



Gebrauchsdauerplanung und leistungsbasierte Klassifizierung von Holzprodukten

Brischke, C.¹; Meyer, L.¹; Jermer, J.²; Suttie, E.³

¹Leibniz Universität Hannover, Fakultät für Architektur und Landschaft, Institut für Berufswissenschaften im Bauwesen, Herrenhäuser Str. 8, D-30419 Hannover, Germany

²SP Technical Research Institute of Sweden, Dept. of Wood Technology, Box 5609, SE-114 86 Stockholm, Schweden

³Building Research Establishment (BRE), Bucknalls Lane, Watford WD25 9XX, Vereinigtes Königreich

Zusammenfassung

Performance-basierte Klassifizierung von Bauprodukten ist heute essentiell und wird nicht zuletzt durch die Europäische Bauproduktenverordnung unerlässlich. Eine Schlüsselrolle für die Konkurrenzfähigkeit von Holz spielt in diesem Zusammenhang die Fähigkeit, verlässliche Komponenten mit kontrollierter Dauerhaftigkeit sowie minimalem Wartungsaufwand und Lebenszykluskosten anzubieten. Die Entwicklung leistungsbasierter Designkonzepte für dauerhafte Konstruktionen erfordert Modelle, die die Performance von Holz quantitativ und probabilistisch vorhersagen können. Die Mehrzahl der existierenden Normen zur Prüfung der Dauerhaftigkeit von Holz erfüllt diese Anforderungen allerdings nicht und die Überarbeitung von Schlüsselstandards in CEN TC 38 ist dringend geboten. Vor diesem Hintergrund werden die Kernergebnisse der beiden europäischen Forschungsprojekte WoodBuild und PerformWOOD dargestellt und Vorschläge für neue Prüfmethoden und –normen sowie für eine leistungsbasierte Klassifizierung von Holzprodukten im Baubereich vorgestellt.

1. Einleitung

Der Bausektor steht unter dem Zwang, sowohl seine Kosteneffizienz, Qualität und Energieeffizienz als auch seine ökologische Leistung zu verbessern. Zugleich soll der Einsatz nicht erneuerbarer Ressourcen reduziert werden. Vor diesem Hintergrund können Holz und holz-basierte Werkstoffe eine Schlüsselrolle spielen, da sie grundsätzlich einen geringen CO₂-Gehalt aufweisen und aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern stammen. Holz hat zahlreiche weitere Vorteile im Vergleich zu anderen Baustoffen wie sein hohes Festigkeits-Gewichts-Verhältnis, gute Dämmeigenschaften, und eine ansprechende Ästhetik. Demgegenüber steht die Dauerhaftigkeit von Holz, die gegenüber unterschiedlichen biologischen Agentien begrenzt ist, und berücksichtigt werden muss, wenn Holz Feuchte und somit günstigen Bedingungen für holzerstörende Organismen ausgesetzt wird.

Der Bedarf für eine leistungsbasierte Klassifizierung von Holzprodukten steigt stetig an, nicht zuletzt durch die Einführung der Europäischen Bauproduktenverordnung (European Construction Products Regulation CPR) sowie durch Garantiegeber und Endnutzer, die entsprechende Informationen verstärkt nachfragen. Der Begriff Performance (= Performanz, Leistungsfähigkeit) ist hierbei unbedingt mehrdeutig aufzufassen und umfasst u. a. die Funktionsfähigkeit von Bauteilen (functional performance), die optische Erscheinung von Bauteilen (aesthetical performance), ihre Dauer-



haftigkeit gegenüber biotischen Einflüssen (durability) und die Fähigkeit, einer Befeuchtung zu widerstehen (moisture performance).

Eine Schlüsselrolle für die Konkurrenzfähigkeit von Holz spielt die Fähigkeit, verlässliche Komponenten mit kontrollierter Dauerhaftigkeit sowie minimalem Wartungsaufwand und Lebenszykluskosten anzubieten. Die Entwicklung leistungsbasierter Designkonzepte für dauerhafte Konstruktionen erfordert Modelle, die die Performance von Holz quantitativ und probabilistisch vorhersagen können. Der Zusammenhang zwischen Dauerhaftigkeit in Labor- oder Freilandversuchen und der Leistungsfähigkeit unter realen Gebrauchsbedingungen muss hierzu quantifiziert werden und die resultierenden Modelle anhand von realen Fallbeispielen verifiziert und ggf. adaptiert werden.

Forschung zur Performance von nativem und behandeltem Holz reicht von früher Vorhersagemethodik (Purslow 1977), Gebrauchsdauervorhersagemodellen (Leicester et al. 2003, Brischke et al. 2010, Suttie und Englund 2010, Van Acker et al. 2010) bis hin zu angewandten Performance-Modellen (Brischke et al. 2011a, b, Thelandersson et al. 2011, Wang und Morris 2011, Bornemann et al. 2012, Van Acker et al. 2012) einschließlich der Bewertung von klimatischen Gegebenheiten und Designoptionen. Die Mehrzahl der existierenden Normen zur Prüfung der Dauerhaftigkeit von Holz wurde allerdings entwickelt, um Holzschutzmittel zu bewerten. Heute sind zahlreiche zusätzliche Möglichkeiten, die Dauerhaftigkeit von Holz zu erhöhen, hinzugekommen, z. B. die thermische und chemische Modifizierung des Holzes, die Imprägnierung mit hydrophobierenden Substanzen, Beschichtungen und konstruktive Maßnahmen. Die Prüfmethode werden aber eingesetzt, um zu bestimmen, ob eine Schutzmittelbehandlung für einen Verwendungszweck angemessen ist (fit for purpose). Dieses Prinzip lässt sich in vielen Fällen nicht auf neue Behandlungsverfahren und Modifizierungen von Holz übertragen.

Der hier skizzierten Problematik haben sich in den vergangenen sechs Jahren mehrere Forschungseinrichtungen in Europa eingehend angenommen. Im Folgenden werden wesentliche Ziele, Inhalte und Ergebnisse aus zwei unterschiedlichen Forschungsprojekten zusammenfassend dargestellt: zum einen das schwedische Forschungsprogramm WoodBuild, zum anderen das im Rahmen des 7. Rahmenprogramms der EU geförderte Projekt PerformWOOD. Der Fokus beider Projekte und somit dieser Zusammenschau liegt auf der leistungsbasierten Klassifizierung von Bauprodukten im Hinblick auf ihre Dauerhaftigkeit und die zu erwartende Gebrauchsdauer.

2. PerformWOOD

2.1 Struktur und Ziele des Projektes

Folgende grundlegenden Ideen führten zu dem Projekt „PerformWOOD“:

- (1) Ressourcen aus europäischen Wäldern bedürfen in der Regel einer erhöhten Dauerhaftigkeit, wenn sie im Baubereich nachhaltig genutzt werden sollen
- (2) Bestehende europäische Normen berücksichtigen innovative Technologien nicht ausreichend
- (3) Bestehende europäische Normen informieren nicht über die zu erwartende Gebrauchsdauer
- (4) Verbraucher und Nutzer von Holzprodukten fragen Informationen über die zu erwartende Gebrauchsdauer verstärkt nach
- (5) CEN TC 38 Normen bedürfen einer besseren Vernetzung mit ihren Anwendern
- (6) Das Vertrauen in die Leistungsfähigkeit (= Performance) des Bau- und Werkstoffs Holz schwindet
- (7) Verpasste Chancen für eine Reihe CO₂-neutraler Baustoffe
- (8) Umdenken innerhalb des CEN TC 38 deutlich, aber es bedarf weiterer Anstrengungen, das im Rahmen von 10 Jahren R&D in der Normung umzusetzen
- (9) Der technische Hintergrund für notwendige Änderungen in der Normung muss gefestigt werden, um neue Dokumente zur Gebrauchsdauerplanung und Performance-Klassifizierung von Holzbauprodukten zu erstellen und zu etablieren.



