



*Dr. Gerhard Schickhofer
Prof. Dr. techn., Dipl.-Ing.
Ingenieurwissenschaftler
Forschung und Lehre am Institut
für Holzbau und Holztechnologie
der TU Graz
Geschäftsführung und wissen-
schaftliche Leitung der
holz.bau forschungs gmbh
Graz, Österreich*

*Gerhard Brandner, Dipl.-Ing. (FH)
und
Georg Jeitler, Dipl.-Ing.
holz.bau forschungs gmbh
Graz, Österreich*

Das schwächste Glied in der Kette bestimmt den Level

A chain is as strong as the weakest link

Il più debole del gruppo marca il livello

Dokument in Deutsch

Das schwächste Glied in der Kette bestimmt den Level

1 Einleitung

Der Findungsprozess und die endgültige Definition des Beitragstitels wurde von den Begriffen „Größeneffekt“, ‚Weakest Link Theory‘ und ‚Theory of Constraints‘ beeinflusst. Immer wieder tauchte mit dem Begriff „Qualität im Baubereich“ die Analogiebetrachtung zu Werkstoffen auf, welche dem obigen Effekt sowie den Theorien und deren Kenngrößen in einem hohen Maße von der Größe des zu betrachtenden Volumens und der Verkettung von Merkmalen unterliegen.

Der vorliegende Beitrag gibt einen zusammenfassenden Einblick in die Bauschadensberichte von Österreich und Deutschland, wobei insbesondere auf die im Rahmen der Erhebung für diese vorliegenden Berichte häufigsten genannten Schadensursachen Bezug genommen wird. Vorweg kann erwähnt werden, dass die beiden Kategorien (Kettenglieder im Sinne des Beitragstitels) „Ausführung“ und „Planung“ jene sind, denen in Zukunft besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muss. Eine detaillierte Gliederung und Betrachtung dieser beiden Kategorien in Subkategorien ist ebenfalls zu empfehlen (Ursache und Auswirkung).

Spricht man von „Qualität im Baubereich“ so hängt diese mit dem betrachteten Umfang – sprich dem „Volumen“ – zusammen. Beim Finden des „schwächsten Gliedes“ spielt natürlich die Anzahl der betrachteten Kettenglieder, Subketten und Schnittstellen eine wesentliche Rolle. Es werden – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – Einzelmerkmale (Kettenglieder) betrachtet, welche als „Qualitätskette für den Baubereich“ darstellbar sind.

Es wird die Ansicht vertreten, dass die Qualitätskette – unter anderen – auch die Kettenglieder „Wissenschaft und Forschung“, „Entwicklung und Umsetzung“, „Transfer“ (in Form von Lehre) und „Normungsarbeit“ beinhalten muss. Im Bereich „Qualität in der Wissenschaft und Forschung“ wird auf die gegenwärtige Situation des Wissenschaftssektors hingewiesen. Es werden Methoden der Wissenschaft angesprochen, und es wird auf die Bedeutung relevanter Tatsachen resultierend aus Experimenten als Basis für Erkenntnisaussagen am Beispiel der Brettschichtholzforschung („Tragmodell Biegung“) eingegangen.

2 Einige Begriffsdefinitionen

2.1 Größeneffekt (Volumeneffekt)

Der Größeneffekt tritt bei allen Werkstoffen in unterschiedlicher Ausprägung auf und beschreibt den Effekt, dass Probekörper mit größerem Volumen im Vergleich mit jenen kleineren Volumens zu geringeren Festigkeitskenngrößen führen [18] [23].

2.2 Induktion (induktiver Schluss in der Wissenschaftstheorie)

Die Induktion bezeichnet den Schluss vom „Besonderen auf das Allgemeine“. *Ein induktiver Schluss von beobachtbaren Tatsachen auf wissenschaftliche Gesetze ist nur zu rechtfertigen, wenn folgende drei Bedingungen erfüllt sind [4]:*

- *Verallgemeinerungen müssen auf einer großen Anzahl von Beobachtungen beruhen.*
- *Die Beobachtungen müssen unter einer großen Vielfalt von Bedingungen wiederholt worden sein.*
- *Keine Beobachtungsaussage darf im Widerspruch zu dem entsprechenden allgemeinen Gesetz stehen.*

2.3 Morphologie

Lehre von den Gestalten, Formen und Strukturen und deren zugrunde liegenden Aufbau- und Ordnungsprinzipien, woraus auf das Denken übertragen, die „Lehre vom geordneten Denken“ und weiters die „Morphologische Forschung“ resultiert.

2.4 Qualität

Die EN ISO 8402 versteht unter Qualität: „Die Gesamtheit von Merkmalen einer Einheit bezüglich ihrer Eignung festgelegte und vorausgesetzte Erfordernisse zu erfüllen“. In [22] wird der Begriff des § 633 BGB angeführt, wonach ein Bauwerk dann Qualität besitzt, wenn „es die zugesicherten Eigenschaften hat und nicht mit Fehlern behaftet ist, die den Wert oder die Tauglichkeit zu dem gewöhnlichen oder dem nach dem Vertrag vorausgesetzten Gebrauch aufheben oder mindern.“

2.5 ‚Theory of Constraints‘ (ToC)

Die ‚Theory of Constraints‘ wurde vom Physiker M. Goldratt entwickelt. *Diese besagt, dass jedes System mindestens ein Element besitzt, das seine Leistungsfähigkeit einschränkt, eben den ‚Constraint‘. Grundgedanke ist dabei, dass ein System als Ganzes behandelt werden muss, wenn es nachhaltig in seiner Gesamtleistung verbessert werden soll. In diesem System muss der schwächste Faktor gefunden werden, gestärkt und stabilisiert werden, damit das System seinem Leistungsoptimum näher kommt. Denn wie bei einer Kette ist ein System nur so stark wie sein schwächstes Element. Die Qualität und Leistung eines Systems ergibt sich aus Ketten mit ihren jeweiligen Einzelelemente [10].*

2.6 ‚Weakest Link Theory‘

Bei der ‚Weakest Link Theory‘ handelt es sich um ein theoretisches Modell, mit welchem es möglich ist, den Größeneffekt zu erklären. Anschaulich ausgedrückt basiert diese Theorie auf der Tatsache, dass eine Kette so stark ist wie ihr schwächstes Glied (desto länger die Kette, desto wahrscheinlicher das Auftreten eines schwachen Gliedes → Volumeneffekt) [18] [23].

3 Bauschadensberichte

3.1 Allgemeines

Im November 2005 wurde der erste Bauschadensbericht für Österreich [2] publiziert. Darin findet sich eine genaue Analyse des Istzustandes der Baumängel- und Bauschadensituation in Österreich. Ziel dieser Analyse soll es sein, eine mittel- bis langfristige Reduktion der Mängel und Schäden zu ermöglichen, wobei dabei an die Durchführung von gezielten Forschungs-, Schulungs- und politischen Maßnahmen gedacht ist. Für Deutschland ist der Endbericht vom September 2002 zum „Dialog Bauqualität“ [22] zu erwähnen. Dieser basiert auf drei Bauschadensberichten (1984, 1988 und 1996) und berücksichtigt zudem die Ergebnisse des Forschungsthemas „Systematische Instandsetzung und Modernisierung im Wohnungsbestand“.

3.2 Bauschadensbericht für Österreich [2]

Bei der Erhebung zum österreichischen Bauschadensbericht wurden Fragen zu den Themenbereichen

- *Kosten,*
- *Mängel- bzw. Schadensbehebung,*
- *schadensbetroffene Bauteile,*
- *Schadensursachen.*

gestellt. Weiters wurden auch Fragen zur Einschätzung der Entwicklung der Bauqualität und nach den Einflussfaktoren gestellt.

Die Kosten für eine Mängel- respektive Schadensbehebung wurden mit 2 % der Baukosten angegeben. Die Bauteilkategorien „Dächer/Balkone“ (24,5 %) und „erdberührte Bauteile“ (25 %) – Bauteile betroffen von Wassereinwirkung – umfassen rund 50 % aller in einem Bauwerk eingebauten Bauteile, welche am häufigsten von Schäden betroffen sind. Bei der Befragung nach den Schadensursachen standen die 5 Kategorien

- *Planungsfehler,*
- *Ausführungsfehler,*
- *Materialfehler,*
- *Nutzung und*
- *nicht eindeutig feststellbar*

zur Auswahl.

Aus dem Bericht geht hervor, dass die Kategorien „Planungsfehler“ (28 %) und „Ausführungsfehler“ (38,5 %) die am häufigsten genannten Ursachen für Schäden sind (insgesamt immerhin rund 67 %, also 2/3 der Fehlernennungen). Der Kategorie „Materialfehler“ wurden 9,5 % zugeordnet. 43 % der Befragten beurteilten die Bauqualität als steigend; immerhin 23 % als fallend und 34 % als gleich bleibend.

3.3 Dialog Bauqualität [22]

Der Endbericht zum „Dialog Bauqualität“ umfasst insbesondere Untersuchungen der Bauqualität von Hochbauten. Eine Übertragbarkeit allgemeiner Aussagen gilt jedoch auch für alle übrigen Sparten des Bauwesens.

Geht man wieder von den bereits oben angeführten Themenbereichen aus, so wird der Anteil an Baumängeln und Bauschäden mit 2,8 % bis 3,0 % der Bausumme beziffert (etwas höher als in Österreich). Die Bauteilkategorien „Dächer/Balkone“ (bis 25 %), „erdberührte Bauteile“ (bis 17 %) und „Außenwände“ (bis 32 %) – Bauteile betroffen von Witterungseinflüssen und somit in Kontakt mit Wasser – bilden dort die am häufigsten von Schäden betroffenen Bauteile (bis rund 75 %, also $\frac{3}{4}$ der Nennungen). Beim Thema der Schadensverursacher kann auf unterschiedliche Arbeiten zurückgegriffen werden. Wie auch bereits beim österreichischen Bauschadensbericht angeführt, kann auch hier in diese 5 Kategorien unterteilt werden. Odehart und Rizkallah (1995) gehen von 42 % Planungsfehler (inkl. unzureichender Voruntersuchung) und 26 % Bauausführungsfehler, Pornraft (1999) von 40 % Planungsfehler, 29 % Ausführungsfehler und 15 % Materialfehler und Dannecker und Meinhardt (2001) von bis zu 20,4 % Planungsfehler, bis zu 53,6 % Ausführungsmängel und nur 4,3 % Materialfehler aus.

3.4 Resümee

Sowohl in Österreich als auch in Deutschland (für die Schweiz liegen vergleichbare Zahlen vor) zeigt sich, dass die beiden Kategorien „Ausführungsfehler“ und „Planungsfehler“ einen Umfang von rund 65 % bis 80 % ergeben. Je nach Untersuchung und Bauweise zeigen sich mehr oder weniger großer Unterschiede zwischen den beiden Kategorien. Die Fehler in der Kategorie einer „nicht korrekten Nutzung“ zeigen ein Ausmaß von rund 10 % und jene die das „Material“ umfassen zwischen 5 % und 15 % (je nach Untersuchung). Weitere Kategorien sind gegeben, werden jedoch in diesem Beitrag nicht angesprochen. Somit lässt sich doch klar erkennen, dass insbesondere in den beiden Kategorien „Planung und Ausführung“ angesetzt werden muss und eine detaillierte Betrachtung dieser Kategorien als erforderlich erachtet wird. Weiters wird aber auch zu behandeln sein, was unter der Kategorie „Materialfehler“ zu verstehen ist.

4 Qualität im Baubereich

4.1 Allgemeines

Betrachtet man nun ein Bauwerk, so bedarf es einer Definition und Benennung aller für die Qualität verantwortlichen Merkmale und Schnittstellen. Desto größer der Umfang betreffend der Erfassbarkeit dieser Merkmale (und damit verbunden der Schnittstellen), desto größer wird das zu betrachtende „Volumen“. Ein Teilvolumen umfasst in diesem Beitrag die Lebenszyklusbetrachtung von Bauwerken und die damit verbundene Verkettung von – entlang dieses Zeitraumes – zu betrachtenden Merkmalen, welche für die Qualität verantwortlich sind. Zur Gesamtbetrachtung zählen jedoch auch die im Vorfeld durchgeführten Arbeiten im Bereich der Forschung und Entwicklung sowie die Erstellung von Normen, Richtlinien und Gesetzestexten (etc.), welche zum Zeitpunkt des Planungsbeginnes als „Regel der Technik“ (sind orts- und zeitabhängig stets im Fluss und somit nicht dauerhaft festmachbar) und somit als ortsbezogene Rahmenbedingung zur Verfügung stehen und auch zu berücksichtigen sind. Dies bedeutet, die Erfordernis einer Verkettung von Einzelmerkmalen respektive der (durchaus unterschiedlichen) Qualitäten innerhalb der einzelnen Kettenglieder.

