Zeitpunkt des Projektendes noch keine Aussagen gemacht werden.

Abb. 7: Die fünf untersuchten Bauteilaufbauten - OSB, GKF, OSB/GKF, DB10 und DB100

Um die gefundenen Emissionen praxisnah beurteilen zu können, wurde eine toxikologische Bewertung durch einen externen Experten durchgeführt. Diese ergab, dass sich in den ersten Tagen nach der Montage gesundheitliche Nebenwir-

kungen zeigen können. Dagegen hilft vermehrtes Lüften. Darüber hinaus können geruchsempfindliche Menschen in den ersten Monaten diverse Gerüche ausmachen. Dazu zählen in erster Linie holztypische Gerüche, die allerdings in vielen Fällen gewünscht sind und als sehr angenehm empfunden werden.

ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine gezielte Auswahl der Baustoffe einen erheblichen Einfluss auf die Raumluftkonzentration an VOC haben kann. Weiters wurde festgestellt, dass die Emissionen, die selbst unter extremen Bedingungen aus der Holzkonstruktion kommen, durch entsprechendes Lüften gut in den Griff zu bekommen sind und eine Sperrschicht für VOC nicht wirklich notwendig ist. Dampfbremsen blockieren bzw. dämpfen VOC-Spitzen und verzögern die Abgabe in den Raum.

VERÖFFENTLICHUNGEN

Niedermayer, S.; Fürhapper, C.; Nagl, S.; Polleres, S.; Schober, P. (2013) VOC sorption and diffusion behavior of building materials. European Journal of Wood and Wood Products 71(5):563-571

Nagl, S.; Fürhapper, C.; Niedermayer, S.; Polleres, S. (2013) Untersuchungen zur Raumluftqualität an zwei unterschiedlichen Versuchsräumen in Holzrahmenbauweise. Holztechnologie 54(3):44-49

Weigl, M.; Fürhapper, C.; Niedermayer, S.; Habla, E.; Nohava, M.; Nagl, S.; Polleres, S. (2014) VOC emissions from building materials – results from lab and model room trials, International Wood Products Journal, doi: 10.1179/2042645314Y.0000000072