Im Rahmen von PerformWOOD wurde deshalb das Ziel verfolgt, die Entwicklung neuer Standards anzustoßen, um eine Gebrauchsdauerspezifizierung von Holzbauprodukten zu ermöglichen. Folgende Projektpartner waren beteiligt und haben innerhalb von 18 Monaten den technischen Hintergrund sowie zahlreiche konkrete Vorschläge für die Neustrukturierung zentraler Normen in CEN TC 38 erarbeitet:

- Building Research Establishment (BRE), Watford, Vereinigtes Königreich
- Leibniz Universität Hannover, Deutschland
- SP Technical Research Institute of Sweden, Stockholm, Schweden
- FCBA, Bordeaux, Frankreich
- TECNALIA, Bilbao, Spanien
- VVUD, Prague, Tschechien
- University of Lund, Lund, Schweden
- University of Ghent, Ghent, Belgien

Schwerpunkte des Arbeitsprogramms waren:

- Bestimmung und Klassifizierung der Materialresistenz
- Feuchteverhalten von Holz und Feuchterisiken in Holzbauteilen (time of wetness)
- Umgang mit Daten und ihrer Variabilität
- Modellierung und Vorhersage der Gebrauchsdauer von Holzbauteilen
- Präferenzen von Kunden und Verbrauchern

2.2 Materialresistenz

Das bestehende Klassifizierungssystem für die Dauerhaftigkeit von Holz in Europa basiert auf EN 350 (1994) und es werden fünf Klassen zwischen "sehr dauerhaft" (DKL 1) und "nicht dauerhaft" (DKL 5) gegenüber Pilzbefall unterschieden. Für die Dauerhaftigkeit gegenüber Larven von Trockenholz holzerstörenden Käfern, Termiten oder marinen Holzzerstörern werden hiervon abweichend dreistufige Klassifizierungen vorgenommen. Die Klassifizierung basiert auf Relativwerten, z. B. der Lebensdauer von Freilandprüfkörpern relative zur Lebensdauer nicht dauerhafter Referenzen oder dem relativen Masseverlust von Prüfkörpern in Labor-Abbauversuchen. Bislang wird aus den Angaben zur natürlichen Dauerhaftigkeit in EN 350-2 (1994) nicht klar, auf Grundlage welcher Art von Prüfung die Dauerhaftigkeit bestimmt wurde. Die derzeitige Überarbeitung der Norm hat deshalb eine Erhöhung der Transparenz der Klassifikation zum Ziel, z. B. durch eine Indizierung der jeweils zugrundeliegenden Datenquelle (Bollmus et al. 2014).

Neben der 'reinen' Resistenz gegenüber holzerstörenden Organismen wird in der überarbeiteten Norm auch die Fähigkeit des Holzes, einer Befeuchtung zu widerstehen (wetting ability), berücksichtigt werden. Im Rahmen von PerformWOOD ist hierzu in Zusammenarbeit mit der CEN TC 38 Task Group EN 350 ein umfangreicher Ringversuch und Methodenvergleich initiiert worden, um eine belastbare Daten für die Etablierung und Standardisierung einer Prüfmethode zu generieren (Brischke et al. 2014). Bereits im WWN-Projekt 'WoodExter' (2007-2010) sind basierend auf der Idee der Faktormethode nach ISO 15686 (2011) Leitwerte für die Materialresistenz von holzbasierenden Materialien festgelegt worden, um die Gebrauchsdauer von Holzbauteilen zu berechnen (Theandersson et al. 2011). Hierzu wurden Materialresistenzklassen definiert und sog. Resistenz-Indizes zugeordnet (Tabelle 1).

Diese Idee wurde von Isaksson et al. (2014) weiterentwickelt und im Rahmen des Projektes WoodBuild für eine neue Design Guideline umgesetzt. Hier wurden verschiedene Faktoren, die die Gebrauchsdauer von Holzbauteilen beeinflussen, unter Verwendung von Performance-Modellen



und Daten aus Langzeit-Monitoring-Studien quantifiziert. Materialresistenzklassen als Folge der Dauerhaftigkeit gegenüber Organismen und der Widerstandsfähigkeit gegenüber Be-feuchtung sind konsequenterweise Bestandteil des neuen Konzepts für eine Performance-Klassifizierung im Rahmen von PerformWOOD (Kutnik 2013, Suttie et al. 2014).

Tabelle 1: Klassifizierung der Resistenz ausgewählter holzbasierter Materialien und zugehörige Design-Resistenz-Indizes I_{Rd} (aus WoodExter Design-Guideline, Thelandersson et al 2011)

Material-resistenz-klasse	Beispiele*	I_{Rd}
A	Kernholz sehr dauerhafter tropischer Laubhölzer, z. B. Afzelia (DKL 1) Schutzmittelbehandeltes Splintholz, industriell behandelt entsprechend den Anforderungen der Gebrauchsklasse 3	10,0
B	Kernholz dauerhafter Hölzer, z. B. Kastanie, Western Red Cedar (DKL 2)	5,0
C	Kernholz mäßig u. wenig dauerhafter Hölzer, z. B. Douglasie, Lärche, Kiefer (DKL 3 & 4)	2,0
D	Wenig dauerhaft Hölzer mit geringer Wasseraufnahmefähigkeit, z. B. Fichte	1,0
E	Splintholz aller Holzarten (und unbehandelte Produkte mit hohem Splintholzanteil)	0,7

*Resistenz der meisten holzbasierten Materialien unterliegt einer Variabilität. Die Materialresistenz sollte bevorzugt auf lokalem Wissen auf Grundlage der Erfahrung mit Fassaden und Decks basieren und, wenn dies nicht verfügbar ist, auf Ergebnissen aus Freilandprüfungen gefolgt von Laborprüfungen erfolgen. Es ist möglich, dass eine Klassifizierung mit unterschiedlichen Design-Resistenz-Indizes an Regionen oder Länder angepasst werden muss, wenn dort Erfahrungen aus der Nutzung des jeweiligen Materials vorliegen.

Ein erster Versuch, die ‚Dauerhaftigkeit‘ und die ‚Fähigkeit des Holzes, einer Befeuchtung zu widerstehen‘ zu kombinieren, um eine gemeinsame quantitative Klassifizierung der Materialresistenz zu erzielen, wurde von Isaksson et al. (2014) und Brischke et al. (2014) vorgestellt. Hierbei wird ein Design-Resistenz-Index D_{Rd} aus einer kritischen Dosis D_{crit} , die sich aus Freilandversuchen (Isaksson et al. 2014) ergibt, und den Faktoren k_{wa} (wa = wetting ability) und k_{inh} (inh = inherent resistance) nach Gleichung 1 errechnet.

$$D_{Rd} = D_{crit} \cdot k_{wa} \cdot k_{inh} \quad (1)$$

D_{crit} = kritische Dosis, die dem Erreichen einer Abbaubewertung 1 nach EN 252 (1989) entspricht

k_{wa} = Faktor zur Beschreibung der relativen Fähigkeit des Holzes, einer Befeuchtung zu widerstehen (Referenz: Fichte)

k_{inh} = Faktor zur Beschreibung der relativen inherenten Resistenz gegenüber holzerstörenden Pilzen (Referenz: Fichte)

Nach Auswertung zahlreicher Labor- und Freilandversuche zur Bestimmung der inherenten Resistenz (TMC-Versuche und Erdeingrabeversuche nach EN 252, 1989, vgl. Soetbeer et al. 2014) sowie unterschiedlichen Tauch- und Tränkversuchen zur Bestimmung des Adsorptions- und Desorptionsverhaltens (Brischke et al. 2014) wurden die Faktoren k_{inh} und k_{wa} (als Relativwert zur Referenzholzart Fichte) bestimmt und über alle Versuche gemittelt. Ein Vorschlag für beide Faktoren wurde nach einer Korrektur anhand von „Expertenmeinung und –erfahrung“ unterbreitet und zur Diskussion gestellt. In Tabelle 2 sind weiterhin die sich ergebenden Design-Resistenz-Indizes D_{Rd} dargestellt und wiederum als Relativwert zur Referenzholzart Fichte angegeben.



Tabelle 2: Vorschlag für eine kombinierte Klassifizierung der Resistenz ausgewählter holzbasierter Materialien und zugehörige Design-Resistenz-Indizes D_{Rd} (aus: Brischke et al. 2014) basierend auf experimentellen Daten ($D_{crit} = 325$).