Folgende Einzelmerkmale (Kettenglieder) können (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) genannt werden:

- *Schaffung von Wissen durch Forschung*
(Qualität in der Wissenschaft und Forschung)
- *Aufbereitung und Umsetzung von Forschungsergebnissen, Entwicklungstätigkeit*
(Qualität in der Entwicklung und Umsetzung)
- *Lehre, Bildung, Aus- und Weiterbildung (Transfer)*
(Qualität in der Lehre und im Transfer: „Qualität muss gelehrt und gelernt werden“)
- *Gesetze, Normen, Richtlinien, Standardleistungsbeschreibungen*
(Qualität in der Normungsarbeit: „Qualität muss zum Standard werden“)
- *Produktion der Bauprodukte*
Qualität in der Produktion: „Qualität muss produziert werden“)
- *Integrale Planung, Kommunikation zwischen Architekt, Tragwerksplaner, Haustechniker*
(Qualität in der Planung: „Qualität muss geplant werden“)
- *Ausschreibung und Vergabe*
(Qualität in der Ausschreibung und der Vergabe: „Qualität muss beauftragt werden“)
- *Bauausführung: Neubau und Bestand/Revitalisierung*
Qualität in der Bauausführung: „Qualität muss gebaut werden“)
- *Inspektion, Wartung und Instandhaltung*
Qualität in der Inspektion und Wartung: „Qualität braucht Wartung“)
- *Betrachtung des Lebenszyklus (bis zum Rückbau), Einbeziehung der Betriebskosten*
(Qualität innerhalb des Lebenszyklus)
- *Kontrolle der Kette und stetige Verbesserung*
(Qualität in der Kontrolle: „Qualität braucht Kontrolle und muss weiterentwickelt werden“)



Abbildung 1: Qualitätskette für den Baubereich (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

Abbildung 1 zeigt die oben angeführten Kettenglieder. Dabei sollte noch angemerkt werden, dass insbesondere auch auf die Schnittstellen (Knotenpunkte) zwischen den Kettengliedern zu achten ist. Weiters sei darauf hingewiesen, dass selbst ein Kettenglied wiederum aus einer Substruktur besteht und daher die Qualität des Kettengliedes selbst vom darin befindlichen schwächsten Glied abhängig sein wird. Die ‚Theory of Constraints‘ ist daher vom Prinzip her eine Theorie einer Endlosschleife (gültig für alle Kettenglieder, Schnittstellen und Subketten), welche zu einer stetigen Verbesserung des Systems führen soll (vgl. Abbildung 2).

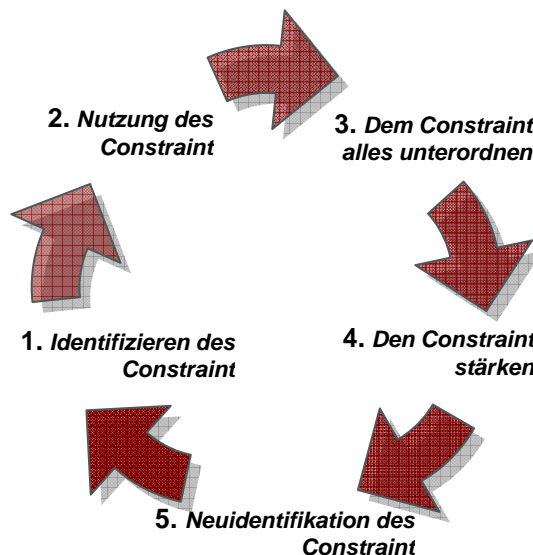


Abbildung 2: Laufende Optimierung durch die ‚Theory of Constraints‘ [10]

Qualität in den Baubereich zu bekommen respektive zu halten ist mit Sicherheit kein leichtes Unterfangen. Mit Werbeslogans wie „Geiz ist geil“ wird vielmehr die Botschaft „Fordere mehr für weniger“ in die Köpfe der Konsumenten gesetzt. Qualität muss zur Einstellung und zum Anliegen werden; erst dann wird diese auch nachgefragt und ohne Abstriche geliefert. Durch die fortschreitende Ökonomisierung aller Lebensbereiche – bis hin zur Wissenschaft (siehe später) – wird der Kosten- und Zeitdruck auch weiterhin den Qualitätslevel in allen Kettengliedern beeinflussen. „Heutzutage kennt man von allem den Preis und von nichts den Wert!“ (O. Wilde) [20].

4.2 Qualität in der Wissenschaft und Forschung

4.2.1 Wissenschaft im Spannungsfeld der Wirtschaft

Wie bereits erwähnt, ist es kaum zu verkennen, dass eine fortschreitende Ökonomisierung in allen Lebensbereichen stattfindet. Diese hat mittlerweile auch an den Universitäten Eingang gefunden und wird daher in fortschreitender Tiefe auch die Forschung und die Lehre (auf Grund der Forschungsbasiertheit der Lehre) betreffen.

In der „Strategie 2010“ [6] für Österreich, herausgegeben vom Rat für Forschung und Technologieentwicklung, ist die Trendentwicklung publiziert. Dort werden die Forschungsausgaben für den Hochschulsektor im Jahr 2000 (insgesamt (100 %): 1,91 % des BIP: rund 4,03 Mrd. €) noch mit 27,3 % und jene im Unternehmenssektor und dem „kooperativen Sektor“ (Wirtschaft: Wissenschaft – K-Programme) mit 72,7 % angegeben. Bis zum Jahr 2010 (Ziel insgesamt (100 %): 3,0 % des BIP: rund 8,82 Mrd. €) wird es wohl – betrachtet man die vorgeschlagenen Budgets – zu einer weiteren Verschiebung, weg von der „freien“ Grundlagenforschung hin zur industrienahen Forschung, kommen (21 % Hochschulsektor, 79 % Unternehmenssektor + „kooperativer Sektor“).

Folgt man diesem (schleichenden) Trend und blickt man auf die Strukturentwicklung an den Universitäten, so kann mit dem „frei“ verfügbaren Universitätsbudget in absehbarer Zeit nur noch die Lehre und die Basisstruktur gesichert werden, die Forschung wird über Fondsgelder respektive über so genannte „Drittmittelprojekte“ laufen (bereits heute: Institut für Holzbau und Holztechnologie + holz.bau forschungs gmbh; gegenwärtig: $\frac{3}{4}$ der wissenschaftlichen Mitarbeiter über Forschungsförderungsfonds). Die Trennung zwischen Lehre und der zunehmend ausgelagerten Forschung kann die Folge sein.

Im Sinne von N. Machiavelli [12] *„...denn es liegt in der Natur der Dinge, dass man keinem Übel entgehen kann, ohne in ein anderes zu geraten; die Klugheit aber besteht darin, die Art der Übel ermitteln zu können und das kleinere Übel als etwas Gutes zu wählen...“* und weiter *„...denn es liegt eine so große Entfernung zwischen dem Leben, wie es ist, und dem Leben, wie es sein sollte, dass derjenige, welcher das, was geschieht, unbeachtet lässt zugunsten dessen, was geschehen sollte, dadurch eher seinen Untergang als seine Erhaltung betreibt...“* wäre es aber falsch, den sicht- und merkbaren Trend in der nationalen und internationalen Forschungsförderung hin zur „Förderung des Machbaren“ zu ignorieren. Vielmehr muss es der ‚scientific community‘ gelingen, die Gesellschaft davon zu überzeugen, dass die Unternehmung „Forschung“ in erster Linie als eine ‚non-profit‘-Unternehmung gesehen wird. Erst in zweiter Linie kann im Rahmen einer darauf aufbauenden Entwicklungs- und Transferfähigkeit an das vielfach nur monetär bewertete Nutzbringende als mögliches Resultat der Forschung gedacht werden. Dazu ein Zitat von M. Plank [14] vom 07. November 1939 zum Thema „Das Wesen der Wissenschaft“: *„[...] Nur darf man in der wissenschaftlichen Forschung nicht immer den Zweck voranstellen [...]. Dann führt die Erweiterung der Kenntnis häufig auch zu praktisch wertvollen Resultaten.“*

Die ursächlich und begrifflich darstellbare Aufgabe einer Universität (‚universitas‘) liegt in einer gesamthaften Betrachtung einer auf Wahrheitsfindung bedachten Wissenschaft und der darauf basierenden Lehre zur bestmöglichen Erfüllung des Bildungsauftrages. Dazu R. Riedl [16]: *„Ökonomische Interessen haben die Wissenschaften auf ihrer Wahrheitssuche in eine Pragmatik hineingelockt. [...] Kein Zweifel, die Strukturen der Forschung haben sich verändert, besonders unter der Wirkung der Wirtschaft. Und die Wirtschaft hat sich verändert, besonders unter der Wirkung der Forschung“.*

Nie sollte man das eigentliche Ziel von Wissenschaft und Forschung aus den Augen verlieren. Dieses liegt in der Aufklärung der Struktur der Wirklichkeit und somit in der „Wahrheitssuche“ (A. v. Humboldt: *„[...] das stets zu Suchende und nie endgültig Gefundene [...]“*)

4.2.2 Wissenschaftliches Wirken in Disziplinen

Historische Betrachtung der Wissenschaftsdisziplin „Holzbau und Holztechnologie“

Bevor auf das Thema „Brettschichtholzforschung“ im Speziellen eingegangen wird, sei eine subjektive Sicht (vom Standpunkt eines im Bereich der Ingenieurwissenschaften Tätigen) auf die gegenwärtig sich darstellende Forschungslandschaft im Bereich des Holzbaus und der Holztechnologie erlaubt. Betrachtet man die historische Entwicklung dieses Forschungsgebietes, so lassen sich insbesondere ab 1910 – begonnen hat dieser Trend schon früher – zwei ausgeprägte Richtungen mit deren Vertretern erkennen. Auf der einen Seite der Zweig der „klassischen Holztechnologie“ und auf der anderen Seite jener der „Ingenieurholzbauwissenschaften“ (mit Betonung auf „BAU“). Beide Zweige befassen sich an sich mit demselben Material respektive demselben Werkstoff, nämlich mit Holz im weiteren Sinne, allerdings mit unterschiedlichem Zugang (Fachbezogenheit) und unterschiedlicher Zielrichtung (Anwendungsbereich). In der folgenden Abbildung (Abbildung 3) ist die historische Entwicklung entlang der so genannten „Strukturhierarchiekette Holz“ dargestellt.

Mikrofibrille	Zellwand	Jährring	„Clear Wood“	Schnittholz	Produkt	Objekt
Nano	Mikro	Makro I	Makro II	Holz(bau)produkt	(Holz-)Bauwerk	
		<p>SCHIFFSBAU (ca. 1700-1850), v. a. FORST Dichte, Festigkeit, Feuchte Du Hamel du Monceau (Botanik + Schiffsbau, ca. 1750) Graf von Buffon (Naturwiss., ca. 1750) Chevandier & Wertheim (Chemie + Mathematik / Physik, 1848)</p>		<p>Sperrholz erste Idee Bentham (GB, 1793) Schäl- u. Messermaschinen Faveryear/Pape (GB/F, 1818) Erstes Sperrholz Mayo (USA, 1865) erste industrielle Fertigung 1883 BSH Wiebeking (Baumeister, ca. 1802-1842) Patent: Hetzer (1906)</p>	<p>Handwerklicher Holzbrückenbau Grubenmann (Baumeister, 1709-1782)</p>	
<p>Naturwissenschaften (ca. 1850-1910), mosaikartige Holzwissenschaft ausgehend vom FORST Micelltheorie (1858) von Nägeli (Botanik)</p>	<p>Technologische Eigenschaften (Dichte, Festigkeiten + ihre Einflussfaktoren) Hartig (Forst, 1855-1900) Schwappach (Forst, 1890-1910) Janka (Forst, 1900-1920)</p>	<p>Materialprüfung (ca. 1870-1915) Prüfung + Berechnung von Baumaterialien, Prüfverfahren Bauschinger (Mathematik, 1870-1893) Tetmajer (Bauingenieur, 1880-1905) Rudeloff (Maschinenbau, 1890-1925)</p>			<p>Ingenieurholzbau Culmann (1850-1880)</p>	
<p>ab 1910: Gründung von speziellen Holzforschungsinstituten (Forest Products Laboratory in Madison)</p>						
	<p>Flugzeug- + Maschinenbau (ca. 1915-1945) Physikalische + mechanische Holzigenschaften Monin (Forst, 1915-1940) Hankinson (U.S. Army, Engineering Div., 1921) Ylinen (Bauingenieur + Flugzeugbau, 1940-1970) Keylwerth (Maschinenbau, 1935-1963) Kollmann (Maschinenbau, 1932-1971): <i>1951: „Die klassische Holzforschung entschied sich (...) für die Untersuchungen an Stücken mit beträchtlichen Abmessungen; man glaubte, damit der Praxis am nächsten zu kommen. Heute freilich kann dieser Gedanke im wesentlichen als überholt gelten. ... Man hat deshalb für bestimmte Verwendungszwecke durch strenge Sortierung dafür zu sorgen, daß fehlerfreies Holz zu Verfügung steht.“</i></p>	<p>Bauen mit Holz (ca. 1910-1940) Festigkeit + Steifigkeit, Sortierung Baumann (Bauingenieur, 1920-1927) Gaber (Bauingenieur, 1921-1945) Roš (Bauingenieur, 1925-1945) Graf (Bauingenieur, 1925-1940) <i>1929: „... die zulässigen Anstrengungen müssen deshalb für astiges Holz bemessen werden. Damit erkennen wir auch, dass unsere Versuche für verschiedene Bedürfnisse zu entwickeln sind. Die Festigkeitszahlen in unseren Handbüchern gehören fast ausschließlich zu astfreien, kleinen Holzproben, die nur für Holz zu Apparaten und Flugzeugen Geltung haben.“</i></p>	<p>„Klassische Holztechnologie“ seit 1945 Hamburg: Kollmann (Maschinenbau), Keylwerth (Maschinenbau), Noak (Holzwirt), Frühwald (Holzwirt) München: Kollmann (Maschinenbau), Schulz (Forst), Wegener (Holzwirt), Glos (Bauingenieur) Wien: Gratzl, Wassipaul, Resch, Teischinger Zürich: Bosshard (Forst), Kucera (Holzbiologe), Niemz (Holztechnologie)</p>	<p>Ingenieurholzbau seit 1945 Eigenschaften, Sortierung, Holzbauprodukte Stockholm: Thunell (Bauingenieur) Stuttgart: Egner, Kolb (Bauingenieure) Vancouver: Madsen (Bauingenieur) 1992: Timber = useful construction material produced from logs of trees Wood = defect-free wood <i>„In the past, it was thought that behaviour of small clear defect-free wood specimens could be transformed to serve as a realistic base for the behaviour of commercial timber (...). The sooner it is realized that wood, in the sense of clear wood, and timber, in the sense of commercial timber, are two different materials the sooner we can begin to comprehend the real structural behaviour of timber. The fundamental reason for this is that wood and timber have different failure modes.“</i> Karlsruhe: Möhler, Ehlbeck, Blaß (Bauingenieure) München: Heimeshoff, Kreuzinger, Winter (Bauingenieure) Zürich: Gehri (Bauingenieur) Graz: Pischl, Schickhofer (Bauingenieur)</p>		