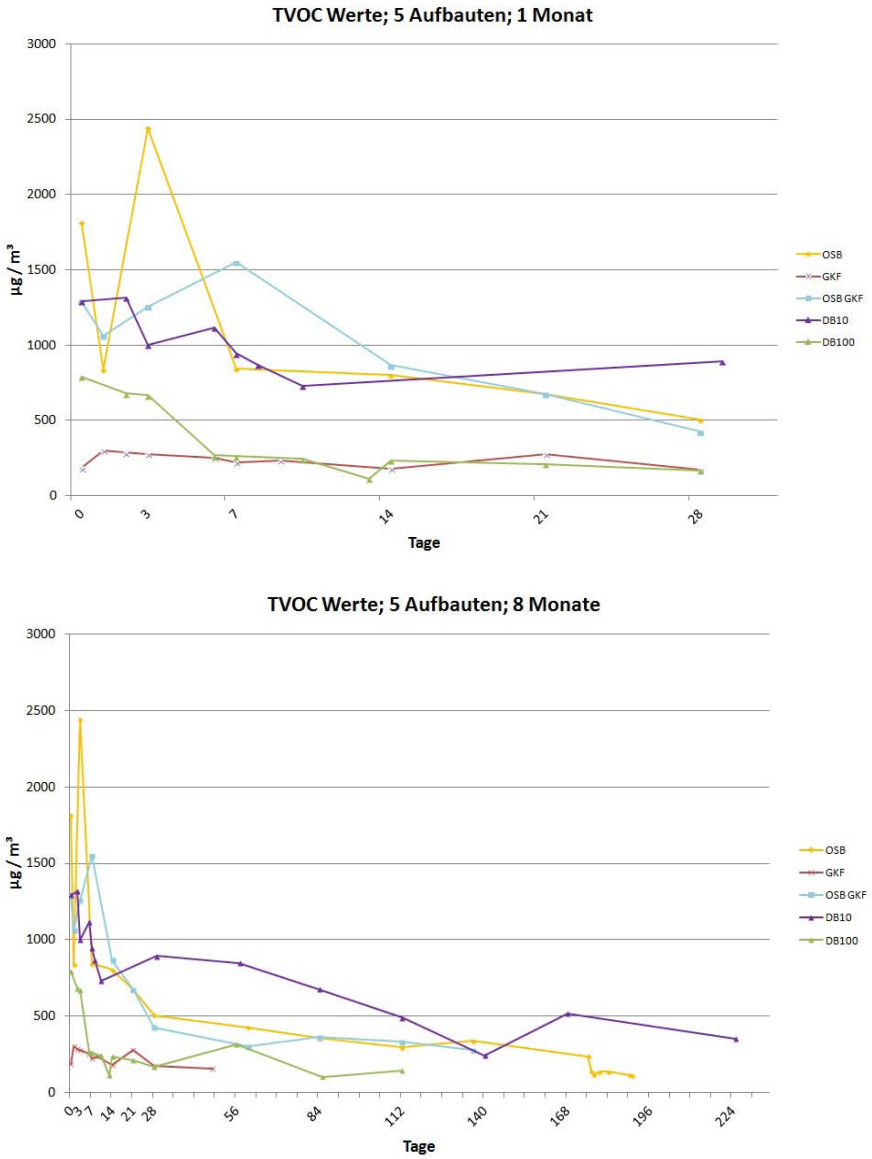


Abb. 8 - 9: Die Grafiken zeigen das Abklingverhalten der TVOC Werte der fünf unterschiedlichen Bauteilaufbauten in den Realversuchen

KONTAKT
DI Sylvia Polleres
Tel. 01/798 26 23 - 67
s.polleres@holzforschung.at

ENERGY EFFICIENCY

SOMMERBEHAGLICHKEIT IN HOLZGEBÄUDEN

FLORIAN EHRLICH, MARTIN TEIBINGER

Im Zuge der laufenden Diskussion über die Energieversorgung für Gebäude (Stichwort: Klimaerwärmung) ist neben dem winterlichen Wärmeschutz in den letzten Jahren auch der sommerliche Wärmeschutz ins Interesse der Planer gerückt. Der steigende Bedarf an Kühlenergie von Gebäuden und einseitige alleinige Betrachtungen der Speicherkapazität der Bauweisen stellten den Grund für Optimierungen der Sommertauglichkeit von Hauskonstruktionen, insbesonders im nachwachsenden Rohstoff Holz dar.

Dazu wurde im Jahr 2009 das Forschungsprojekt „energy efficiency" gestartet, mit dem Ziel die Sommertauglichkeit von Holzkonstruktion auch im Bezug auf die Behaglichkeit für den Einfamilienhausbau zu optimieren. Darüber hinaus sollen die Einsatzmöglichkeiten innovativer Produkte (wie z.B. PCM-Baustoffe, also Phasenwechselmaterial) untersucht werden, sowie eine Gebäudesteuerung mittels Automation zum Einsatz kommen. Ein weiteres Projektziel war die Entwicklung eines Simulationsmodells für die Beurteilung von Konstruktionen hinsichtlich des Sommer- und Winterverhaltens. Das Ziel war ein einfaches Modell zur Berechnung der empfundenen (operativen) Raumtemperatur in verschiedenen Zonen, wobei die Randbedingungen gut abgebildet werden können.

ECKDATEN FORSCHUNGSHAUS

Bei dem errichteten bauphysikalischen Forschungshaus handelt es sich um ein zweistöckiges Einfamilienhaus (LxBxH = 10,7 x 8,7 x 8,3 m) mit modularen Versuchswänden. Im Inneren wurden pro Stockwerk jeweils zwei Versuchsräume (je 10 m²) für vergleichende Untersuchungen eingerichtet. Das Nutzerverhalten wurde mittels künstlichen BewohnerInnen nachgestellt. Lüftung und Beschattung sind mittels Bustechnologie steuerbar.

Damit die vielen Wechselwirkungen von Bauweise – Nutzung – Umwelteinflüsse besser erfasst werden können, wurden die Untersuchungen am Objekt in folgende Teilbereiche gegliedert.