Material	Experimentelles Mittel*		Vorschlag		D_{Rd} [d]	$D_{Rd, relativ}$ [-]
	k_{inh} [-]	k_{wa} [-]	k_{inh} [-]	k_{wa} [-]		
Fichte	1,00	1,00	1,0	1,0	325	1,00
Kiefer - Splint	0,80	0,92	0,9	0,8	234	0,72
Kiefer - Kern	1,15	1,69	1,3	1,5	634	1,95
Douglasie - Kern	1,74	1,11	2,0	1,5	975	3,00
SYP - Splint	0,89	1,01	0,9	1,0	293	0,90
Radiatakiefer - Splint	0,86	0,89	0,9	0,8	234	0,72
Eur. Lärche - Kern	1,34	1,23	1,3	1,5	634	1,95
Buche	0,75	0,69	0,7	0,6	137	0,42
Stieleiche	0,87	0,83	1,3	1,0	423	1,30
Esche	0,74	0,84	0,7	0,8	182	0,56
Robinie	2,49	1,31	2,5	1,5	1219	3,75

2.3 Feuchterisiko in Holzbauteilen

Abgesehen von Holz im direkten Erdkontakt, wo unzuträgliche Feuchtebedingungen als ständig gegeben angenommen werden können, lässt sich die Gefährdung von Holz an den jeweiligen Feuchtebedingungen und den auftretenden Schadorganismen festmachen. Beide Faktoren wurden deshalb beispielsweise zur Definition von Gebrauchsklassen nach EN 335 (2006) und für die Differenzierung der klimainduzierten Gefährdung an einem bestimmten Standort (Scheffer 1971) herangezogen. Dies bedeutet zugleich, dass die Vielzahl beschriebener Freilandprüfmethoden für Holz außerhalb der Erde zu einer deutlich eingeschränkten Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse führt, weil die jeweiligen Belastungen durch Feuchte und Organismen sehr unterschiedlich sein können. Für vergleichende Studien stellen somit Holzfeuchtemessungen ein probates Mittel zur Quantifizierung der Feuchtebelastung und somit zur Einschätzung der jeweils vorliegenden Gefährdung von Prüfmethoden, Prüfstandorten und weiteren Rahmenbedingungen dar. Nach wie vor wird ein solches Feuchtemonitoring aber nicht häufig durchgeführt, weder im Rahmen von Untersuchungen zum Feuchteverhalten von Holz selbst noch als begleitende Messkampagne von Dauerhaftigkeitsprüfungen (Kilpelainen et al. 2000, Fredriksson 2013, Meyer et al. 2013, Meyer und Brischke 2014).

Insbesondere in europäischen CEN TC 38 Normen ist die Feuchtemessung als Maßnahme im Rahmen von Dauerhaftigkeitsprüfungen bislang nicht verankert. Im Rahmen von PerformWOOD wurde deshalb das Potential bestehender Prüfverfahren, Performance- und Gebrauchsdauerdaten zu liefern, untersucht und Möglichkeiten eruiert, dieses Potential zu erhöhen. Im Rahmen einer europaweiten Expertenbefragung wurden Informationen zur Bedeutung des ‚feuchteinduzierten Befallsrisikos‘ im Rahmen von Dauerhaftigkeitsprüfungen und der Gebrauchsdauervorhersage gesammelt. Web-Fragebögen wurden an insgesamt 177 Experten in 37 Ländern versandt. Der Rücklauf betrug 25,4 %, d.h. 45 Teilnehmer beantworteten die insgesamt 44 Einzelfragen.

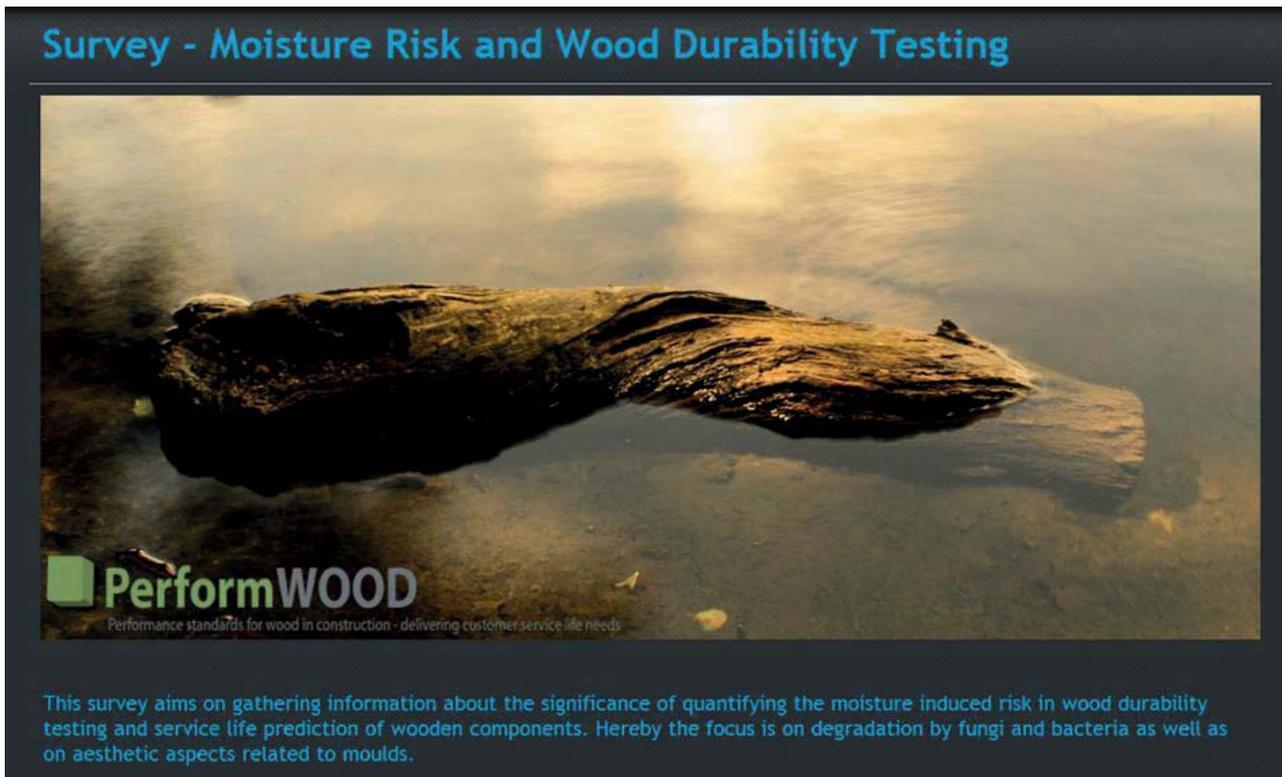


Abbildung 1: Titelseite des PerformWOOD-Web-Fragebogens zur Bedeutung des ‚feuchteinduzierten Befallsrisikos von Holz in Dauerhaftigkeitsprüfungen‘.

Einerseits wurde von den Befragten mehrheitlich die Berücksichtigung der Holzfeuchtebedingungen durch die entsprechenden Prüfprotokolle als unzureichend erachtet, andererseits die herausragende Bedeutung von Holzfeuchte und der Fähigkeit des Holzes, einer Befeuchtung zu widerstehen, herausgehoben (Tabelle 3).

Tabelle 3: Bewertung von Aussagen zur Bedeutung des ‚feuchteinduzierten Befallsrisikos von Holz in Dauerhaftigkeitsprüfungen zwischen ‘0 = Ich stimme nicht zu’ und ‘5 = Ich stimme vollständig zu‘.