Abbildung 3: Historische Entwicklung der Wissenschaftsdisziplin „Holzbau und Holztechnologie“ entlang der „Strukturhierarchiekette Holz“ [17] (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

Wie bereits eingangs angesprochen, ist eine gesamthafte Sichtweise in der Wissenschaft wesentlich und eine Aufspaltung in Disziplinen ein notwendiges Übel zur besseren Erfassbarkeit geworden. So schreibt M. Planck: „Denn die Wissenschaft bildet nun einmal, sachlich genommen, eine innerlich geschlossene Einheit. Ihre Trennung nach verschiedenen Fächern ist ja nicht in der Natur der Sache begründet, sondern entspricht nur der Begrenztheit des menschlichen Fassungsvermögens, welche zwangsläufig zu einer Arbeitsteilung führt“. Dieses Denken in Fachdisziplinen wird sich zwangsläufig auch innerhalb eines Wissensgebietes fortsetzen und kann, wie im Falle der Materialforschung für den Werkstoff Holz, zu unterschiedlichen Aussagen auf Grund unterschiedlicher Standpunkte und Betrachtungsweisen führen. Wesentlich erscheint in diesem Zusammenhang die Aussage von B. Madsen (Bauingenieur). Er meint: *‘In the past, it was thought that behaviour of small clear defect-free wood specimens could be transformed to serve as a realistic base for the behaviour of commercial timber [...]. The sooner it is realized that wood, in the sense of clear wood, and timber, in the sense of commercial timber, are two different materials the sooner we can begin to comprehend the real structural behaviour of timber. The fundamental reason for this is that wood and timber have different failure modes.’* Er benennt die in der ‘scientific community’ der Wissenschaftsdisziplin „Holzbau und Holztechnologie“ häufig auftretenden „Missverständnisse“, insbesondere im Rahmen der Festlegung von Prüfmethoden und daraus resultierenden Festlegungen für Werkstoffkenngrößen. Anders ausgedrückt: Werkstoffkenngrößen für fehlerfreies Holz (nach B. Madsen: ‚wood‘) für beispielsweise den Maschinenbau sind unterschiedlich zu jenen für merkmalsbehaftete Holzprodukte (nach B. Madsen: ‚timber‘) für den Baubereich. Auf dieser dringend zu beachtenden Sichtweise rund um die Bemühungen bei der Formulierung von Materialgesetzen basierend auf der Mehrskalenmodellierung sollte, neben der Berücksichtigung der Materialstreuung, Bedacht genommen werden. ‚Wood‘ ist eben nicht gleich ‚Timber‘.

Die so genannte „Innovative Holz.BAU.TECHNOLOGIE.Forschung Graz“ überspannt den Forschungsbogen beginnend vom „Objekt“ (Bauwerk) bis hin zum „Jahrring“ (Mikro) und gliedert sich in zwei Themen („topics“), wobei diese wiederum in vier Bereiche („areas“) unterteilt sind (siehe Abbildung 4 und Abbildung 5).



Abbildung 4: „Innovative Holz.BAU.TECHNOLOGIE.Forschung GRAZ“

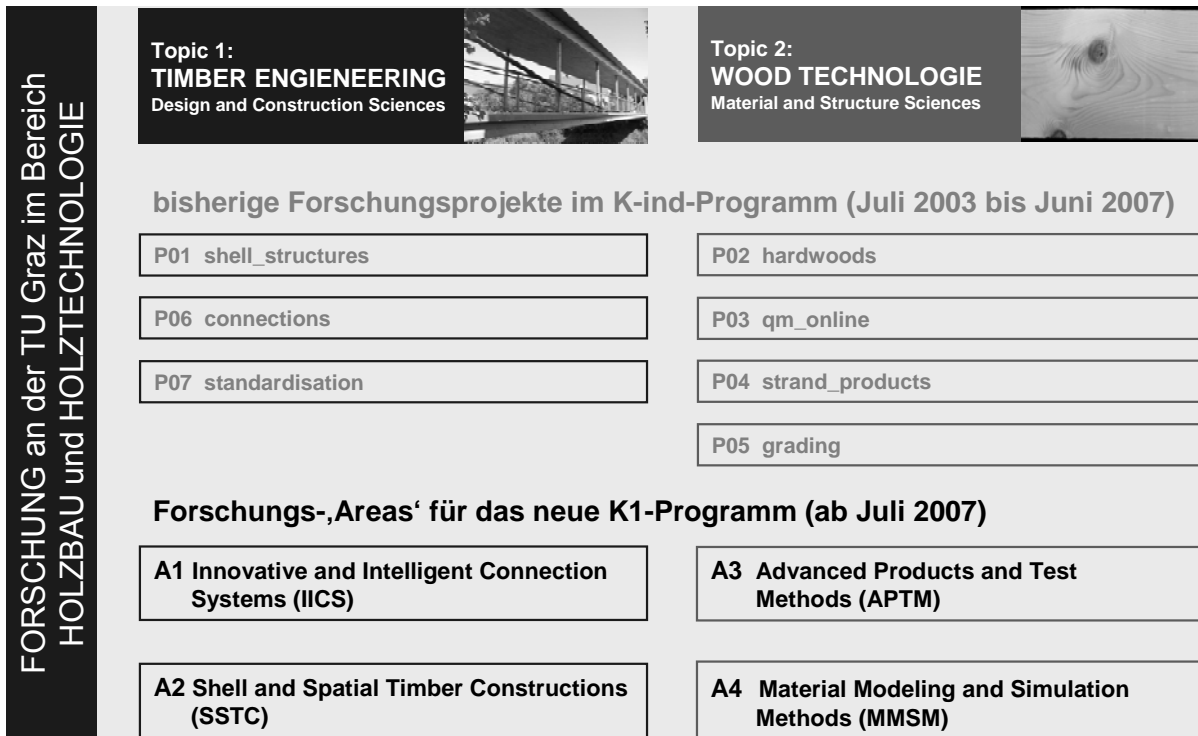


Abbildung 5: Bisherige Forschungsprojekte im K-ind-Programm (Juli 2003 bis Juni 2006) und Forschungs-,Areas' für das neue K1-Programm (ab Juli 2007)

Nachfolgend wird insbesondere ein Forschungsthema – konkret wird auf die Brettschicht-holzforschung eingegangen – von A3_APTM und A4_MMSM angesprochen. Dabei geht es einerseits um experimentelle Forschungsarbeiten zur Validierung angenommener Produkt(Trag)modelle und andererseits um die Schaffung eines ‚data-pools‘ als Basis für Materialmodelle und Simulationsmethoden.

4.2.3 Vom PROBLEM zur MORPHOLOGISCHEN FORSCHUNG

Vor dem Beginn einer wissenschaftlichen Forschung finden wir die Notwendigkeit der Problemerkennung oder -findung und -definition respektive den Wunsch einer Problemlösung. In diesem Zusammenhang sei auf die Definition des Begriffes „Problem“ von O. Lange hingewiesen. Für ihn gilt (sinngemäß): „*Problem = Zusammenwirken einer Ausgangssituation mit einer Interessensrichtung, welche mit einem Zielbereich verbunden sein kann und durch ein Hindernis blockiert wird.*“ Die Problemfindung wird durch den Vorgang der so genannten Problematisierung beschrieben, wobei beispielsweise bereits vorliegende, bisher für „glatt“ gehaltene Lösungen einer kritischen Hinterfragung standzuhalten haben. Ist dies nicht gegeben, startet die Problemlösung über einen Algorithmus oder über die Strategien der Heuristik („Findekunst“). Betrachtet man nun die nachfolgende Fragestellung – das Finden eines allgemein gültigen Produktmodells für Brettschichtholz (als Formulierung des Zielbereichs) – so wird man erkennen, dass gegenwärtig keine genau definierte Handlungsvorschrift zur Lösung dieses Problems vorliegt und auch in absehbarer Zukunft nicht vorliegen wird. Vielmehr wird man dazu übergehen (müssen), einen heuristischen Problemlösungsprozess zu starten. Nach H. Schlicksupp [19] definiert sich Heurismus (sinngemäß) wie folgt: „*Heurismus = Ein mehr oder weniger geordnetes Bündel von Ratschlägen, mit denen das Suchen nach der Lösung erleichtert und verkürzt werden soll, wobei zum Finden geeignete – heuristische – Denkprinzipien im Vordergrund stehen.*“ Für den Problemlösungsprozess bedeutet dies die Verwendung von Methodengruppen bestimmter Heuristiken („intuitiv-kreativ“, „analytisch-systematisch“). Die so genannte „Morphologische Methode“ stellt dabei eine Methode der systematischen Strukturierung dar, welche in der Lage ist, die Gesamtheit eines Problemfeldes darzulegen (siehe Abbildung 6).

Die aus der „Morphologie“ resultierende „Morphologische Forschung“ lässt sich nach F. Zwicky [24] wie folgt definieren: „Die „Morphologische Forschung“ ist „Totalitätsforschung“ mit dem Anspruch vorurteilslos alle Lösungen eines gegebenen Problems herzuleiten, welche sich dabei der „Morphologischen Methoden“ bedient.“ „Morphologische Methoden“ sind Methoden des „strukturierten Denkens“ wie beispielsweise die

- Methode der „gerichteten Intuition“,
- Methode der „systematischen Feldüberdeckung“,
- Methode des „Morphologischen Kastens“.

Mit der Methode des „Morphologischen Kastens“ ist es prinzipiell möglich alle nur denkbaren Parameter (Zeilen) samt deren Ausprägungen (Spalten), welche die Lösung eines Problems beeinflussen können in einen möglichen Zusammenhang zu bringen, womit unzählige Kombinationsmöglichkeiten (und somit Interessensrichtungen mit unterschiedlichem Zielbereich) darstellbar sind. Diese Vielfalt an Kombinationsmöglichkeiten erfordert die Eingrenzung auf sinnvolle (und brauchbare) Kombinationen, welche nur vom Fachkundigen vorgenommen werden kann; es zeigt aber auch, dass es ein nahezu unlösbares bis nicht zu erreichendes Ziel sein wird, beispielsweise DAS Produktmodell für Brettschichtholz definieren zu können. Vielmehr muss davon ausgegangen werden, dass ein Modell mit bestimmten Merkmalen (somit Eingrenzungen und Gültigkeitsbereichen) behaftet sein wird. Dies liegt in den Eigenschaften eines Modells begründet, welches immer nur ein Abbild verbunden mit der Berücksichtigung alleinig der relevanten Merkmale des Originals sein kann und für einen bestimmten Zweck (Bereich) nützlich sein muss.

			1	2	3	4	5	6
A	Brett	Holzart	Fichte	Tanne	Lärche	Buche	Esche	Robinie
B		Sortierung	Nach Festigkeit	Nach Erscheinung	Kombination			
C		Oberfläche	Sägerauh	Egalisiert	Gesleift			
D	Keilzinkung	Anordnung	Vertikal	Horizontal				
E		Geometrie	GI 15	GII 20	GIII xx			
F		Verklebung	Kleber I	Kleber II				
Brettlamelle								
G	Verklebung		Kleber I	Kleber II				
BRETTSCHICHTHOLZ								
Querschnitt								
H	Geometrie		Rechtwinkelig	Polygonal	I – QS	Kreisförmig		
I	Aufbau	Lamellenlage	Vertikal	Horizontal	Kombination			
J		Lamelleneigenschaft	Homogen	Kombiniert				
K	Beanspruchung		Nx	Mv / Vy	Mz / Vy	Mx	My / Mz	M / N
L	Verstärkung	Zone	ohne	Zug	Druck	Schub	Kombination	
M		Material	ohne	Stahl	FKV	Holz	Holzwerkstoffe	
Längs								
N	Statisches System		Einfeldträger	Durchlausträger				
O	Trägerhöhe		Konstant	Veränderlich				
P	Trägerachse		Gerade	In der Ebene gekrümmt	Im Raum gekrümmt			

Abbildung 6: „Morphologischer Kasten in der Brettschichtholzforschung [17], Darstellung EINER Kombinationsmöglichkeit

4.2.4 Die Beobachtung, das Experiment und die darauf basierende Induktion in der Wissenschaft und deren Aussagekraft

Betrachtet man die in der Wissenschaftsdisziplin „Holzbau und Holztechnologie“ vorliegenden Forschungsarbeiten zur Beschreibung des Werkstoffes Holz, so wird man feststellen, dass der vorliegende Stand des Wissens primär auf Beobachtungsaussagen und Aussagen auf Basis von Experimenten beruht. A.F. Chalmers schreibt in [4]: „Gesetze und Theorien, die wissenschaftliche Erkenntnis konstituieren, werden per Induktion aus einer sachlichen Basis gewonnen, die die Beobachtung und das Experiment liefern“ (siehe Abbildung 7).