BAUWEISE

Um das sommerliche Verhalten von Bauteilen studieren zu können wurden die Temperaturen in den einzelnen Schichten der Außenwandbauteile bestimmt. Aus vier wesentlichen Einflussfaktoren der Außenwände (Fassadenfarbe, Dämmung, Wandkonstruktion, Innenbeplankung) wurden insgesamt 63 Prüfaufbauten zusammengestellt und mit je zwei aussagekräftigen Varianten untersucht. Für die Wandkonstruktion wurden Holzrahmenkonstruktionen, sowie Holzmassivkonstruktionen mit außenliegendem Dämmpaket mit bzw. ohne Installationsebene ausgewählt. Als Dämmstoff kamen Steinwolle und Zellulose zum Einsatz. Für die innere Beplankung wurden insgesamt vier verschiedene Innenausbauplatten appliziert. Zum Einsatz kamen Gipskartonplatten mit unterschiedlichen Rohdichten, ein innovatives System mit Phasenwechselmaterial im Gipskern, sowie eine Holzwolleplatte. Alle Systeme wurden mit einem Referenzmaterial verglichen. Der Einfluss der Fassadenfarbe wurde anhand von zwei Farben (solarer Absorptionsgrad: hell=0,24 und dunkel=0,83) untersucht.

Den stärksten Einfluss auf das Innentemperaturniveau hat die Fassadenfarbe in Abhängigkeit von der Himmelsrichtung. Dabei zeigte sich ein mittlerer Temperaturunterschied während des Sommerhalbjahres an der Wandoberfläche zwischen hell und dunkel in Abhängigkeit der Himmelsrichtung von 0,25 K (Holzrahmen) bis 0,48 K (Holzmassiv) Den zweitgrößten Einfluss hat die Wahl des Dämmstoffes mit der entsprechenden Rohdichte, wobei die Dämmstoffdicke ebenfalls eine wesentliche Rolle spielt. Dabei wurde sichtbar, dass der Temperaturunterschied zwischen Konstruktionen mit Steinwolle und Zellulose 0,32 K (Holzrahmen) und 0,42 K (Holzmassiv) beträgt. Der Einfluss der Konstruktion ist stark abhängig von der eingesetzten Dämmung im Gefach,

ENERGY EFFICIENCY

Unternehmenspartner:	Griffner Haus
	Homatherm
	Hrachowina
	Isocell
	KLH Massivholz
	Knauf / Knauf Insulation
Wissenschaftliche Partner:	TU Wien / Institut für Hochbau und Technologie - Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz
Gesamtvolumen:	919.167 €
Projektleiter:	Dr. Martin Teibinger

sowie deren Wirkweise. Ebenfalls relevant ist das Vorhandensein einer Installationsebene mit und ohne Dämmung. Hier ergeben sich Temperaturunterschiede zwischen den beiden Konstruktionen zwischen 0,04 K (Holzrahmen) und 0,33 K (Holzmassiv). Die innere Beplankung wirkt je nach System als zusätzlicher Wärmespeicher bei Gipskartonplatten in Abhängigkeit von der Rohdichte. Bei Holzwolleplatten wirkt das System als Kombination von Wärmespeicher und -dämmung. Beplankung mit PCM-Ausbauplatten wirken als Temperaturpuffer, wobei der Temperaturbereich des Phasenwechselmaterials in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur z.B. in der Nacht zu berücksichtigen ist. Dadurch können im Sommer die Raum- und Oberflächentemperaturen durch Phasenverschiebung gesenkt und im Winter gehoben werden.

LÜFTUNG

In der Vergangenheit hat die Lüftung eines Raumes bzw. Gebäudes in den Berechnungen eher eine untergeordnete Rolle gespielt, da in erster Linie Bauweise und die Konstruktion der Wände als relevant gesehen wurden. Gleichzeitig gab es mit der Entwicklung von Niedrigstenergiehäusern einen Trend zu mechanischen Lüftungsanlagen.