Aussage	Antworten [%]						Mittel
	0	1	2	3	4	5	
Die Fähigkeit, einer Befeuchtung zu widerstehen, ist ein essentieller Parameter zur Bestimmung der Resistenz von Holz gegenüber Fäulnis	2	0	2	14	33	49	4,3
In Ergänzung zu traditionellen Dauerhaftigkeitsprüfungen sollte die Fähigkeit des Holzes, einer Befeuchtung zu widerstehen, bestimmt werden	2	0	7	19	33	39	4,1
Geeignete Methoden zur Bestimmung der Fähigkeit des Holzes, einer Befeuchtung zu widerstehen, sind verfügbar	9	7	28	37	14	5	2,6
Geeignete Methoden zur Bestimmung der Fähigkeit des Holzes, einer Befeuchtung zu widerstehen, sind bereits etabliert	16	19	35	18	12	0	2,0
Feuchtemessungen haben das Potential die Dauer von Freilandprüfungen zu verringern	7	12	28	21	25	7	2,7
Kontinuierliche Feuchtemessungen im Freiland sollten häufiger durchgeführt werden.	5	0	12	21	32	30	3,8
Der Mehrwert durch Feuchtemessungen rechtfertigt nicht zusätzlich notwendige Zeit und Kosten	23	28	16	26	5	2	1,7
Die Verlässlichkeit von Feuchtemessungen ist nicht ausreichend, um Performance-Daten bereitzustellen	16	23	16	26	12	7	2,2

Eine Inventur bestehender und angewandter Prüfmethode ergab, dass eine Vielzahl nicht-standardisierter Verfahren als Behelf dient, um die unterschiedlichen Expositionsbedingungen von



Holz im Außenbereich mehr oder weniger adäquat zu berücksichtigen. Empfehlungen für eine zukünftige Implementierung von Methoden zur Bestimmung der Holzfeuchte und der ‚Time of Wetness ToW‘ in Prüfstandards wurden erarbeitet. Eine Auswahl der Ergebnisse der PerformWOOD-Web-Befragung ist in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellt.

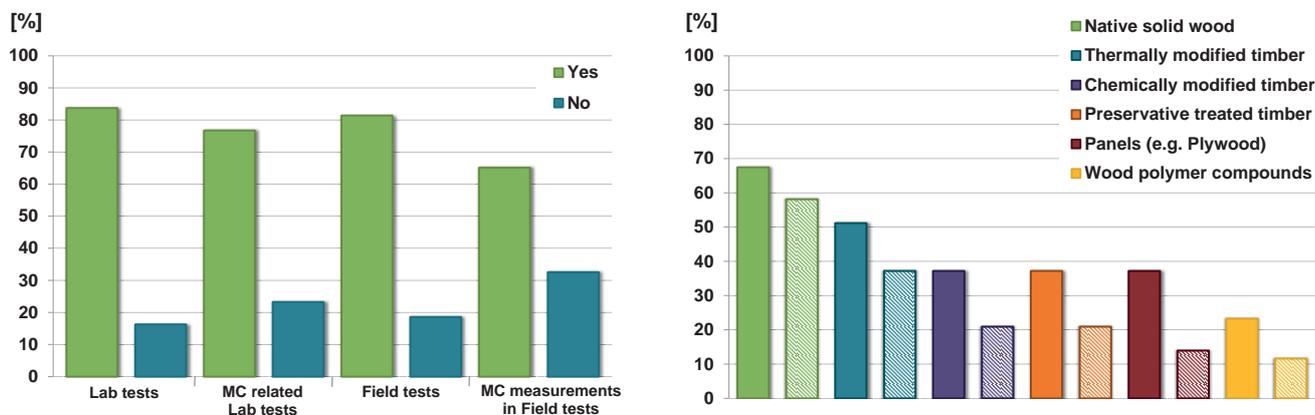


Abbildung 2: Ergebnisse der PerformWOOD Web-Befragung. Links: Durchgeführte Prüfmethode. Rechts: Materialien die hinsichtlich ihrer Feuchte-Performance geprüft werden (Labor- und Freilandprüfungen), vollfarbig: Laborprüfungen, gestrichelt: Freilandprüfungen.

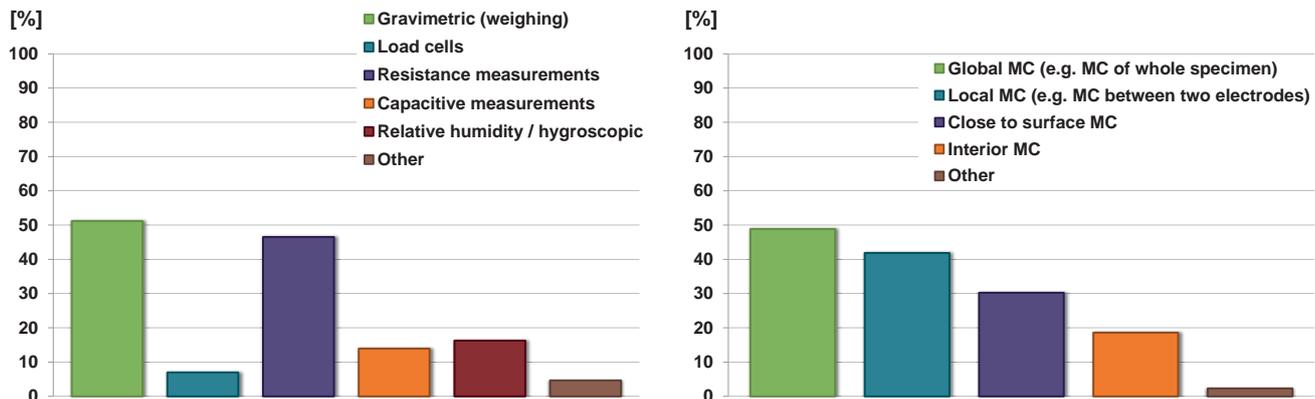


Abbildung 3: Ergebnisse der PerformWOOD Web-Befragung. Links: Methoden zur Holzfeuchtebestimmung im Freiland. Rechts: Arten der Holzfeuchte, die bestimmt werden.

2.4 Analyse und Interpretation von Daten

Die Vielfalt der eingesetzten Prüf- und Auswertungsmethoden und die zu erwartende Streuung der Ergebnisse bedarf einer besonderen Berücksichtigung bei der Charakterisierung heterogener organischer Baustoffe wie Holz (De Windt et al. 2013). Eine Erhöhung des Probenumfangs erhöht gewöhnlich auch die Verlässlichkeit der Ergebnisse, zugleich aber den damit verbundenen Aufwand und die entsprechenden Kosten. Sie ist dabei sowohl auf die Variabilität des Materials selbst als auch durch die Variabilität der Prüfmethoden und Prüfpersonen zurückzuführen. Über die Variabilität zwischen Prüflaboratorien und/oder Prüfpersonen wurde bereits vielfach berichtet (z. B: Van Acker et al. 2003, Brischke et al. 2013). Obwohl dieselben Prüfstandards Verwendung finden, unterscheiden sich Prüfergebnisse oft erheblich. Dies ist wiederum in der Komplexität vieler Prüfverfahren und der Verwendung qualitativer und oft subjektiver Bewertungskriterien begründet (z. B. Klamer et al. 2013).

Die Variabilität des zu prüfenden Materials hingegen kann durch die Art der Probenahme beeinflusst sein, ergibt sich aber oft auch aus den materialeigenen Eigenschaften, die durch seine Herkunft, das Baumalter, die Stammposition und anderes mehr beeinflusst werden. Selbst wenn nur möglichst ähnliche Proben verwendet werden, kann dies zwar zu einer Reduzierung der Variabilität der Ergebnisse, niemals aber zu deren vollständiger Aufhebung führen. Andererseits, ist es gleichfalls unerlässlich, Probenmaterial aus einer bestimmten Zahl unterschiedlicher Quellen zu prüfen, um die Repräsentativität der Stichprobe zu gewährleisten.

Die Klassifizierung der natürlichen Dauerhaftigkeit oder der Wirksamkeit von Bioziden wird üblicherweise anhand von arithmetischen Mittel- oder Medianwerten vorgenommen. Nichtsdestotrotz ist die Streuung der Einzelwerte manchmal sehr hoch und die Interpretation der Daten somit schwierig. Prüfdaten so darzustellen, dass der Endverbraucher zugleich relevante Informationen über den Grad der Streuung der jeweiligen Eigenschaft erhält, ist eine der großen Herausforderungen für die Zukunft. Das größte Risiko einer Unterschätzung der Bedeutung einer hohen Variabilität – und somit in dem Versäumnis robuste statistische Methoden zu implementieren - liegt darin, Hersteller, Verbraucher und Zulassungsbehörden mit Daten zu versorgen, deren Verlässlichkeit nicht gesichert ist.