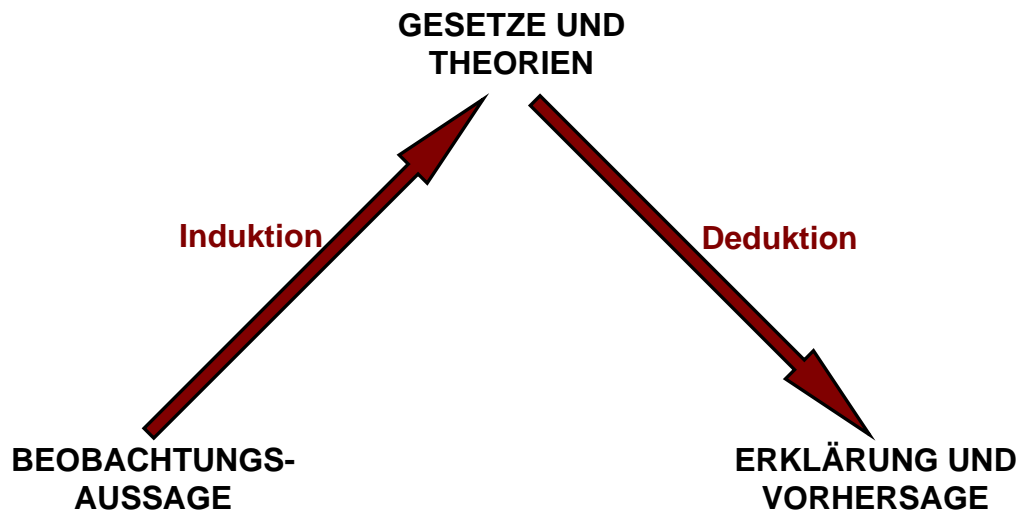


Abbildung 7: Induktion und Deduktion in der Wissenschaft (aus [4])

Er stellt aber auch klar, dass ein induktiver Schluss von beobachtbaren Tatsachen auf wissenschaftliche Gesetze nur zu rechtfertigen ist, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

- *Verallgemeinerungen müssen auf einer großen Anzahl von Beobachtungen beruhen.*
- *Die Beobachtungen müssen unter einer großen Vielfalt von Bedingungen wiederholt worden sein.*
- *Keine Beobachtungsaussage darf im Widerspruch zu dem entsprechenden allgemeinen Gesetz stehen.*

Es wird rasch klar und einsichtig, dass die obigen Bedingungen nur schwer bis nicht erfüllbar sind. Was wird unter einer „großen Anzahl“ verstanden? Auch wenn es gelänge, eine große Anzahl von Experimenten zur Schaffung relevanter Tatsachen zu einer Fragestellung zustande zu bringen (ohne eine Zahl nennen zu müssen), hätte man immer nur eine endliche Anzahl von Einzelaussagen auf Basis der dann vorliegenden Resultate aus den einzelnen Experimenten zur Verfügung. Dasselbe gilt für die zweite Bedingung. Hier spielt insbesondere der momentane Wissensstand eine wesentliche Rolle, um nur relevante Bedingungen bei der Planung von Experimenten in Betracht ziehen zu können. Die Verwendung eines „Morphologischen Kastens“ kann hier helfen, die Einflussparameter verbunden mit deren Ausprägungen bestmöglich zu isolieren, um relevante Kombinationen für eine Versuchsplanung erhalten zu können. Liefert allerdings eine der Beobachtungen einen Widerspruch, so ist klar, dass eine Verallgemeinerung nicht mehr gerechtfertigt ist und somit die dritte Bedingung ebenfalls nicht erfüllt werden kann.

Es muss daher zur Kenntnis genommen werden, dass die obigen Bedingungen für einen induktiven Schluss auf eine Theorie oder ein Gesetz respektive ein Modell – ausgehend von relevanten Tatsachen aus Beobachtungen und Experimenten – immer mit Unsicherheiten verbunden sind. Wissenschaftliche Aussagen ausschließlich basierend auf Experimenten sind daher mit dem Adjektiv „wahrscheinlich“ behaftet, da die Beweisbarkeit der Wahrheit dieser Aussagen auf der dargelegten Basis nicht möglich ist und letztendlich der erfahrungsgeprägten Argumente bedarf um eine vorläufige „Wahrheit“ (sprich Modellvorstellung von der „Struktur der Wirklichkeit“) definieren zu können. A.F. Chalmers [4] spricht in diesem Zusammenhang von *„einer gewaltigen Aufgabe angesichts der Fähigkeit der Natur, uns zu überraschen“*.

Was hat dies mit dem Thema „Qualität in der Forschung“ zu tun? Angesichts der obigen Ausführungen ist jeder induktive Schluss mit einer Wahrscheinlichkeit und somit mit einem bestimmten Maß an Zuverlässigkeit oder anders gesprochen mit einem bestimmten Maß an Unzuverlässigkeit behaftet. Auf dieser Basis festgelegte Material- respektive Produktmodelle – die Ansprache gilt dem nachfolgend angesprochenen „Tragmodell Biegung“ – unterliegen daher ebenfalls diesen Gesetzmäßigkeiten.

Dazu noch einen Auszug aus einem Zitat von M. Planck zum Thema „Die Aufgabe der Wissenschaft“, gesendet am 08. Oktober 1947 [14]: *„[...] Vor allem hat sich seit etwa einem Jahrhundert die Teilung in Experiment und Theorie vollzogen. [...] Ein Versuch bedeutet die Stellung einer an die Natur gerichteten Frage, und eine Messung bedeutet die Entgegennahme der von der Natur darauf erteilten Antwort. Aber ehe man einen Versuch ausführt, muss man ihn ersinnen, d. h. man muss die Frage an die Natur formulieren und ehe man eine Messung vermerkt, muss man sie deuten, d. h. man muss die von der Natur erteilte Antwort verstehen.“*

4.3 Zuverlässigkeit in der Modellbildung für Brettschichtholz

4.3.1 Allgemeines

Wenn nun von Modellbildung für das Bauprodukt Brettschichtholz gesprochen wird, so bedeutet dies, dass damit kein gesamthaftes Modell – siehe Definition „Modell“ – zur Beschreibung aller relevanten Parameter und Ausprägungen gemeint ist. Dieses liegt schlichtweg nicht vor und wird auch in naher Zukunft nicht zur Verfügung stehen. Vielmehr wird anschließend von Tragmodellen mit eingegrenzten Gültigkeitsbereichen unter Zugrundelegung ausgewählter Parameter respektive Merkmalen gesprochen. Weiters sei an dieser Stelle angemerkt, dass der Versuch einer Validierung gewählter Tragmodelle nahezu ausschließlich auf experimentellen Untersuchungen beruht (verbunden mit den oben erwähnten Problemen betreffend die Aussagekraft). Fallweise – und dies wird in der EN 1995-1-1 auch zugelassen – basieren die gegenwärtig vorliegenden und in Diskussion befindlichen Materialkenngrößen für Brettschichtholz auf Festlegungen und Rückschlüssen aus nationalen Dokumenten und auf Erfahrungen.

4.3.2 „Tragmodell Biegung“

Die vorliegenden „Tragmodelle Biegung“ für Brettschichtholz beschreiben den Zusammenhang zwischen den Biegekenngrößen des Brettschichtholzes und den Zugkenngrößen des Ausgangsmaterials – den Zugkenngrößen der Brettware und der Zugfestigkeit der Keilzinkenverbindung. Dieser als so genannter *„laminating effect“* (Lamelliereffekt) bekannter Effekt stellt die experimentell belegbare Tatsache des Festigkeitsanstieges eines als System wirkenden Paketes von Brettlamellen im Brettschichtholzquerschnitt im Vergleich zur Festigkeit der Einzellamelle dar.

Dafür sind folgende Einflussfaktoren [5] verantwortlich:

- *Einfluss der Versuchskonfiguration respektive der Unterschied zwischen der Beanspruchbarkeit des Einzelbrettes unter Versuchsbedingungen und als Zuglamelle im Brettschichtholzquerschnitt,*
- *Einfluss der Verstärkung von Zonen geringer Steifigkeit und/oder Festigkeit innerhalb eines Brettes durch benachbarte Brettlamellen im Brettschichtholzquerschnitt,*
- *Einfluss eines zusätzlichen Verstärkungseffektes durch die Verteilung und zufällige Positionierung von Brettlamellen geringerer Tragfähigkeit innerhalb des Brettschichtholzquerschnittes.*

Die beiden letztgenannten Einflüsse resultieren selbst aus mechanischen sowie statistischen Subeffekten welche sich als solche schwer fassen und durch Interaktionen auch nur bedingt trennen lassen. Hinzu kommen Effekte, welche ihrerseits den Lamellierfaktor selbst nicht beeinflussen, sehr wohl aber das versuchstechnisch ermittelte Ergebnis, wie der erstgenannte Einfluss der Versuchskonfiguration. Des Weiteren sind hier zu nennen:

- *Einfluss der Versuchsdurchführung sowie der Messwerterfassung und dessen Wiederholbarkeit*
- *Einfluss der Auswertung von Ergebnissen unter Zuhilfenahme statistischer Methoden*
- *Einfluss der subjektiven Interpretation von Versuchsergebnissen gekoppelt mit den Erfahrungswerten der damit befassten Wissenschaftler.*

Seitens der letztgenannten Einflüsse ist vor allem jener der statistischen Auswertung hervorzuheben.

4.3.3 Einfluss der statistischen Auswertung auf das „Tragmodel-Biegung“

Betrachtet man die aktuelle Situation der Berechnung von charakteristischen Festigkeitswerten, sprich der Bestimmung der unteren Grenze der 5 %-Quantile unter Berücksichtigung der Stichprobenanzahl, des Konfidenzintervalls, des statistischen Modells und dessen Parameter, so ist festzuhalten, dass sich das gegenwärtige System als inkonsistent darstellt. So sind die Zugfestigkeiten der Brettware nach der EN 384 auszuwerten, nach einem verteilungsfreiem statistischem Verfahren, der Zählwertmethode. Hierbei findet der Stichprobenumfang als Einflussgröße zur Berechnung charakteristischer Festigkeiten konservativ Eingang, ein statistisch repräsentatives Modell sowie dessen Parameter können explizit nicht berücksichtigt werden. Die charakteristische Biegefestigkeit von Brettschichtholz ist gegenwärtig nach der EN 14080 zu berechnen. Das Verfahren selbst basiert auf der Annahme logarithmisch normalverteilter Biegefestigkeiten. Die Berechnung der charakteristischen Festigkeit wird unter Verwendung der nicht-zentralen t-Verteilung als Prüfverteilung, unter Berücksichtigung eines Konfidenzintervalls von 84,1 % durchgeführt. Die EN 14080 vermerkt zudem, dass nach Anerkennung der prEN 14358 als EN die Biegefestigkeit nach dem darin verankerten Verfahren zu berechnen ist. Hier wird eine vergleichbare Methode angewendet, jedoch mit einem Konfidenzintervall von 75 %, so wie es auch die Dachnorm ISO 12491 vorsieht.

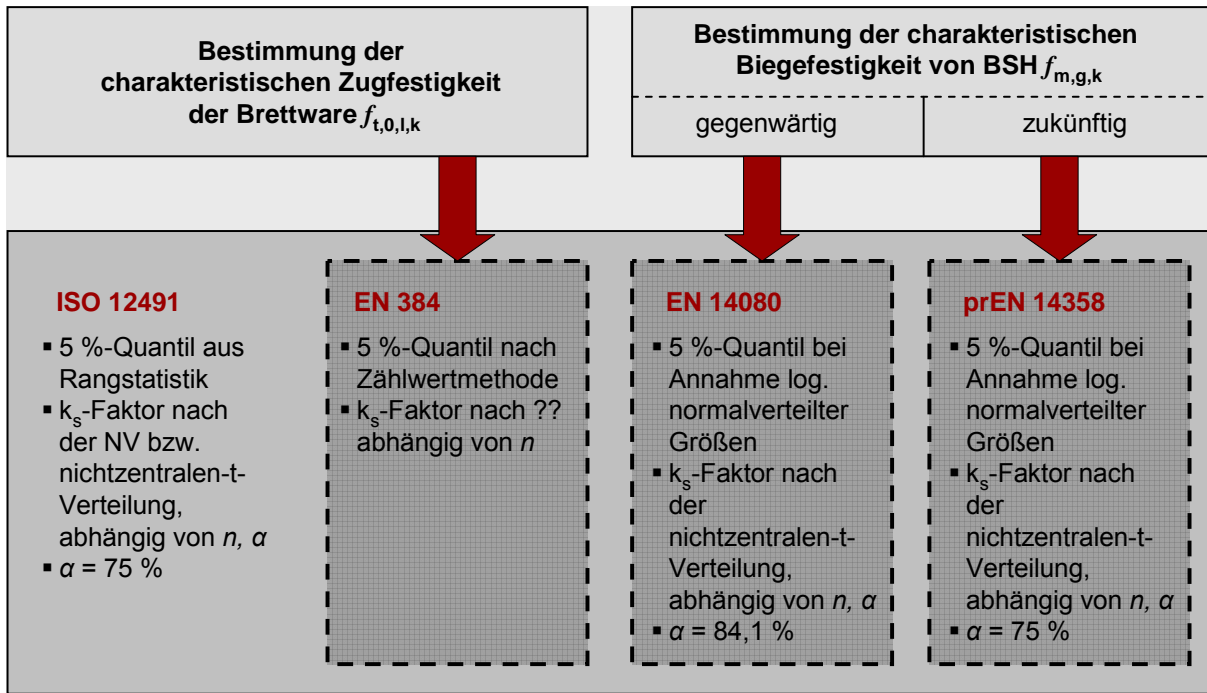


Abbildung 8: Darstellung der standardisierten Vorgangsweise in der Bestimmung charakteristischer Festigkeiten