Im Zuge des Projekts wurden einerseits mechanische Lüftungsanlagen bewertet, als auch die verschiedenen Wirkweisen der Fensterlüftung mittels Tracergasmessungen bewertet. Aus dem Konzentrationsabfall des Messgases wurde der Luftvolumenstrom in Abhängigkeit der Temperatur bestimmt. Die Untersuchung der Luftströmungen war aufgeteilt in Einzelzonen- und Mehrzonen-Untersuchungen. Bei Einzonenuntersuchung konnte der Einfluss von Insektenschutzgittern und Pollengittern bestimmt, und die Wirkung eines offenen Fensters quantifiziert sowie mit Rechenansätzen aus Normen verglichen werden. Der Einfluss von Insektengitter ist abhängig von der Abminderung des Lüftungsquerschnitts und beträgt 26% bei einem Flächenverlust von 25%. Die Mehrzonen-Untersuchungen lieferten Erkenntnisse zur Erweiterung des Simulationsmodells, des Verhaltens von Luftströmungen bei verschiedenen Fensteröffnungsszenarien, sowie ebenfalls einen Vergleich zu Rechenansätzen aus der Norm.

Bei der Bewertung von mechanischen Lüftungsanlagen zeigte sich, dass zur Gewährleistung einer ausreichenden Nachtabkühlung im Sommer eine energieeffiziente Lüftungsanlage nicht ausreicht. Bei den Messungen des Luftvolumenstromes ergab sich folgendes Bild. Bei einem geöffneten Fenster wurde ein Luftwechsel von 24 bis 44 h-1 gemessen. Bei einem gekippten Fenster betrug der Luftwechsel zwischen 5 und 7 h-1. Im Vergleich dazu ist eine Lüftungsanlage für einen hygienischen Luftwechsel von 0,4 h-1 bzw. einem Luftwechsel von maximal 1,5 bis 2 h-1 konzipiert. Somit ist auch bei Gebäuden mit Komfortlüftung während der Sommermonate die Nachtablüftung durch das Öffnen der Fenster sicherzustellen.

Abb. 1: Bauphysikalisches Forschungsgebäude der HFA am Standort Stetten

BESCHATTUNG

Ähnlich wie die Lüftungssysteme wurde die Beschattung bisher eher als Randthema im sommerlichen Wärmeschutz gesehen. Eine offene Frage ist der Einfluss von Öffnungsgeometrie und Ausrichtung der Fenster im Bezug auf die operative Raumtemperatur.

Im Projekt wurden mögliche Beschattungssysteme und deren Eigenschaften evaluiert. Auf der anderen Seite wurde der Einfluss der Beschattung im Temperaturverhalten der Prüfräume in verschiedenen Szenarien untersucht. Insbesondere die Wirkung von nicht komplett geschlossenen Jalousien wurde untersucht und in die Messergebnisse des Raumverhaltens und in die Berechnung der operativen Temperaturen eingearbeitet. Da die Wirkung von Beschattungselementen von der Fenstergeometrie und der Fensterorientierung abhängig sind wurden Planungsunterlagen von Projekten analysiert und daraus für verschiedene Raumtypen die typische Geometrie und Flächenanteile der Fenster in Bezug auf die Nettonutzfläche bzw. die Außenfassade als Basis für die Berechnung der operativen Raumtemperatur ermittelt. Dabei stellte sich heraus, dass Konfigurationen mit nach Westen orientierten Fenstern die höchsten Maxima bei der operativen Temperatur ergaben. Es wurde eine Raumkonfiguration mit repräsentativen Wand- und Deckenaufbauten und einer Größe

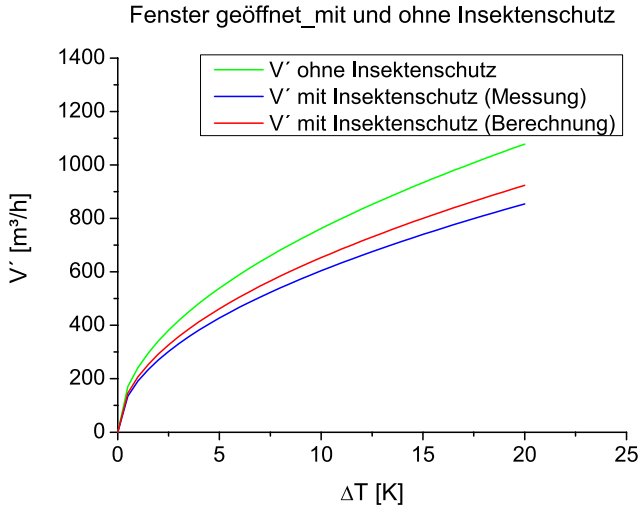


Abb. 2: Luftvolumenströme mit und ohne Insektenschutz in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz

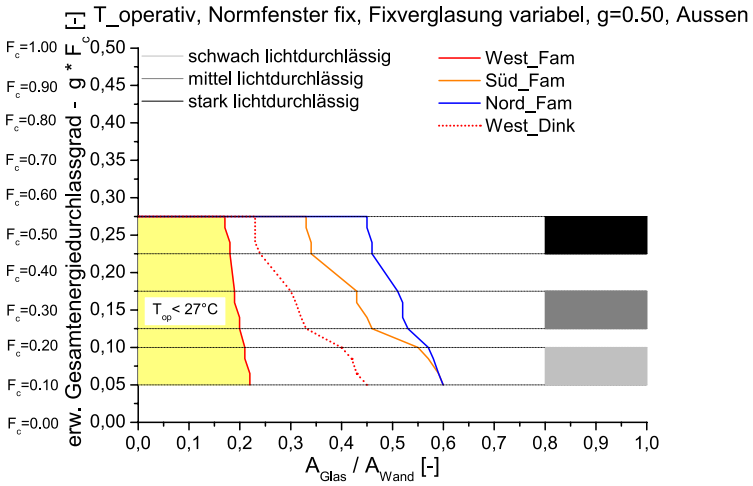


Abb. 3: maximal zulässige Verhältnisse der Glasflächen zur Außenwandfläche (operative Temperatur ≤ 27°C) bei Nachtlüftung und NAT 13 von 23 °C (z.B. Wien Hohe Warte) in Abhängigkeit der Lichtdurchlässigkeit der außenliegenden Beschattung, der Orientierung, des Nutzerverhaltens (Fam, Dink)

von 14 m² zusammengestellt. Die Fenster wurden gemäß der Analyse als öffenbare Balkontüre und fixverglastes Fenster gewählt. Bei den Verschattungselementen wurden verschiedenen Kombinationen aus außen- und innenliegenden Systemen definiert. Als Aussenklima wurden periodische Sommertemperaturzustände mit einer mittleren Temperatur von 23°C gewählt. Dadurch ergaben sich operative Raumtemperaturen bei entsprechender Nachtlüftung mit geöffneten Fenstern von 23,2 / 25,8°C (je nach NutzerInnenprofil) bei außenliegender Verschattung und 26,5 / 27,5°C bei innenliegender Verschattung. Bei Nachtlüftung mit gekippten Fenstern und außenliegender Verschattung betrug die operative Raumtemperatur 28,1 / 31,7°C und bei innenliegender Verschattung 33,9 / 34,4°C.

NUTZERVERHALTEN

Jeder Optimierung der Bauweise oder der Steuerung von Beschattungselementen oder Lüftungssystemen kann durch das Verhalten der Nutzer positiv oder negativ beeinflusst werden. Um die Wünsche und Gewohnheiten von Bewohnern ebenfalls in die Untersuchung und in Planungshilfen einfließen zu lassen wurde eine Bewohnerbefragung von über 300 Einfamilienhaus-Nutzern zum Thema Behaglichkeit, Zufriedenheit und Gewohnheiten im Umgang mit z.B. Jalousien durchgeführt.
Die gewonnenen Erkenntnisse flossen in die Erstellung von Nutzerprofilen für die im Projekt durchgeführten Simulationen der operativen Raumtemperaturen ein.

SIMULATIONSMODELL

Der derzeitige Stand von Simulationswerkzeugen reicht von einfachen selbstgeschriebenen Modellen für einzelne Räume über aufwendige Programmmodelle für komplexe Gebäudestrukturen bis zu Computational Fluid Dynamics-Bauteilberechnungsprogrammen mit mehr oder weniger einfacher Handhabung.
Ziel des Projektes war es, ein möglichst einfaches System zur Temperaturanalyse von mehreren Räumen anzuwenden bzw. weiter zu entwickeln. Die Basis war ein einfaches Temperaturknotenmodell mit dem man einen Raum sowie die dazugehörigen Randbedingungen abbilden konnte.
Im Zuge der Projektarbeit entstand ein System mit dem sich Einfamilienhäuser in Form eines „Zwei-Zonen Modells" inklusive Benutzerverhalten, Beschattung, Lüftung und Heizung abbilden lassen. Berechnet werden kann die operative Temperatur mittels verschiedener realer Klimaszenarien sowie synthetischer Klimata (periodische Aussentemperatur – NAT 13). Zusätzlich kann die Einwirkung auf die operative Raumtemperatur von Luftströmungsverläufen in Einfamilienhäusern eingearbeitet werden.