Eine Reihe unterschiedlicher, über das bisherige Maß hinausgehender statistischer Ansätze wurde deshalb hinsichtlich ihrer Eignung für eine Implementierung in CEN TC 38 Standards untersucht. Hierzu gehören u. a. verschiedene Verteilungsfunktionen (De Windt et al 2013, Van den Bulcke et al. 2013), die sich in einen probabilistischen Klassifizierungsansatz einfügen lassen. Beispielhaft ist in Abbildung 4 die Verlässlichkeit von Versuchsergebnissen für eine Reihe unterschiedlicher Materialien nach Exposition im Erdkontakt dargestellt.

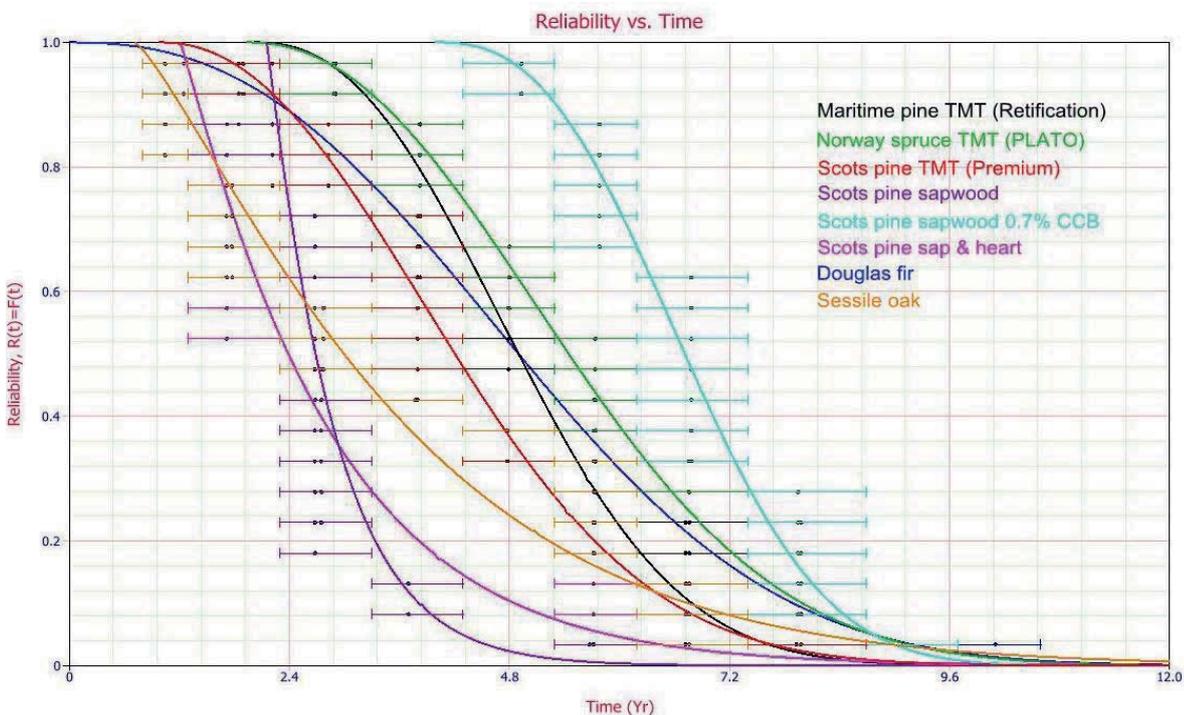


Abbildung 4: Verlässlichkeit und Standardabweichung der Abbaubewertung für unterschiedliche Holzarten und Behandlungen nach Prüfung im Erdkontakt (EN 252, 1989) am Standort Hamburg (aus: Van den Bulcke et al. 2013).

2.5 Performance-Modelle

Für die Gebrauchsdauervorhersage von Gebäuden und Bauprodukten werden verlässliche ‚Performance-Modelle‘ benötigt. Der Begriff ‚Performance-Modell‘ ist allerdings in zweifacher Hinsicht mehrdeutig: Zum einen ist der Begriff ‚Performance‘ genau zu definieren, da er sehr unterschiedliche Bedeutungen haben kann je nach betrachtetem Material, Produkt und Bauteil sowie deren jeweiliger Anwendung. Zum anderen wird generell unter einem Modell die schematische Beschreibung eines Systems, einer Theorie oder eines Phänomens verstanden, welches deren bekannte oder abgeleitete Eigenschaften erklärt und für die weitere Untersuchung seiner Eigenheiten genutzt werden kann. Welche Faktoren aber letztlich die eigentliche Zielgröße beschreiben, ist nicht unbedingt festgelegt. Bauteile, die im Außenbereich der Bewitterung ausgesetzt sind, werden hauptsächlich durch Feuchtigkeit und temperaturbedingte Effekte beeinflusst. Feuchte und Temperatur spielen aber auch im Innenbereich sowie in der Gebäudehülle eine wichtige Rolle. Insbeson-



dere für organische Baumaterialien (bio-based building materials) - wie zum Beispiel Holz - beeinträchtigen biologische Agenzien deren Gebrauchsdauer, wohingegen andere Abbauprozesse wie Korrosion, Erosion oder Hydrolyse nahezu vernachlässigbar sind.

Anstrengungen zur Entwicklung von Performance-Modellen sind in den vergangenen Jahren deutlich intensiviert worden, sowohl im Hinblick auf den Befall durch Schimmelpilze als auch durch holzerstörende Pilze (Brischke 2013). Unterschiedliche Ansätze sind verfolgt und diverse Modelle für eine Implementierung in Konstruktions-Richtlinien vorgeschlagen worden. All diese Ansätze zeugen von einem hohen Maß an Heterogenität, wobei unterschiedliche Strategien verfolgt wurden. Die existierenden bzw. in Entwicklung befindlichen Modelle lassen sich grob nach folgenden Kriterien unterscheiden:

- Ziele: präzise Gebrauchsdauervorhersage (idealerweise angegeben in Jahren) oder vergleichende Bewertung (zur Quantifizierung von Einflüssen, z.B. von Konstruktionsdetails; zum Vergleich von Alternativen, z. B. Materialien oder Designlösungen)
- Zielgrößen: Masseverlust, Festigkeitsverlust, Restfestigkeit, Abbaubewertungen, Befallstiefe, Gebrauchsdauer in Abhängigkeit unterschiedlicher Grenzzustände, Ästhetik, etc.
- Datenquellen: Laborergebnisse, Freilandergebnisse, Fallstudien und Erhebungen, Expertenbefragungen, Realitätsprüfungen, Multi-source approaches, etc.
- Grad der Genauigkeit/Verlässlichkeit: Gebrauchs- und Dauerhaftigkeitsklassen, Dosimeter-Ansätze, kombinierte Ansätze

Des Weiteren stellt die Zerstörung durch Organismen aus Ingenieurssicht nur einen Teil der Gesamt-Performance von Holzkonstruktionen dar. Ein umfassendes Ingenieur-Modell kann deshalb dominiert werden durch die Effekte von Rissbildung, Alterung, UV-Degradation, Korrosion von Verbindungsmitteln und weiteren physikalischen Phänomenen.

Im Hinblick, auf die künftige Implementierung Performance-basierter Klassifizierungen von Bauprodukten ist festzuhalten, dass bereits zahlreiche Ansätze zur Modellierung der Gebrauchsdauer und Performance von Holz und Holzprodukten existieren. Teilweise sind sie bereits in Richtlinien zum Bauen mit Holz eingeflossen, eine Einbindung in Normenwerke steht aber weitgehend noch aus. Das Verwenden eines offenen Modellansatzes erlaubt die Berücksichtigung zusätzlicher, i. d. R. später verfügbarer Datensätze, zu einer Verfeinerung und Verbesserung des Modells. Folglich ist das Rahmenwerk bereits gegeben, um Exposition, Dimension, Konstruktionsdetails und die materialeigene Fähigkeit, Feuchte aufzunehmen und wieder abzugeben, miteinander zu verknüpfen und so das feuchtebasierte Risiko für Holzkonstruktionen zu modellieren. Methoden und Modelle haben das Potential, nicht nur in Richtlinien, sondern auch in Standards Eingang zu finden. Insbesondere die verschiedenen Dosimeter-Verfahren können dazu dienen, den Effekt verschiedener Konstruktionsdetails zu quantifizieren.