Für eine Darstellung des aus unterschiedlichen statistischen Auswertungen folgenden genannten Einflusses dienen nachfolgende Darstellungen unter Annahmen praxisüblicher Streuungen, hier bezeichnet mit Variationskoeffizient COV : Zugfestigkeit der Brettware im Bereich von $COV = 20\%$ bis 40% , Biegefestigkeit von BSH im Bereich von $COV = 10\%$ bis 20% ; Stichprobenumfang im Bereich von $40\#$ bis $200\#$. Betrachtet werden die Unterschiede anhand eines Faktors k_s , als Verhältnis zwischen der charakteristischen Festigkeit zu dessen 5 %-Quantile. Die Faktoren sind in der Tabelle angeführt. Die Berechnung der charakteristischen Festigkeitswerte und die weitere Gegenüberstellung dieser Kennwerte zur Erfassung des Lamelliereffekts beinhaltet bei Berücksichtigung der standardisierten Auswertverfahren einen Lamelliereffekt, basierend auf der alleinigen Betrachtung der unterschiedlichen Auswertungsprozedere, von rund 9% bis 26% im zu erwartendem Streuungsbereich der Biegefestigkeit von Brettschichtholz, respektive einem „statistischen Lamelliereffektor der Auswertung“ von bis zu $1,26$. Dieser Effekt tritt in der Praxis, bedingt durch eine üblich gewählte hohe Prüfkörperanzahl von Brettern zu einer vergleichsweise geringen Anzahl an BSH-Trägern, verringert, doch nicht unerheblich zu Tage. Bei z.B. $100\#$ Brettern zu $25\#$ BSH-Trägern mit $COV = 15\%$ beträgt der durch die Auswertung bedingte Unterschied als Fehler rund $1,14$.

Tabelle 1: k_s -Faktoren unter Betrachtung der Auswertverfahren nach EN 384 und prEN 14358, sowie Quantifizierung des „statistisch basierten Lamelliereffektors der Auswertung“

n [--]	k_s nach EN 384 [--]	k_s nach prEN 14358 [--]			$k_{s,prEN14358} / k_{s,EN384}$ [--]		
	COV	COV			COV		
	--	10 %	20 %	40 %	10 %	20 %	40 %
40 #	0,78	0,982	0,964	0,931	1,26	1,24	1,20
200 #	0,90	0,992	0,985	0,971	1,10	1,09	1,08

Auf Basis dessen wird eine konsistente Auswertung der Daten, unter Berücksichtigung eines repräsentativen, best angepassten statistischen Verteilungsmodells vorgeschlagen, um diesen Einfluss vermeiden zu können. Insbesondere ist es durchaus sinnvoll, die Versuchsdaten so darzustellen, wie sie sich repräsentieren. Die Erfassung von repräsentativen Verteilungsmodellen hat zudem den Vorteil die Modellbildung auf Basis von Beziehungen zwischen Mittelwerten, als stabiler statistischer Kennwert, aufzubauen, und dann, mit Hilfe der weitgehenden Kenntnis der Verteilungsparameter oder einer entsprechenden Studie dieser auf den 5 %-Quantilwert der Grundgesamtheit zu schließen.

4.3.4 Einfluss der Streuungen der Materialkenngrößen auf das „Tragmodell Biegung“

Untersucht man die gegenwärtig in Diskussion befindlichen und in der Literatur verfügbaren „Tragmodelle Biegung“ von BSH aus Fichte (gemäß Diagramm 1 und Diagramm 2) so präsentiert sich eine beträchtliche Variationsbreite an publizierten Funktionen zur Beschreibung der Biegefestigkeit in Abhängigkeit der Zugfestigkeit der Brettware (siehe Zusammenhänge F 1). Die Regelung der Keilzinkenfestigkeit in Abhängigkeit der Biegefestigkeit von Brettschichtholz ist davon getrennt, aber als Grundbedingung als abhängig zu betrachten.

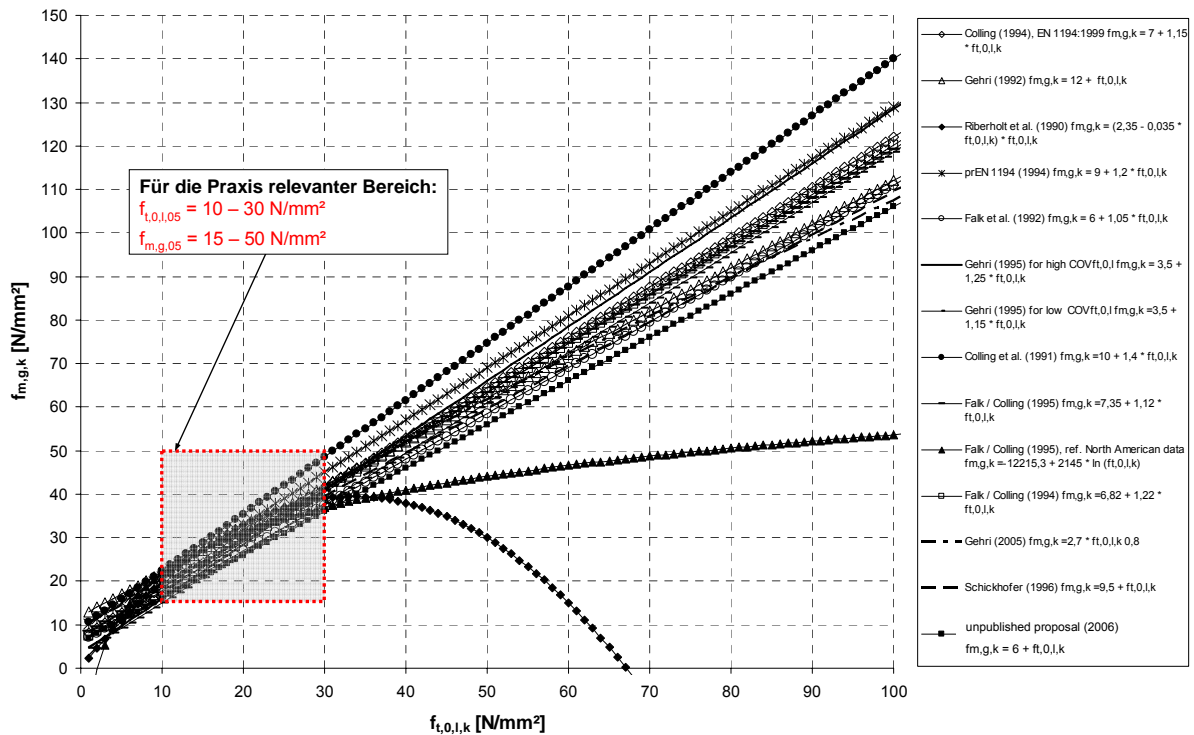


Diagramm 1: Darstellung der recherchierten „Tragmodelle Biegung“ zur Berücksichtigung des Lamellierfaktors in der Beziehung der Zugfestigkeit der Brettware zur Biegefestigkeit des daraus aufgebauten Brettschichtholzes; alle Modelle sind auf die Referenzabmessungen $h_0 = 600 \text{ mm}$, $b_0 = 150 \text{ mm}$, nach dem k_{size} der EN 1194:1999 bezogen.

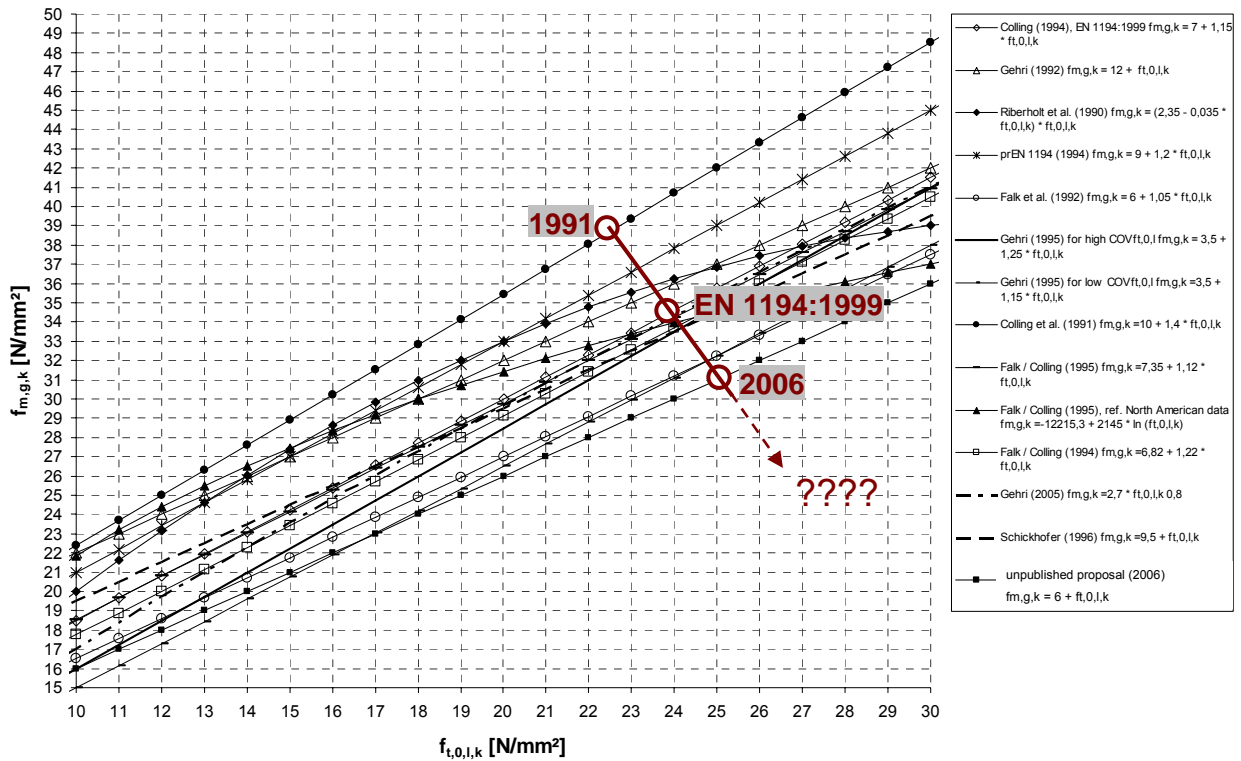


Diagramm 2: Darstellung des praxisrelevanten Bereiches der recherchierten „Tragmodelle Biegung“ zur Berücksichtigung des Lamellierfaktors in der Beziehung der Zugfestigkeit der Brettware zur Biegefestigkeit des daraus aufgebauten Brettschichtholzes; alle Modelle sind auf die Referenzabmessungen $h_0 = 600 \text{ mm}$, $b_0 = 150 \text{ mm}$, nach dem k_{size} der EN 1194:1999 bezogen.

Tabelle 2: Bandbreite der „benötigten“ charakteristischen Zugfestigkeiten zur Erzielung der jeweiligen BSH-Festigkeitsklasse

BSH-Festigkeitsklasse	$f_{m,g,k}$ [N/mm ²]	$f_{t,0,l,k}$ min - EN 1194:1999 - max [N/mm ²]
GL24h	24	11,5 - 14,8 - 18,0
GL28h	28	14,5 - 18,3 - 22,0
GL32h	32	17,5 - 21,7 - 26,0
GL36h	36	20,5 - 25,2 - 30,0

$$f_{m,g,k} \rightarrow f(f_{t,0,l,k}) \quad f_{t,j,k} \rightarrow f(f_{t,0,l,k}) \quad [F 1]$$

Betrachtet man die sich darstellende Streuung der Funktionen und ihren Verlauf so ist nicht davon auszugehen, dass hier von einzelnen Personen im Irrtum Publikationen dahingehend vorgenommen wurden. Jede Funktion ist grundsätzlich als bestbeschreibende Beziehung der jeweils betrachteten Daten zu verstehen, wobei das Hauptaugenmerk auf den für den praxisüblichen Einsatzbereich gelegt wurde.

Mehrere Faktoren beeinflussen jedoch diesen Prozess der „Wahrheitsfindung“, der Suche nach der bestmöglichen Beschreibung des Zusammenhanges:

- *Faktor der großen Bandbreite an Streuungen von physikalischen und mechanischen Kennwerten innerhalb des Naturwerkstoffes Holz (von ‚wood‘ zu ‚timber‘), beginnend im Nanobereich (Molekülstrukturen, Mikrofibrillen, etc.), dem Mikrobereich (Zellstrukturen, etc.) und dem Makrobereich (Wuchsmerkmale, etc.),*
- *Faktor der endlichen, eingeschränkten Versuchsergebnisse unter Kenntnis aller relevanten Kenngrößen zum Vergleich mit externen Ergebnissen,*
- *Faktor der eingeschränkten Möglichkeit externe Prüfergebnisse in die Betrachtungen mit-einzubeziehen (Fehlen der vollen Kenntnis aller Umstände der Prüfungsvorbereitung, Durchführung sowie der Auswertung),*
- *Faktor der Bestimmung der 5 %-Quantile bei statistisch betrachteten geringen Stichprobenumfängen und relativ großen Streuungen der Kenngrößen.*

Der Faktor der endlichen Prüfergebnisse wurde bereits in voran stehenden Kapiteln erläutert, jener der Miteinbeziehung von externen Prüfergebnissen ist eine Frage der Kommunikation und abhängig von der Offenheit einzelner Institutionen und repräsentierender Personen. Der Faktor der Streuungen der Materialparameter ist naturgegeben. Die Frage, welche sich an dieser Stelle aufdrängt:

Ist es ausreichend ein Tragmodell, als Darstellung von Beziehungen zwischen statistischen Kennwerten wie 5 %-Quantilen respektive charakteristischen Werten, auf Basis einer Trendfunktion zu begründen? Die Frage muss mit „Nein“ beantwortet werden.