ZIELE DES PROJEKTES/ZUSAMMENFASSUNG

Ein Ziel des Projektes war die Schaffung eines Prüfstandes in Form eines Einfamilienhauses zur Untersuchung von neuartigen Produkten und Lösungen. Dabei wurde Wert auf nachvollziehbare Untersuchungsbedingungen sowie die Handhabung von Langzeituntersuchungen gelegt.
Ein weiteres Projektziel war die Erstellung eines einfachen Rechentools zur Ermittlung der operativen Raumtemperatur von mehreren miteinander verbundenen Zonen. Dabei wurde

darauf geachtet, möglichst alle Randeinflüsse in Form von inneren Lasten, Beschattung, Lüftung und Heizung für Sommer und Winter darstellen zu können. Auch die Erweiterung des Mehrzonenansatzes mit einer Routine für die Verarbeitung von unterschiedlichen Luftströmungen durch die Zonengruppe wurde realisiert.
Die Ergebnisse werden in Form von wissenschaftlichen Beiträgen in entsprechenden Journalen und als Konferenzbeiträge und in Form einer Dissertation publiziert. Dabei werden einzelne Themen wie z.B. die Wirkung des Insektenschutzgitters auf das Lüftungsverhalten oder die Berechnung der operativen Raumtemperatur in vereinfachten Rechenansätzen behandelt.
Die zweite Publikationsschiene ist anwenderorientiert in Form eines Planungsleitfadens für Planer und Ausführende. Ziel ist es sommertaugliche Konstruktionen zu bewerten und zu quantifizieren.

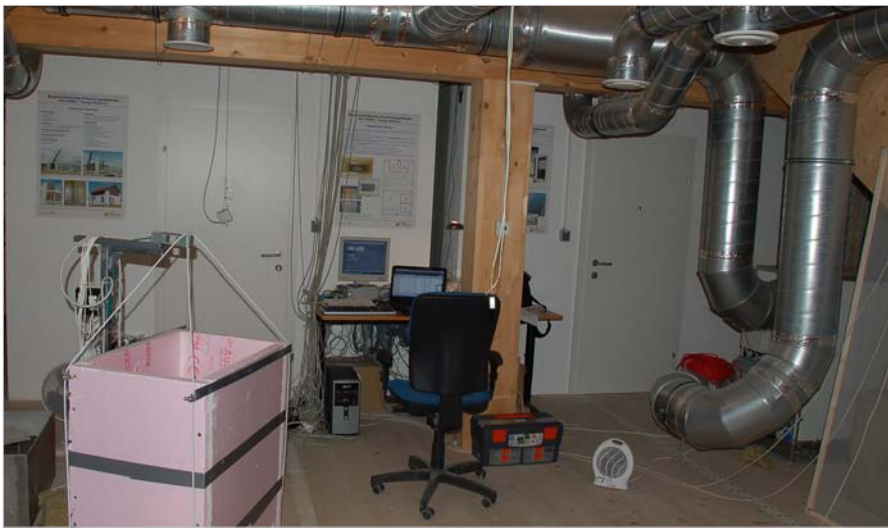


Abb. 4: Aufwendige Lüftungs- und Messtechnik im Inneren des Forschungsgebäudes

VERÖFFENTLICHUNGEN

Ehrlich, F.; Teibinger, M.; Bednar, T. (2013): Parametric study of summer behavior in timber houses - Comparison of wooden constructions. ProLigno (International Journal in the Field of Wood Engineering), Bd. 1. Brasov (Rumänien), 9:41–49