Nichtsdestotrotz besteht nach wie vor die Notwendigkeit, die bisherige Datenbasis zu vergrößern, um damit die bestehenden Modelle zu bedienen und zu verbessern. Effektive Klimamodelle zur Beschreibung des Einflusses von Wetterparametern auf das Materialklima werden für eine präzisere Bewertung einzelner Bauteile benötigt. Modelle bedürfen weiterhin einer Verifizierung durch Realitätsprüfungen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Materialien (z. B. schutzmittelbehandeltes Holz, modifiziertes Holz, Komposite) und unterschiedlicher Expositionsbedingungen (z. B. unter Berücksichtigung aller inner- und außerhalb Europas auftretenden Klimabedingungen). Letztlich erscheint eine Reihe leistungsfähiger und einfach anwendbarer Modelle erfolgversprechender als ein einziges Universalmodell, um Performance-bezogene Aspekte im Bauwesen in umfassender Weise zu bewältigen.

2.6 Kunden- und Nutzerpräferenzen

Um die Ausrichtung von Standards, Spezifikationen und Klassifizierungssystemen den Bedürfnissen ihrer Nutzer anzupassen, ist es in zunächst notwendig, diese zu kennen. Im Rahmen von PerformWOOD sind deshalb zwei umfangreiche Studien zu den Erwartungen unterschiedlicher Zielgruppen sowohl an die Gebrauchsdauer von Bauprodukten als auch an die diesbezüglich relevanten Normen durchgeführt worden. Die erste Umfrage richtete sich an Verbraucher und wurde in Großbritannien, Deutschland, Tschechien, Frankreich, Spanien, Schweden und in den Niederlanden durchgeführt. Eine vorbestimmte Zahl von Antworten wurde gesammelt, um ein Konfidenz-



veau von 95 % zu erreichen. Eine zweite Umfrage richtete sich an Sachkundige und Fachleute, die direkt oder über Fachverbände angeschrieben wurden. Diese Umfrage reichte über die oben aufgeführten Länder hinaus und es wurden insgesamt 696 verwertbare Antworten erhalten.

Deutliche Unterschiede in den Gebrauchsdauererwartungen in den einzelnen Ländern wurden deutlich und hingen dabei stark von dem jeweiligen Produkt ab. Eine Übersicht hierzu findet sich in Tabelle 4. So wurde zum Beispiel deutlich, dass die Erwartung an die Gebrauchsdauer in Deutschland, Frankreich und Tschechien insgesamt deutlich höher lag als in Großbritannien, Spanien oder in den Niederlanden. Erwartungsgemäß wurden die höchsten Erwartungen an tragende Bauteile wie Dachbalken, -sparren und Holzständerwerk gestellt. Die Erwartungen an Zäune, Decks oder Holzzierteile waren deutlich geringer.

Tabelle 4: Erwartungen von Eigenheimbesitzern an die Gebrauchsdauer (in Jahren) von Bauprodukten aus Holz (aus: Englund 2013); in dieser Darstellung bleibt die Zahl der Nennungen „Keine Ahnung“ unberücksichtigt.

Produkt	Land							Mittel
	UK	D	CZ	F	E	SE	NL	
Fenster	21	28	28	28	22	25	27	26
Türen	23	32	27	29	25	26	28	27
Holzzierteile	17	22	32	26	20	19	19	22
Fassaden	19	31	23	27	21	27	23	24
Dachbalken	41	54	52	58	30	49	26	44
Holzrahmen/-ständer	53	55	51	54	35	55	38	49
Balkone	20	33	25	28	23	20	20	24
Zäune	16	21	20	24	18	12	15	18
Gartenhäuser	18	25	29	24	18	21	18	22
Decks	16	21	22	22	18	16	17	19
Mittel	24	32	31	32	23	27	23	

Detaillierte Ausführungen beider Befragungen finden sich bei Englund (2013) z. B. zu den folgenden Aspekten:

- Gründe für die Erneuerung/den Ersatz von Holzbauteilen
- Tatsächlich erzielte Gebrauchsdauern
- Garantiezeiten für Holzprodukte
- Bedeutung und Einsatz von Normen im Bereich Dauerhaftigkeit und Performance von Holzprodukten

2.7 Konzept für eine Revision von EN 460

Der Standard EN 460 feiert in diesem Jahr seinen 20. Geburtstag. In EN 460 wird das Konzept der Gebrauchsklassen (ehemals Gefährdungsklassen) mit dem System der Dauerhaftigkeitsklassifizierung zusammengebracht, um abzuschätzen, ob Holz für eine bestimmte Anwendung einen Schutz durch Imprägnierung mit Holzschutzmitteln benötigt.

Der im Rahmen von PerformWOOD erarbeitete und mittlerweile an CEN übermittelte Vorschlag ist differenzierter und geht über die Frage von „Bestehen oder Nicht-Bestehen“ hinaus. Er basiert darauf, eine Expositions-Dosis mit der Materialresistenz zusammenzubringen, um die zu erwartenden Performance und Gebrauchsdauer von Holzprodukten abschätzen zu können. In Zukunft wird CEN/TC38 deshalb ein robustes Verfahren benötigen, mit dem sich aus den bestehenden oder neu zu entwickelnden Prüfmethode diese beiden Schlüsselparameter verlässlich ableiten lassen. Die grundsätzliche Vorgehensweise für eine Performanceabschätzung ist im Folgenden beschrieben:

Schritt 1: Bestimmung der Konsequenz eines Bauteilversagens (Consequence of failure COF)

COF berücksichtigt in der Regel die Sicherheit von Gesundheit und Leben sowie die Leichtigkeit, ein Bauteil auszutauschen. Grundsätzlich gilt: Ist die COF zu hoch, muss entweder die Materialresistenz erhöht oder die Expositions-dosis verringert werden. Dies steht nicht im Widerspruch zur

bisherigen EN 460 und wird im Rahmen einer Richtlinie von CEN TC 38 konkretisiert werden. Dabei lässt sich auf bestehende Systeme in nationalen Standards zurückgreifen (z. B. BS 8417, 2011).

Schritt 2: Bestimmung der Materialresistenz (Material resistance MR)

Unter Berücksichtigung der Dauerhaftigkeit und der Fähigkeit des Holzes, einer Befeuchtung zu widerstehen, wird die Materialresistenz bestimmt, wobei die Klassifizierung der Dauerhaftigkeit nach wie vor abhängig von den jeweiligen Schadorganismen bleibt. Vorgesehen ist die Erstellung eines Katalogs mit Netzdiagrammen, die Angaben zur Dauerhaftigkeit beinhalten (Abbildung 5).

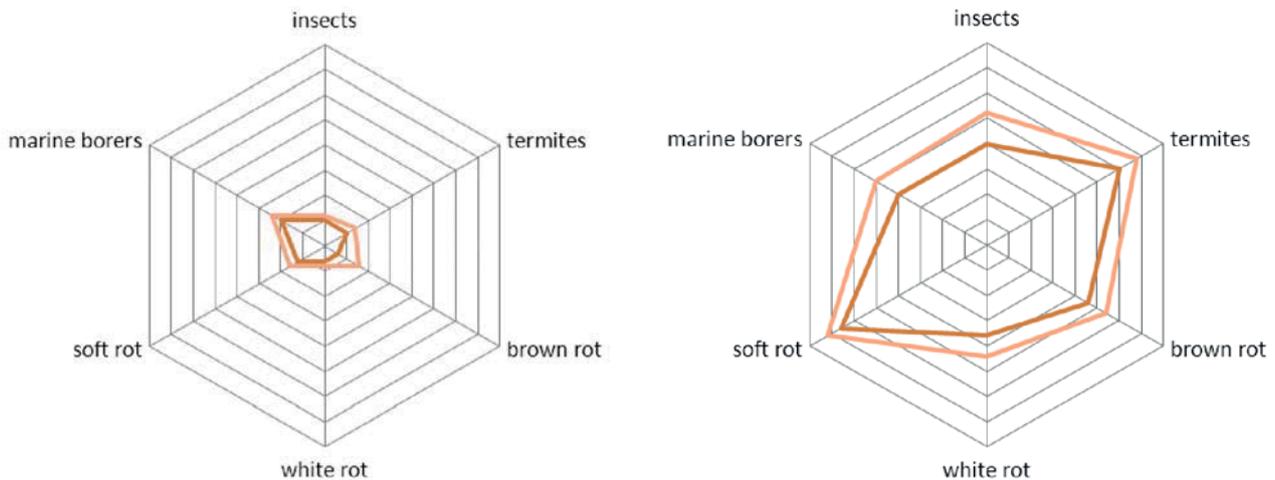


Abbildung 5: Netzdiagramme zur Illustration der Dauerhaftigkeit. Links: nicht dauerhafte Holzart. Rechts: dauerhafte Holzart.