Missachtet man die Streuung im Modell so missachtet man die Eigenschaften des Materials. Zudem ist es ungemein schwieriger die publizierten „Tragmodelle“, als Beziehungen zwischen $f_{m,g,k}$ und $f_{t,0,l,k}$ zu bewerten. Es fehlt die Abschätzung eines Bereiches, in dem, unter Betrachtung der möglichen Streubreite der Zugfestigkeit der Brettware ($COV-f_{t,0,l}$) und der Biegefestigkeit des BSH ($COV-f_{m,g}$), die angesprochenen Beziehungen auftreten können. Somit ist der folgend gewählte Zugang diese beiden Parameter in den weiteren Betrachtungen einzubinden (siehe Zusammenhänge in [F 2]).

$$f_{m,g,k} \rightarrow f(f_{t,0,l,k}, COV_{f_{t,0,l}}, COV_{f_{m,g}}) \quad f_{t,j,k} \rightarrow f(f_{t,0,l,k}, COV_{f_{t,0,l}}, COV_{f_{t,j}}) \quad [F 2]$$

4.3.5 Das „Grazer Tragmodell Biegung“

Auf Basis der getätigten Überlegungen gilt es als ersten Schritt das Ziel eines „Tragmodells Biegung“ und dessen Inhalt zu definieren. Anhand der bestehenden Daten, der aktuellen Marktsituation und der Notwendigkeit sich in der Variationsbreite der möglichen Ausführungen von BSH zu beschränken führte man an der holz.bau forschungs gmbh sowie am Institut für Holzbau und Holztechnologie der Technischen Universität Graz die weiteren Untersuchungen für BSH aus Fichte mit einer Keilzinkung 15 mm bzw. 20 mm und alleinig Brettern aus maschinellen Sortierprozessen durch. Ziel war es, alle Versuchsdaten von Zugversuchen an Brettware aus Fichte und daraus aufgebautem BSH und durchgeführten Biegeversuchen der letzten 13 Jahre aufzubereiten und die sich darstellenden Beziehungen zwischen ausgewählten Kennwerten zu bestimmen. Alle Daten (rund 2600 # Zugversuche an Brettware und 180 # BSH-Träger) wurden, unter vorgehender Berücksichtigung des k_{size} (nach EN 1194:1999) einer statistischen Auswertung unterzogen. Hierbei wurden einerseits statistische Kennwerte ermittelt und andererseits das repräsentativste statistische Modell zur Beschreibung der vorliegenden Versuchsdaten einzelner Serien bestimmt. Hierzu wurde die Anpassung an die Normalverteilung (NV) die 2- und 3-parametrische log. Normalverteilung (2pLNV, 3pLNV) sowie an die 2- und 3-parametrische Weibullverteilung (2pWV, 3pWV) untersucht.

Aufgrund der unzureichenden Möglichkeit die 5 %-Quantile von Festigkeiten aus Stichproben mit geringem Stichprobenumfang zuverlässig und wiederholbar zu berechnen, basieren die weiteren Überlegungen auf der Untersuchung von Beziehungen auf Ebene von Mittelwerten, sprich $f_{t,0,1,\text{mean}} : E_{t,0,1,\text{mean}}$, $f_{m,g,\text{mean}} : E_{m,g,\text{mean}}$ und $f_{t,0,1,\text{mean}} : f_{m,g,\text{mean}}$. Hierbei wurde anhand von Regressionsgleichungen unterschiedlicher Basisfunktion jeweils eine repräsentative Beziehung ermittelt. Für die Festlegung der Beziehung $f_{t,0,1,0,5} : f_{m,g,0,5}$ wurden folgende Überlegungen unter Betrachtung der Grenzbereiche getroffen:

- **Untere Grenze:** $f_{t,0,1,0,5} \lim_{\rightarrow 0} \rightarrow f_{m,g,0,5} = 0$
- **Obere Grenze:** $f_{t,0,1,0,5} \lim_{\rightarrow \infty} \rightarrow f_{m,g,0,5} = \infty$
- **Zudem gilt:** $\lambda = \frac{f_{m,g,0,5}}{f_{t,0,1,0,5}} \rightarrow 1,00$

mit zunehmender Homogenisierung des Materials und λ als Lamellierfaktor. Daraus folgt eine asymptotische Annäherung von $f_{t,0,1,0,5}$ an $f_{m,g,0,5}$!

Unter Kenntnis der repräsentierenden statistischen Verteilungsmodelle sowie der zu erwartenden mittleren Streuung und deren Bandbreite war es möglich, die Bandbreite der Beziehungen $f_{t,0,1,0,5} : E_{t,0,1,\text{mean}}$, $f_{m,g,0,5} : E_{m,g,\text{mean}}$ und $f_{t,0,1,0,5} : f_{m,g,0,5}$ darzustellen und zu untersuchen. Die folgenden Tabellen (Tabelle 3 und Tabelle 4) beinhalten einen Überblick über die Untersuchungsergebnisse.

Tabelle 3: Zusammenfassung der repräsentativen statistischen Verteilungsmodelle sowie der zu erwartenden Streuungsbereiche ausgewählter Kenngrößen

Kenngröße [--]	repräsentatives stat. Vert.-Modell [--]	zu erwartende Streuung COV [%]
$f_{t,0,1}$	2pLNV / 3pWV	20 .. 30 .. 40 ($COV_{\text{mean,Daten}} = 27,2 \%$)
$f_{m,g}$	NV / 3pWV	10 .. 15 .. 20 ($COV_{\text{mean,Daten}} = 14,6 \%$)

Tabelle 4: Zusammenfassung der aus Versuchsergebnissen am Institut für Holzbau und Holztechnologie der Technischen Universität Graz und der holz.bau forschungs gmbh ermittelten Beziehungen zwischen ausgewählten Kenngrößen

Kenngröße [--]	Funktion [--]
$f_{t,0,1,\text{mean}}$	$= -12,55 + 0,0035 \cdot E_{t,0,1,\text{mean}}$
$f_{m,g,\text{mean}}$	$= -2,95 + 0,003 \cdot E_{m,g,\text{mean}}$
$f_{m,g,\text{mean}}$	$= 2,25 \cdot f_{t,0,1,\text{mean}}^{0,82}$

Aufgrund der geringen Unterschiede in den ermittelten statistischen Kennwerten sowie zur Erleichterung der künftigen Handhabung der im weiteren Verlauf ermittelten Funktionen wurde die 2pLNV bzw. die NV als repräsentatives statistischen Verteilungsmodell zur Modellierung von Zugfestigkeiten der Brettware bzw. Biegefestigkeiten des Brettschichtholzes herangezogen.

Des Weiteren wurde, unter Einbeziehung von Ergebnissen aus der Literatur ([1] und [8]) der zu erwartende Streuungsbereich von $f_{t,0,1}$ mit 20 % bis 40 % festgelegt. Für die Wahl der Potenzfunktion als Basis für die Regressionsanalyse der Beziehung $f_{t,0,1,05} : f_{m,g,05}$ waren einerseits die vorerst dargelegten Überlegungen im Grenzbereich, sowie eine partiell durchgeführte Regressionsanalyse, unter Betrachtung von Abschnitten der Zugfestigkeiten und zugewiesenen Biegefestigkeiten, ausschlaggebend.

Als Ergebnis lässt sich die Biegefestigkeit von Brettschichtholz nach der Formel [F 3], in Abhängigkeit der Zugfestigkeit der Brettware und einem Vorfaktor a wie folgt ableiten:

$$f_{m,g,05} = a \cdot f_{t,0,1,05}^{0,82} \quad \text{[F 3]}$$

Der Vorfaktor a ist abhängig von der Streuung der beiden Kenngrößen $f_{m,g}$ und $f_{t,0,1}$ (siehe Formel [F 2]). Für eine erste Näherung und unter Betrachtung der geringeren Bandbreite von $COV_{f_{m,g}}$ wurde die Streuung der Biegefestigkeit $COV_{f_{m,g}}$ mit 15 % angenommen (siehe Formel [F 4] und [F 5]).

$$a = 1,67 \cdot \exp(1,48 \cdot COV_{f_{t,0,1}}) \approx 1,7 \cdot \exp(1,4 \cdot COV_{f_{t,0,1}}) \quad \text{[F 4]}$$

$$a = 1,67 \cdot \exp(1,48 \cdot COV_{f_{t,0,1}}) \cdot (-2,18 \cdot COV_{f_{m,g}} + 1,33) \quad \text{[F 5]}$$

Diagramm 3 beinhaltet den Streuungsbereich des definierten „Tragmodells Biegung“ unter Variation der Eingangsgrößen. Es zeigt sich eine Zunahme des Lamellierfaktors mit Zunahme der Streuung der Zugfestigkeit der Brettware und mit Abnahme der Streuung der Biegefestigkeit des Brettschichtholzes. Bereits E. Gehri [77] postulierte den Zusammenhang des zunehmenden Lamellierpotentials mit der Streuung der Zugfestigkeit und schlug auf Basis dessen ein „Tragmodell Biegung“ in Abhängigkeit von $COV_{f_{t,0,1}}$ vor. Der Effekt selbst lässt sich nachvollziehen, wenn man zwei Stichproben von Brettware unterschiedlicher Streuung betrachtet. Wir betrachten Stichprobe S1 mit $COV_{f_{t,0,1}} > 30\%$ und Stichprobe S2 mit $COV_{f_{t,0,1}} < 30\%$, mit der Bedingung: $S1-f_{t,0,1,05} = S2-f_{t,0,1,05}$. Es ergibt sich bei S1 ein dadurch bedingt höherer $f_{t,0,1,mean}$ und ein erhöhtes Potential an hohen Festigkeiten als bei S1. Dieses erhöhte Potential steht der Homogenisierung der Lamellen im BSH-Träger zur Verfügung und führt zu einem höheren Homogenisierungsfaktor, sprich Lamellierfaktor.

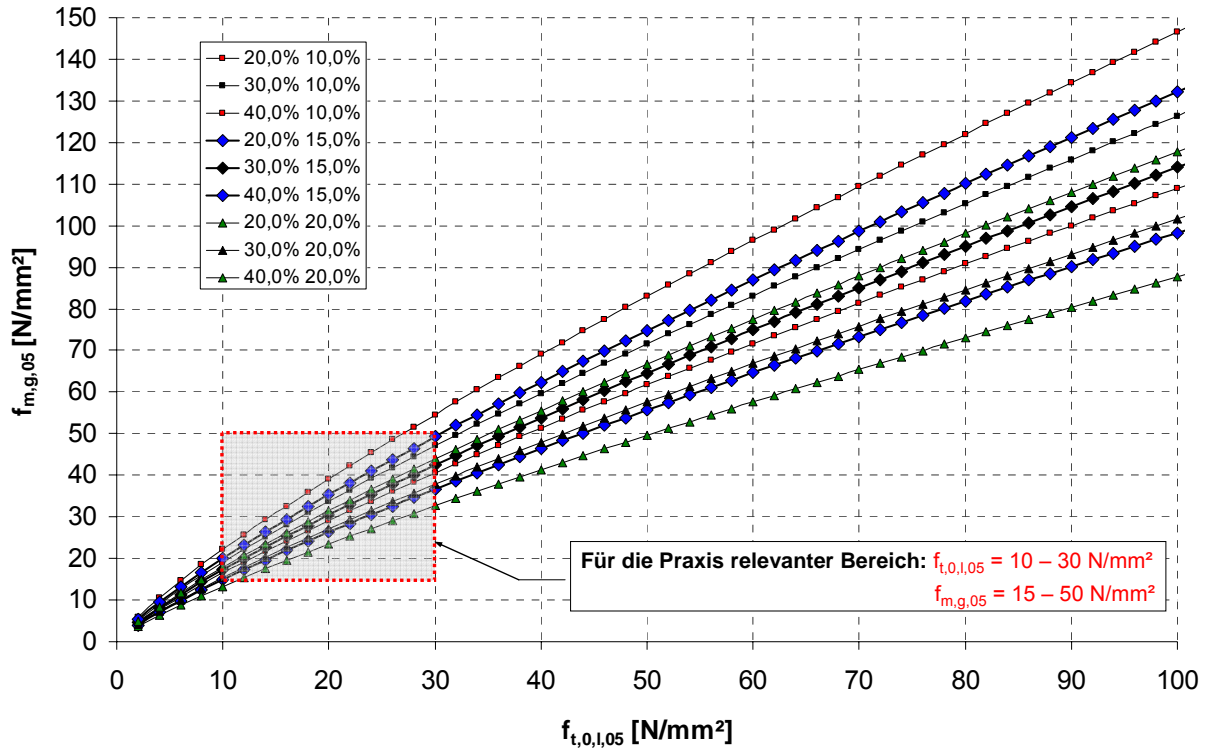


Diagramm 3: Biegefestigkeit $f_{m,g,05}$ des BSH, in Abhängigkeit der Kenngrößen $f_{t,0,l}$, $COV-f_{t,0,l}$ sowie $COV-f_{m,g}$