Ehrlich, F.; Teibinger, M.; Bednar, T. (2013): Parametric study of summer behavior in timber houses - air flow in detached houses considering the influence of insect screens. 2nd Central European Symposium on Building Physics, Bd. 1. Wien, TU Wien (2nd Central European Symposium on Building Physics (CESBP)), 923–929

KONTAKT
Dr. Martin Teibinger
Tel. 01/798 26 23 - 63
m.teibinger@holzforschung.at

VERÖFFENTLICHUNGEN

Denzler, J. K.; Koppensteiner, J.; Arthaber, H. (2013) Grain angle detection on local scale using microwave transmission. International Wood Products Journal 4(7):68-74

Denzler, J. K.; Lux, C.; Arthaber, H. (2014) Contactless moisture content and density evaluation of sawn timber using microwave transmission. Accepted for publication in International Wood Products Journal

Denzler J. K.; Weidenhiller A. (2014): Influence of moisture content and timber temperature on modulus of elasticity of spruce logs. submitted to Holzforschung

Denzler, J. K.; Weidenhiller, A. (2014) Microwave scanning as an additional grading principle for sawn timber. Submitted to Wood Science and Technology

Denzler, J. K.; Weidenhiller, A.; Golser, M. (2013) Comparison of different approaches for automatic bark detection on log images. Wood Science and Technology 47(4):749-761. doi: 10.1007/s00226-013-0536-9

Denzler, J. K.; Weidenhiller, A.; Golser, M. (2014) Detecting pine log diameter under bark by using shape and image data. submitted to Scandinavian Journal of Forest Research

Denzler J. K.; Weidenhiller A.; Golser M. (2014): Properties relationship between logs and sawn timber. In preparation for submission to Scandinavian Journal of Forest Research

Dobianer, K. (2013), VOCs - Auf die Summe kommt es an, Tagungsband Holz_Haus_Tage 2013 (Bad Ischl). HFA, Wien, 53-57

Ehrlich, F. (2013), Sommerliches Verhalten von Holzkonstruktionen. Tagungsband Bauphysik-Forum / 4. Internationaler Holz[Bau]Physik Kongress (Mondsee). HFA, Wien, 135-141

Ehrlich, F.; Teibinger, M.; Bednar, T. (2013): Parametric study of summer behavior in timber houses - Comparison of wooden constructions. ProLigno (International Journal in the Field of Wood Engineering), Bd. 1. Brasov (Rumänien), 9:41–49

Ehrlich, F.; Teibinger, M.; Bednar, T. (2013): Parametric study of summer behavior in timber houses - air flow in detached houses considering the influence of insect screens. 2nd Central European Symposium on Building Physics, Bd. 1. Wien, TU Wien (2nd Central European Symposium on Building Physics (CESBP)), 923–929

Golgar, A. (2011): Sommerlicher Wärmeschutz von Holzbauten in Brettsperrholzbauweise. Bakkalaureatsarbeit. Fachhochschule Salzburg, Kuchl

Niedermayer, S.; Fürhapper, C.; Nagl, S.; Polleres, S.; Schober, P. (2013) VOC sorption and diffusion behavior of building materials. European Journal of Wood and Wood Products 71(5):563-571

Nagl, S. (2012), VOC´s aus Holz und Holzwerkstoffen - Aktueller Projektstand. Tagungsband Holz_Haus_Tage 2012 (Bad Ischl), HFA, Wien, 25-31

Nagl, S. (2013), VOCs - Auf die Summe kommt es an, Tagungsband Holz_Haus_Tage 2013 (Bad Ischl). HFA, Wien, 59-65

Nagl, S.; Fürhapper, C.; Niedermayer, S.; Polleres, S. (2013) Untersuchungen zur Raumluftqualität an zwei unterschiedlichen Versuchsräumen in Holzrahmenbauweise. Holztechnologie 54(3):44-49

Teibinger, M. (2011), Sommerliche Überwärmung - Der Einfluss des Fensters, Tagungsband Fenster-Türen-Treff 2011 (Villach), HFA, Wien, 37-47

Weidenhiller, A.; Denzler, J. K. (2014) On the suitability of colour and texture analysis for detecting the presence of bark on a log. Computers and electronics in agriculture 106:42-48. doi: 10.1016/j.compag.2014.05.010