Schritt 3: Bestimmung der Expositions-Dosis (Exposure dose ED)

Die Expositions-Dosis basiert im Wesentlichen auf dem feuchteinduzierten Befallsrisiko, das sich aus der spezifischen Einbausituation ergibt. Die Dosis lässt sich anhand von Daten zum Klima, zur Bauteildimension und weiteren Konstruktionsdetails ableiten. Auch zur Bestimmung der Expositions-Dosis wird es eines Technischen Berichts durch CEN TC 38 bedürfen, in dem die Erkenntnisse zur feuchteinduzierten Expositions-dosis zusammengefasst und Regeln für die Anwendung im Sinne einer Performance-Klassifizierung zusammengestellt werden. In den vergangenen 10 Jahren sind in zahlreichen europäischen Forschungsprojekten große Datenmengen hierzu gesammelt worden. Weitere Projekte sind unlängst im Rahmen des WoodWisdom-Netzwerkes angelaufen.

Schritt 4: Bestimmung der kritischen biologischen Gefährdung (Critical Biological Hazard CBH)

Sowohl die Gefährdung eines Holzbauteils als auch seine Materialresistenz hängt stark von den jeweiligen Schadorganismen ab. Es lassen sich also biologische Gefährdungen unterscheiden, die sich mehr oder weniger kritisch für ein bestimmtes Bauteil oder Material darstellen. Darüber hinaus lassen sich auch chemische und/oder physikalische Gefährdungen definieren. Hierbei muss nicht nur eine Gefährdung als kritisch angesehen werden, im Gegenteil werden meistens mehrere Organismengruppen als kritisch anzusehen sein.

Unterschieden werden folgende Gefährdungsgruppen:

- Braunfäulepilze
- Weißfäulepilze
- Moderfäulepilze
- Insekten (Käferlarven)
- Termiten
- Marine Holzerstörer
- (Bewitterung)
- (Rissbildung)
- (Bläue)
- (Schimmel)



Schritt 5: Bestimmung der Performance-Klasse (Performance Class PC)

Unter Verwendung der in Abbildung 5 dargestellten CBH-Diagramme und anhand der Angaben zu MR und ED lässt sich die erreichte Performance-Klasse ablesen, wobei stets der kritischste Fall angenommen werden sollte (Worst Case Szenario).

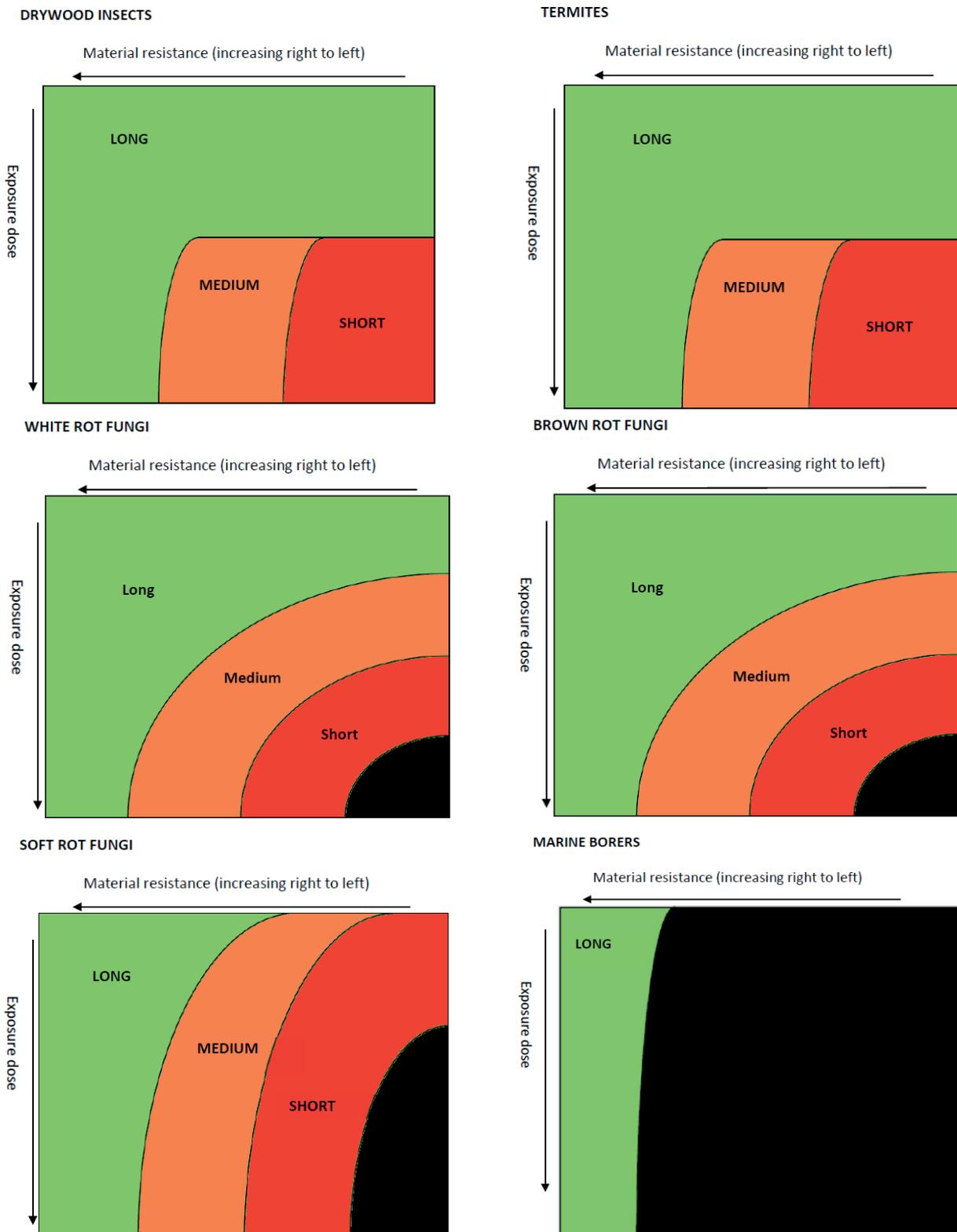


Abbildung 6: Prinzip-Darstellung zur Bestimmung von "Performance-Klassen" für unterschiedliche Organismengruppen auf Basis von Material- und Expositionsparametern.



Die Performance-Klassen „kurz“, „mittel“ und „lang“ sind nicht vorgegeben und sollten wahrscheinlich auf nationaler Ebene definiert werden. Wie unterschiedlich die Erwartungshaltung von Nutzern in verschiedenen europäischen Ländern ausfällt, haben bereits die Umfragen im Rahmen von PerformWOOD gezeigt (vgl. Tabelle 3). In Deutschland ist hierzu eine Anpassung an Angaben in DIN 68 800 vorgesehen und wahrscheinlich.

Sowohl Materialresistenz als auch die Expositions-dosis sind dabei als Kontinuum zu verstehen und nicht etwa als starre Klassen. Für den Fall, dass die gewünschte Performance-Klasse durch die gewählten Parameter nicht erreicht wird, ist dem Nutzer die Möglichkeit gegeben, (a) Material von höherer Resistenz und/oder (b) ein Design, das das feuchteinduzierte Risiko verringert, zu verwenden.