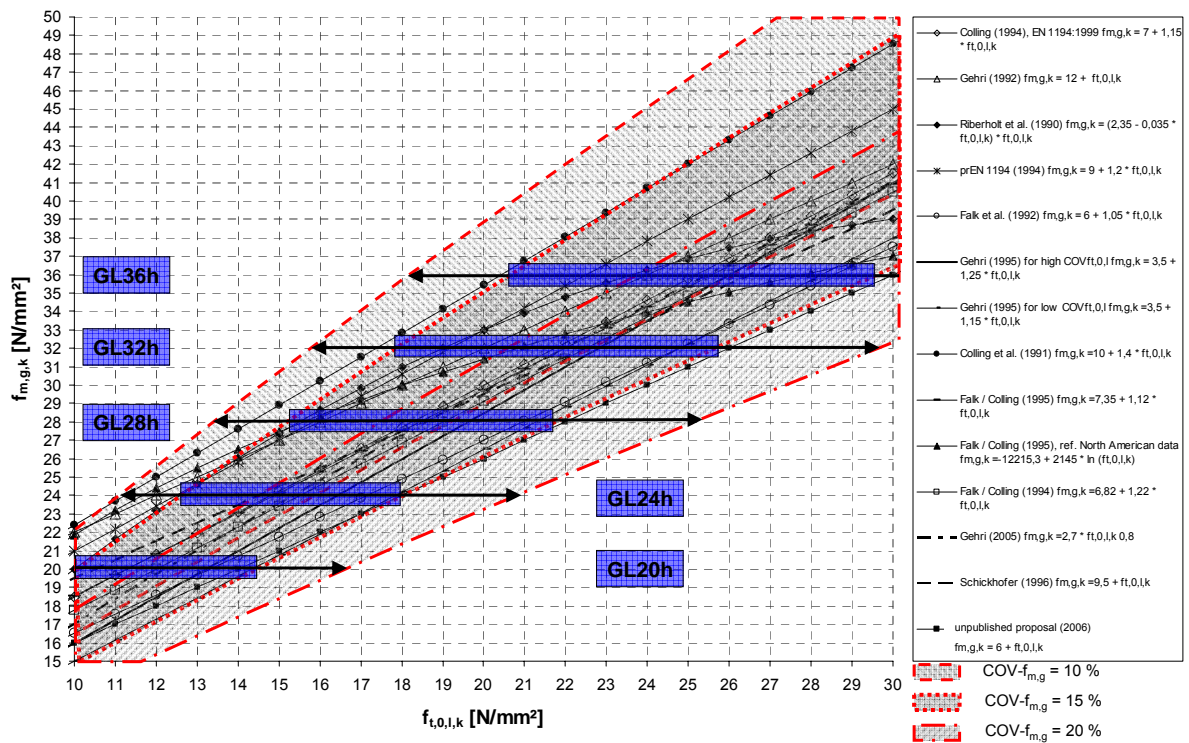


Diagramm 4: Gegenüberstellung der recherchierten „Tragmodelle Biegung“ mit den Streubereichen aus den Untersuchungen von Graz: Streubereich 1: $COV-f_{m,g} = 10\%$; Streubereich 2: $COV-f_{m,g} = 15\%$; Streubereich 3: $COV-f_{m,g} = 20\%$; Variation von $COV-f_{t,0,l}$ in allen 3 Bereichen zwischen 20 % und 40 %

Tabelle 5: Darstellung der Ergebnisse aus der Variation der Streuungen $COV-f_{t,0,1}$ und $COV-f_{m,g}$, unter Betrachtung der sich daraus ergebenden Zugfestigkeiten der Brettware zur Erreichung der Biegefestigkeiten der BSH-Festigkeitsklassen

BSH-Festigkeitsklasse [--]	$f_{m,g,k}$ [N/mm ²]	$f_{t,0,1,k}$ [N/mm ²]			$f_{t,0,1,k}$ [N/mm ²]			$f_{t,0,1,k}$ [N/mm ²]		
		$COV-f_{m,g} = 10\%$			$COV-f_{m,g} = 15\%$			$COV-f_{m,g} = 20\%$		
		$COV-f_{t,0,1}$			$COV-f_{t,0,1}$			$COV-f_{t,0,1}$		
		40 %	30 %	20 %	40 %	30 %	20 %	40 %	30 %	20 %
GL24h	24	11,0	13,2	15,8	12,5	15,0	17,9	14,4	17,2	20,6
GL28h	28	13,3	15,9	19,1	15,1	18,1	21,6	17,3	20,8	24,9
GL32h	32	15,6	18,7	22,4	17,7	21,2	25,4	20,4	24,4	29,3
GL36h	36	18,1	21,6	25,9	20,5	24,5	29,4	23,6	28,2	33,8

Diagramm 4 stellt die recherchierten „Tragmodelle Biegung“ dem gewonnenen Modell aus Graz unter Berücksichtigung der Streuungsbreiten von $COV-f_{t,0,1}$ von 20 % bis 40 % und $COV-f_{m,g}$ von 10 % bis 20 % gegenüber. Es zeigt sich bereits eine nahezu vollständige Überdeckung der publizierten Funktionen bei Berücksichtigung des Streuungsbereiches 2 ($COV-f_{t,0,1} = 20\%$ bis 40% , $COV-f_{m,g} = 15\%$). Auch ist aus den gegebenen Untersuchungen aus Graz bekannt, dass die Biegefestigkeit von Brettschichtholz sehr eng um die mittlere zu erwartende Streuung von $COV-f_{m,g} = 15\%$ variiert. Somit kann festgestellt werden, dass alle dargestellten Modelle – im für die Praxis derzeit relevanten Bereich – durchaus gerechtfertigt sind. Es ist eine Frage des Standpunktes und der erfahrungsrelevanten Argumentation in welchem Bereich man eine vereinfachte Funktion festlegen möchte. Ist ein Trend, also eine allgemeine Tendenz der Beziehung zu definieren, so gilt es eine gemittelte Funktion zu beschreiben. Im Sinne des derzeit herrschenden Sicherheitskonzeptes ist abzuschätzen in welchem Bereich bzw. in welchem Abschnitt der Variationsbreite eine zukünftige Funktion oder Variation zu definieren ist. Es ist auch seitens der Produktion zu klären welche Parameter in welcher Zuverlässigkeit und Streuungsbehaftung online erfasst werden können. Im Zuge dessen kann es auch ein Weg sein, mehrere, abschnittsweise gültigen Funktionen festzuschreiben um das jeweils im Produktionsprozess vorliegende Material mit seinem ihm innewohnendem Potential zu nützen. Es ist jedoch ein solches Basismodell, wie es seitens Graz als „Tragmodell Biegung“ dargestellt wurde, zu verifizieren. Hier wurde besonders auf den unteren Bereich der Festigkeitsklassen GL24h und GL28h, produziert aus visuell sortierter Brettware Wert gelegt.

4.3.6 Validierung des „Grazer Tragmodells Biegung“

Die bisherigen Untersuchungen an Brettschichtholz in Graz wurden ausschließlich von aus maschinell sortierter Brettware aufgebauten Trägern durchgeführt. Inhalt und Ziel dieser Untersuchungen war deshalb die Verifizierung des „Tragmodells Biegung“ unter Einbeziehung der Streuungen $COV-f_{t,0,1}$ und $COV-f_{m,g}$ von Brettschichtholz aus visuell sortierter Brettware der Holzart Fichte. Aus der Erfahrung und aus den Angaben der Literatur erwartete man sich eine höhere Streuung der Zugfestigkeitswerte und ein damit verbundenes höheres Lamellenpotential.

Untersucht wurde Brettware aus Fichte eines Einschnittes und mitteleuropäischer Provenienz. Die Brettware wurde im Rahmen eines industriellen visuellen Sortierungsprozesses, in Anlehnung an die DIN 4074, in die Klassen S10, S10+ (sprich S10 und besser) sowie S13 unterteilt. Je Klasse wurden 100 # Bretter und 50 # Keilzinkenverbindungen auf Zug längs zur Faser geprüft. Zudem wurden je Klasse 25 # BSH-Träger mit $l / b / h = 6080 / 150 / 320$ mm und 25 # BSH-Träger der Klasse S10 mit $l / b / h = 3040 / 150 / 160$ mm einer 4-Punkt-Biegeprüfung, nach EN 408 unterzogen. Die Keilzinkenverbindung selbst wurde mit einer Zinkenlänge von 20 mm produziert. Die vorläufigen Ergebnisse der Versuche sind Tabelle 6 zu entnehmen. Die Ermittlung der Kennwerte der Träger mit $h = 320$ mm der Klasse S10 steht noch in Bearbeitung.

Tabelle 6: Zusammenfassung der vorläufigen Versuchsergebnisse der Klassen S10, S10+ und S13: Zugversuche an Brettware und Keilzinkenverbindung, 4-Punkt-Biegeversuche an BSH-Trägern

	S10_160			S10+_320			S13_320		
	$f_{t,0,1}$ [N/mm ²]	$f_{t,i}$ [N/mm ²]	$f_{m,g}$ [N/mm ²]	$f_{t,0,1}$ [N/mm ²]	$f_{t,i}$ [N/mm ²]	$f_{m,g}$ [N/mm ²]	$f_{t,0,1}$ [N/mm ²]	$f_{t,i}$ [N/mm ²]	$f_{m,g}$ [N/mm ²]
Anzahl [--]	100	49	24	100	49	25	100	48	25
MW	27,3	26,5	38,1	34,4	27,1	34,4	41,2	29,3	40,3
COV [%]	39,5	18,6	20,1	38,1	16,4	19,5	30,4	14,3	13,8
5 %-Qu. (ZV)	14,0	19,4	26,9	15,9	20,7	25,3	22,2	21,5	31,2
5 %-Qu. (VM)	14,0 (2pLNV)	18,7 (3pWV)	27,3 (3pLNV)	14,4 (3pWV)	20,2 (3pWV)	25,7 (3pWV)	21,7 (3pWV)	21,8 (3pWV)	31,7 (3pWV)
k_{size} (EN 1194)	0,981	1,00	0,876	0,981	1,00	0,939	0,981	1,00	0,939
5 %-Qu. inkl. k_{size} , k_s (EN 384)	11,9	15,6	--	14,1	16,6	--	19,1	17,5	--
5 %-Qu. inkl. k_{size} , k_s (prEN 14358)	13,1	18,5	22,6	15,0	19,8	22,6	21,9	22,2	28,9
5 %-Qu. inkl. k_{size} , k_s (VM)	13,7	18,7	24,0	14,1	20,2	24,1	21,3	21,8	29,8
MW ... Mittelwert; COV ... Variationskoeffizient; ZV ... Zählwertverfahren; VM ... Wert nach dem best angepasstem Verteilungsmodell									

Es lassen sich folgende Aussagen, gültig für diese Untersuchungsreihe, treffen:

- *Brettschichtholz aus Brettware visueller Sortierung von S10, S10+ und S13 erreichte die geforderte Biegefestigkeit der Festigkeitsklassen GL24h bzw. GL28h, bei Auswertung nach dem bestangepassten statistischen Verteilungsmodell und unter Berücksichtigung des k_{size} und k_s .*
- *Mit zunehmender Zugfestigkeit der Brettware / Lamellen sinkt der Lamellierfaktor (S10 – GL24h $\rightarrow \lambda = 1,75$; S10+ - GL24h $\rightarrow \lambda = 1,71$; S13 – GL28h $\rightarrow \lambda = 1,40$).*
- *Die Zugfestigkeit der Keilzinkenverbindung lässt sich durch Anwendung der visuellen Sortierung nur bedingt steigern. Dies resultiert aus der gewünschten und normativ geforderten Positionierung der Keilzinkenverbindung im „merkmalsfreien“ Holz. Die visuelle Sortierung selbst unterscheidet nahezu ausschließlich hinsichtlich der Wuchsmerkmale im „merkmalsbehafteten“ Holz.*
- *Anhand der Prüfergebnisse lässt sich ein positiver Zusammenhang zwischen $COV_{f_{t,0,1}}$ und $COV_{f_{m,g}}$ erkennen. Diese Beziehung konnte anhand der bisherigen Ergebnisse nicht nachvollzogen werden. Es ist davon auszugehen, dass die Beziehung zwischen $COV_{f_{t,0,1}}$ und $COV_{f_{m,g}}$ durch die Homogenisierung der seriellen Systemwirkung verschmiert und stark reduziert auftritt.*

Diagramm 5 beinhaltet die Darstellung der Prüfergebnisse im Streuungsfeld des „Tragmodells Biegung“. Die dargestellten Achsen sowie Ellipsen um jeden Prüfpunkt stellen eine Abschätzung des Streubereiches in der Berechnung der 5 %-Quantile und deren Gegenüberstellung dar. Die Bandbreiten dieser Flächen ergeben sich aus der Anwendung unterschiedlicher statistischer Methoden, welche unter anderem in der EN 384 und prEN 14358 verankert sind. Hinsichtlich der Validierung des „Grazer Tragmodells Biegung“ zeigt sich eine geringe Unterschätzung der Biegefestigkeit von Brettschichtholz aus Brettware der Klassen S10 sowie S10+, sowie eine Überschätzung des Trägerpotentials aufgebaut aus Brettware der Klasse S13. Für die unteren Klassen S10 und S10+ konnte somit das erhöhte Homogenisierungspotential bei Brettware hoher Streuung in der Zugfestigkeit dargestellt werden. Für Brettschichtholz aus der untersuchten Brettware Klasse S13 ist der Einfluss der Festigkeit der Keilzinkenverbindung als betriebsinterner limitierender Faktor hervorzuheben. Wie Tabelle 6 zu entnehmen ist, weist jene Brettlamelle eine nahezu identische Keilzinkenfestigkeit wie Zugfestigkeit längs zur Faser der Brettware auf. Die Festigkeit der Keilzinkenverbindung ist als zweite Funktion neben dem „Tragmodell Biegung“ als Grundbedingung notwendig, um das Potential der Brettware im BSH-Biegeträger umzusetzen.