Weidenhiller, A.; Denzler, J. K., Golser, M. (2014) Detecting spruce and fir log diameter under bark by using shape and image data. submitted to Scandinavian Journal of Forest Research

Weigl, M.; Fürhapper, C.; Niedermayer, S.; Habla, E.; Nohava, M.; Nagl, S.; Polleres, S. (2014) VOC emissions from building materials – results from lab and model room trials, International Wood Products Journal. doi: 10.1179/2042645314Y.0000000072

VORTRÄGE

Denzler, J. K.; Weidenhiller, A. (2013) New perspectives in machine strength grading - or how to identify a top rupture. RILEM Conference Materials and Joints in Timber Structures – Recent Advancement of Technology", Stuttgart (Deutschland), 8. – 10. Oktober 2013

Denzler, J. K.; Linsenmann, P. (2014) Utilization of microwave measurement in timber strength grading. COST Action FP1004, Experimental Research with Timber, Prag, (Tschechien), 21 – 23 May 2014

Ehrlich, F. (2013): Parametric study of summer behavior in timber houses - Comparison of wooden constructions. 9th edition of the International Conference „Wood Science and Engineering in the third Millenium". Transilvania University, Brasov. Brasov (Rumänien), 07.11.2013

Ehrlich, F. (2013): Parametric study of summer behavior in timber houses - air flow in detached houses considering the influence of insect screens. 2nd Central European Symposium on Building Physics (CESBP). TU Wien. Wien, 11.09.2013.

Ehrlich, F. (2013): Sommerliches Verhalten von Holzkonstruktionen. Bauphysik-Forum 2013 / 4. Internationaler Holz[Bau] Physik Kongress. Holzforschung Austria. Mondsee (Österreich), 19.04.2013

Eichholzer, A. (2012): VOC aus Holz und Holzwerkstoffen - Wie viel ist natürlich? Wiener Leimholzsymposium, Wien, 29. 03. 2012

Nagl, S. (2012): VOC's aus Holz und Holzwerkstoffen - Aktueller Projektstand, Holz_Haus_Tage 2012, Bad Ischl, 11. Oktober 2012

Nagl, S.; Dobianer, K. (2013) VOCs - Auf die Summe kommt es an! Holz_Haus_Tage 2013, Bad Ischl, 3. 10. 2013

Teibinger, M. (2010): Das Holzhaus im Sommer. Fakten versus Vorurteile. MHC. Linz, 17.11.2010

Teibinger, M. (2011): Sommerliche Überwärmung. Der Einfluss des Fensters. Fenster Türen Treff 2011. Villach, 10. 3. 2011

Teibinger, M. (2012): Einfluss der Lüftung auf die Sommertauglichkeit. BauZ! Wiener Kongress für zukunftsfähiges Bauen. IBO. Wien, 17.02.2012

ANERKENNUNGEN

Julia K. Denzler, ACR Woman Award 2012

Best poster award IPPS2013: Fürhapper, C.; Niedermayer, S.; Habla, E.; Nohava, M.; Nagl, S.; Polleres, S.; Weigl, M. (2013) VOC emissions from building materials – first results from lab and full scale trials. In: Proceedings of the International Panel Products Symposium IPPS2013, 9-10th October 2013, Llandudno, UK, 219-223

FÖRDERGEBER HFA-TiMBER

bmwfw Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft

bmvit Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

FFG

wirtschaftsagentur wien Ein Fonds der Stadt Wien

PROJEKTPARTNER AREA „SCANNING AND PROCESSING“

RURU DONAUSÄGE RUMPLMAYR

MiCROTEC INNOVATING WOOD

HASSLACHER NORICA TIMBER

doka

EMCE

BOKU Universität für Bodenkultur Wien

PROJEKTPARTNER AREA „BUILDING AND LIVING“

GRIFFNER

HOMATHERM® der evolutionäre dämmstoff

HRACHO WINA GUT GEMACHT.

ISOCELL

KLH

KNAUF

KNAUF INSULATION Energie sparen, jetzt!

Fachverband der Holzindustrie Österreichs

lk Landwirtschaftskammer Österreich

TU WIEN bi.ht