Die konkrete Umsetzung und Ausformung der entsprechend erforderlichen Prüfmethode und Modelle steht derzeit noch aus und zugehörige Fragestellungen werden in mehreren Forschungsprojekten bearbeitet. Die vollständige Überarbeitung von EN 460 wird Zeit benötigen. Es wird derzeit erwartet, dass die Revision im November 2014 initiiert werden wird und somit eine Überarbeitung im Jahr 2018 zum Abschluss kommen kann.

3. WoodBuild

3.1 Hintergrund und Ziele

Das schwedische 5-Jahres-Forschungsprogramm WoodBuild zielte auf die komplexen Zusammenhänge zwischen Expositionsbedingungen und der Resistenz von Holz gegenüber biologischem Angriff. Zu den Hauptzielen des Programms gehörte die Identifizierung nachhaltiger Designlösungen und Schutzmaßnahmen zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit von Holz, um seinen umfangreichen Einsatz in der Gebäudehülle sowie im Außenbereich außerhalb des Erdkontaktes sicherzustellen. Darüber hinaus lag der Fokus von WoodBuild auf der Entwicklung geeigneter Prüfmethode sowie Möglichkeiten, diese in umfassenden Gebrauchsdauervorhersagemodellen und einer Design-Guideline zu implementieren.

3.2 Prüfmethodik

Die Palette der im Rahmen von WoodBuild untersuchten holzbasierten Materialien umfasst ca. 40 native, thermisch und chemisch modifizierte sowie mit unterschiedlichen Schutzmitteln imprägnierte Laub- und Nadelhölzer. Neben klassischen Erdeingrabeversuchen im Freiland werden die Materialien auf drei unterschiedliche Weisen außerhalb der Erde (Doppellagen-, Lap-joint- und Sandwich-Tests) an drei Standorten exponiert (Abbildung 7). Zusätzlich erfolgt ein kontinuierliches Feuchtemonitoring, um material- und expositionsspezifisch Dosiswerte zu erfassen, die dann für eine weitergehende Modellierung der zu erwartenden Gebrauchsdauer sowie für eine Performance-Klassifizierung genutzt werden können.

Zahlreiche Laborversuche mit zugehörigem Material zur Bestimmung der Materialresistenz als Kombination aus Dauerhaftigkeit und der Fähigkeit, einer Befeuchtung zu widerstehen, wurden durchgeführt (Brischke et al. 2014). Hierzu gehören u. a. Abbauversuche mit Standardpilzen (Pilgård et al. 2013) und Freilandisolationen (Meyer et al. (2013) sowie Versuche zur Bestimmung des Feuchteaufnahme- und Feuchteabgabeverhaltens von Holz (Meyer und Brischke 2014). Insbesondere für modifiziertes Holz fehlt es – nicht zuletzt wegen des bislang unvollständigen Verständnisses über die jeweiligen Wirkmechanismen - an verlässlichen Daten über die zu erwartende Dauerhaftigkeit und zur Auswirkung der teils reduzierten, teils erhöhten Feuchteaufnahme-fähigkeit auf selbige. In umfangreichen Laborstudien wurden deshalb Grenzwerte der Holzfeuchte für pilzliches Wachstum und Fäulnis bestimmt, um die im Freilandmonitoring gewonnenen Daten für eine Modellierung nutzbar zu machen (Meyer et al. 2014).



Abbildung 7: Prüffelder für Holz ohne (links) und mit Erdkontakt (rechts). Von oben: Hannover-Herrenhausen, Deutschland; Borås, Schweden; Hilo, Hawaii, USA.

3.3 Design-Richtlinie

Im Rahmen einer Design-Richtlinie werden umfassend alle für die zu erwartende Gebrauchsdauer von Holzkonstruktionen relevanten Faktoren beschrieben und in ihrer Wirkung quantifiziert (Isaksson et al. 2014). Hierzu sind die im Rahmen des WWN-Projektes ‚WoodExter‘, sowie zahlreiche Ergebnisse und Erkenntnisse aus WoodBuild, PerformWOOD, und weiteren nationalen und internationalen Projekten zusammengetragen worden. Basierend auf der in ISO 15686-1 (2011) formulierten Faktormethode sowie den Grundlagen für Limit State Design nach ISO 13823 (2008) wird



hier in ein faktorieller Ansatz mit dem in PerformWOOD angestrebten Expositions-Dosis-Wirkungs-Konzept verknüpft. Die Fertigstellung der Design-Guideline ist für 2014 avisiert.

4. COST Action FP 1303 „Performance of Bio-based Building Materials“

Das Thema „Performance“ findet sich ebenfalls in der im Oktober 2013 ins Leben gerufenen COST Action FP 1303 „Performance of Bio-Based Building Materials“. Ausdrücklich gewollt ist hierbei die inhaltliche Erweiterung auf nachwachsende Nicht-Holz-Materialien. Neben Massivholz werden z. B. Holzfasern, Bambus, Miscanthus, Hanf, Stroh, Reet und andere Gräser, die heute für konstruktive Zwecke oder Bedachungen und Bekleidungen verwendet werden. Insbesondere die Kombination von Holz und anderen bio-basierten Materialien ermöglicht die Schaffung zahlreicher vielversprechender Komposit-Werkstoffe. Traditionelle Nahrungspflanzen aus der Landwirtschaft werden heute ebenfalls im Baubereich eingesetzt, z. B. als Leichtbauplatten oder als Füll- und Dämmstoff. Holz selbst wird nativ oder aber thermisch und/oder chemisch modifiziert eingesetzt. Letztlich ermöglicht die Imprägnierung mit klassischen oder neuen Schutzmitteln auch den Einsatz von Holz unter starker biologischer Beanspruchung. Im Rahmen der Action wird Performance nicht auf biologische Dauerhaftigkeit von Baumaterialien reduziert. Es geht darüber hinaus auch um die optisch-ästhetische Performance, die Feuchte-Performance, die funktionelle Performance und die ökologische Performance biologischer Baumaterialien.

Performance-Daten fehlen heute immer noch für viele ‚umweltfreundliche‘ Baumaterialien ebenso wie eine umfassende Prüfmethode zur Bestimmung der Resistenz gegenüber Schimmel, mikrobiologischen Verfärbungen und Fäulnis. Die Ähnlichkeit in Bezug auf die Gefährdung, die Auswirkungen klimatischer Belastungen und somit der Performance verschiedener bio-basierter Baumaterialien wurde bislang nicht ausreichend erkannt und berücksichtigt. Diese COST Action soll deshalb eine Plattform für den wissenschaftlichen Austausch unterschiedlicher Disziplinen bilden, wie z.B. den Materialwissenschaften, der Holztechnologie, der Biologie, der Biotechnologie, der Bauphysik und dem Bauingenieurwesen.

Die Aktivitäten COST FP 1303 sind in drei Arbeitsgruppen (Working Groups WG) organisiert:

- WG 1 - Material capability and enhancement
- WG 2 - Functionality and Performance
- WG 3 - Adaptation and application



Abbildung 8: COST Action FP 1303: Links Logo der Action. Rechts: Prinzipskizze des „Performance Table“, ein an 25 Standorten in Europa exponiertes Prüfgestell zur Bewertung der Performance von Holz.

Eine erste gemeinsame Initiative der Action stellt ein gemeinsamer Performance-Test dar (Abbildung 8), an dem sich 25 Partner aus 14 Ländern beteiligen. Ein simples Test-Set-Up wurde gewählt, das zentral von der Universität Ljubljana gefertigt, an alle Partner versandt, dort exponiert und seitdem hinsichtlich unterschiedlicher Performance-Kriterien ausgewertet wird. Auf diesem Wege werden Daten zu Rissbildung, Holzfeuchte, Fäulnis, Korrosion, Verfärbungen, Farbveränderungen, Schimmelbildung und weiteres mehr in Abhängigkeit von den jeweiligen klimatischen Bedingungen europaweit gesammelt und ausgewertet.