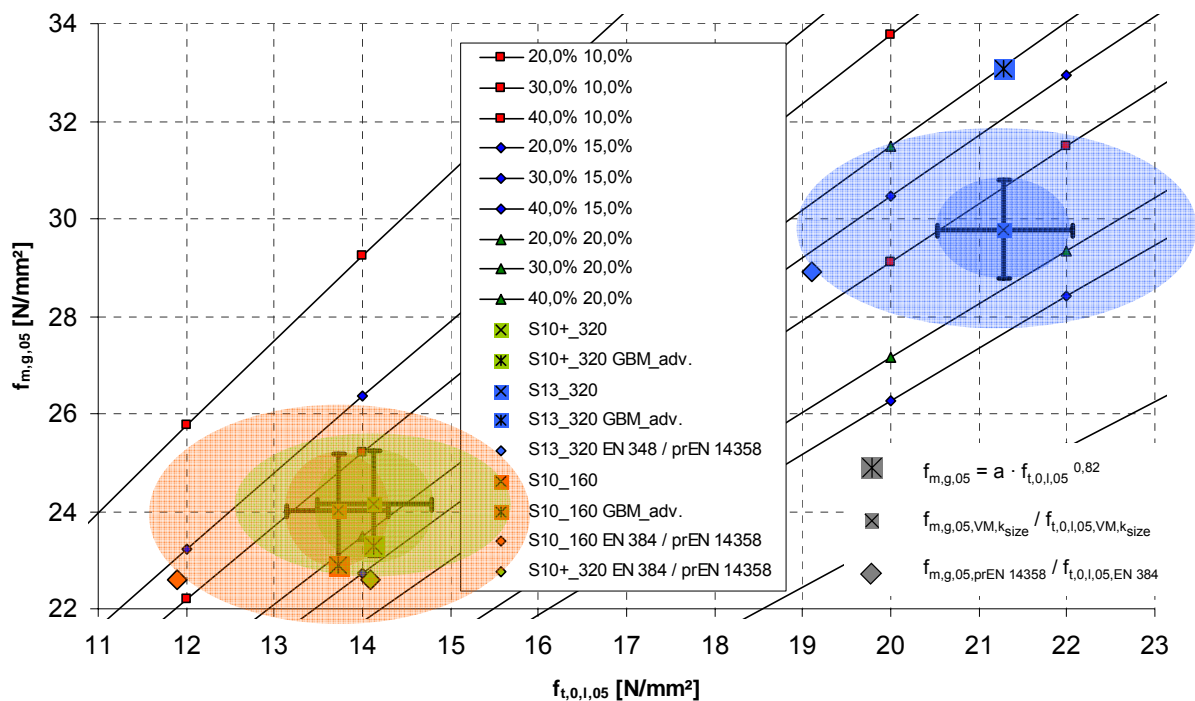


Diagramm 5: Darstellung der Versuchsergebnisse von BSH aufgebaut aus visuell sortierter Brettware der Klassen S10_160, S10+_320 und S13_320. Berücksichtigt wurde einerseits die Streuung der 5 %-Quantile unter Anwendung des Verfahrens nach prEN 14358 (Achsen), sowie eine Abschätzung des möglichen Auswerteraumes unter Betrachtung des unteren Konfidenzbereiches der 5 %-Quantile.

4.3.7 Resümee

Betrachtet man die obige Ausführung betreffend dem „Tragmodell Biegung“ für Brettschichtholz, so können folgende Prämissen als geltend erachtet werden:

- *Mit steigender Zugfestigkeit der Brettware respektive der Brettlamelle steigt auch die Biegefestigkeit des daraus aufgebauten Brettschichtholzes. Die Zugfestigkeit stellt daher eine geeignete – nicht einzige, aber gegenwärtig in relevantem Umfang untersuchte – Kenngröße zur Beschreibung des „Tragmodells Biegung“ dar.*
- *Die Nichtberücksichtigung der Streuung der Kenngrößen – wie in den gegenwärtigen Modellen üblich – und die Modellbildung auf Basis von 5%-Quantilen respektive charakteristischen Kennwerten stellt eine unzureichende Beschreibung des stark streuenden inhomogenen Werkstoffes Holz dar.*

Bei der Bildung des „Tragmodells Biegung“ sind daher zumindest die oben erwähnten Prämissen zu beachten. Dies bedeutet die Berücksichtigung von $f_{t,0,l,k}$, $COV-f_{t,0,l}$ sowie $COV-f_{m,g}$ und im Weiteren die Berücksichtigung von $f_{t,j,k}$ verbunden mit $COV-f_{t,j}$ respektive $f_{m,j,k}$ verbunden mit $COV-f_{m,j}$.

Was zeigen uns die oben dargestellten „Tragmodelle Biegung“ und was hat nun diese Modellbildung mit dem Titel des Beitrages zu tun? Es wird gezeigt, dass

- *jedes einzelne Modell – sieht man von der nicht vorhandenen Eingrenzung des Gültigkeitsbereiches ab – insbesondere den diesem zugrunde gelegten Einzelergebnissen genügt.*
- *auch eine endliche Anzahl an experimentell ermittelten Einzelergebnissen in der Wissenschaft verbunden mit darauf basierenden Einzelaussagen gewöhnlich kein allgemein gültiges Modell validieren kann.*

Diese für eine Modellfestlegung relevanten Tatsachen haben nun sehr viel mit Qualität und Zuverlässigkeit zu tun. Es geht nämlich um nichts Geringeres, als um die Festlegung von Produktkenngößen, welche die Basis für die Bemessung und Nachweisführung von Baukonstruktionen darstellt. Auch bei Vorliegen vieler Einzelergebnisse bedarf es letztendlich der Berücksichtigung des Erfahrungswissens aller an diesem Prozess Beteiligten. Nur die Kombination zwischen der Summe der Einzelergebnisse und dem Erfahrungswissen kann zu einem zuverlässigen (und wirtschaftlich vertretbaren) „Tragmodell Biegung“ führen.

5 Zusammenfassung und Schlussbetrachtung

Im vorliegenden Beitrag wurde versucht, einige Aspekte der „Qualitätskette für den Baubereich“ zu beleuchten. Insbesondere wurde der Bereich „Qualität in der Wissenschaft und Forschung“ anhand eines Beispiels näher betrachtet. Es wurde auf die Zuverlässigkeit in der Modellbildung für Brettschichtholz eingegangen, und es konnte gezeigt werden, dass das gegenwärtige Definieren von Tragmodellen mit wesentlichen Unzulänglichkeiten verbunden ist und neben der Summe an Einzelergebnissen stets die Argumentation und Interpretation basierend auf Erfahrungswissen erfordert. So konnten 14 unterschiedliche „Tragmodelle Biegung“, aufgestellt und publiziert zwischen 1990 und 2006 recherchiert werden. Eine vergleichende Darstellung zeigt uns beispielsweise einen Unterschied in der Biegefestigkeit $f_{m,g,k}$ zwischen dem konservativsten und progressivsten Modell in der Größenordnung von rund 40 % (!) (für $f_{t,0,l,k} = 14 \text{ N/mm}^2$ und bezogen auf den konservativen Wert). Dies sollte uns zu denken geben, basieren doch die in den europäischen und nationalen Normenwerken verankerten Kenngrößen – insbesondere für Brettschichtholz – auf dem oben erwähnten „Findungsprozess“ und der daraus resultierenden Tragmodelle (siehe auch „Tragmodell Schub“, etc.). Lässt sich aus dieser Variabilität überhaupt noch ein Tragmodell formulieren? Ein bedingtes „Ja“ ist die Antwort.

Bedingung ist die Berücksichtigung der Streuungseigenschaften bei der Modellformulierung und die Akzeptanz, dass nur eine Trendfunktion als Basis für ein Normungsvorhaben und keinesfalls eine „Punktlandung“ gewährleistet sein kann.

Resümierend muss festgehalten werden, dass speziell für stark streuendes Materialverhalten – wie für den naturgegebenen inhomogenen Werkstoff Holz gegeben – die Missachtung dieser Streuungseigenschaften bei der Modellformulierung eine Missachtung der Materialeigenschaften darstellt. Dies gilt selbstverständlich nicht nur für die Formulierung von Tragmodellen mit eingegrenztem Gültigkeitsbereich (wie oben dargelegt), sondern auch für die Modellierung von Materialgesetzen für Holz mit dem Ziel ‚timber‘ (als Ziel ist hier ‚timber‘ im Sinne eines merkmalsbehafteten Bauproduktes gemeint) beschreiben zu wollen.

6 Zitierte und weiterführende Literatur

- [1] Augustin, M.: „Eine zusammenfassende Darstellung der Festigkeitssortierung von Schnittholz“, Diplomarbeit, Institut für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz, 259 Seiten, 2004.
- [2] Balak, M., Rosenberger, R., Steinbrecher, M.: „1. Österreichischer Bauschadensbericht“, ofi-Institut für Bauschadensforschung (IBF), Wirtschaftskammer Österreich (WKÖ) / Geschäftsstelle Bau der Bundesinnung Bau und des Fachverbandes der Bauindustrie, 83 Seiten, 2005.
- [3] Brandner, R.: „Darstellung des Festigkeits- und Steifigkeitspotentials von BSH-Lamellen in Hinblick auf das Trägermodell“, Vortrag im Rahmen des 2. Grazer Holzbauworkshops 2006, Institut für Holzbau und Holztechnologie der Technischen Universität Graz, holz.bau forschungs gmbh, Österreichischer Holzleimbauverband, 2006.
- [4] Chalmers, A. F.: „Wege der Wissenschaft – Einführung in die Wissenschaftstheorie“, herausgegeben und übersetzt von Niels Bergemann und Christine Altstötter-Gleich, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, ISBN 3-540-67477-2, 5., völlig überarbeitete und erweiterte Auflage, 2001.
- [5] Colling, F., Falk, R.H.: „Investigation of Laminating Effects in Glued-Laminated Timber“, Proceedings, CIB-W18 Timber Structures, Meeting Twenty-Six, Athens, Georgia, USA, 13 pages, 1993.
- [6] Consemüller, K., et al: Rat für Forschung und Technologieentwicklung: „Strategie 2010 – Perspektiven für Forschung, Technologie und Innovation in Österreich“, Weiterentwicklung des Nationalen Forschungs- und Innovationsplans, 44 Seiten, Wien, 2006.
- [7] Gehri, E.: „Gedanken zur normativen europäischen Entwicklung“, Vortrag im Rahmen des 2. Grazer Holzbauworkshops 2006, Institut für Holzbau und Holztechnologie der Technischen Universität Graz, holz.bau forschungs gmbh, Österreichischer Holzleimbauverband, 2006.
- [8] Glos, P.: „Zur Modellierung des Festigkeitsverhaltens von Bauholz bei Druck-, Zug-, und Biegebeanspruchung“, Bericht zur Zuverlässigkeitstheorie von Bauwerken, Heft 61, Laboratorium für konstruktiven Ingenieurbau, TU München, 1981.
- [9] Heinrich, C.: „Sei (k)ein Narr – Briefe und Essays“, Edition Jesina, Wien, ISBN 3-3902216-20-4, 2. Auflage, 80 Seiten, 2004.
- [10] Kamiske, G. F., Brauer, J.-P.: „Qualitätsmanagement von A bis Z“, Erläuterungen moderner Begriffe des Qualitätsmanagements, ISBN 3-446-40284-5, 5. aktualisierte Auflage, 437 Seiten, 2006.
- [11] Kuhn, W.: „Wissenschaftstheorie und Didaktik der Physik“, DPG-Didaktik-Tagungsband 1984, Seite 1-25, Herausgeber: Prof. Dr. W. Kuhn, Institut für Didaktik der Physik, Universität Gießen.
- [12] Machiavelli, N.: „Il Principe (Der Fürst)“, Italienisch/Deutsch, übersetzt und herausgegeben von Philipp Rippel, Philipp Reclam jun., Stuttgart, ISBN 3-15-001219-8, 2004.
- [13] Niggli, P.: „Reine und angewandte Naturwissenschaft“, Rektoratsrede gehalten am 15. Oktober 1928 an der ETH Zürich, Wiederabdruck in: Niggli, Paul: „Schulung und Naturerkenntnis“, Zürich 1945, S. 142-160.

- [14] Planck, M.: „Wissenschaft und Leben“, supposé, CD 1 und CD 2, c+p 2003 supposé Köln, ISBN 3-932513-45-2 LC 10439.
- [15] Prisching, M.: „Nachdenken über die Zukunft“, in „steiermark:innovation 2005“, Leykam Buchverlagsgesellschaft m.b.H. Nfg. & Co KG/Graz, ISBN 3-7011-7503-9, Seite 9-14, 2005.
- [16] Riedl, R.: „Die unheilige Allianz“, Bildungsverluste zwischen Forschung und Wirtschaft, WUV Universitätsverlag, Facultas Verlags- und Buchhandels AG, ISBN 3-85114-859-6, 128 Seiten, 2004.
- [17] Schickhofer, G.: „Die Holztechnologie als Basis des Ingenieurholzbaus am Beispiel der Brett-schichtholzforschung“, Vortrag im Rahmen Berufungsverfahren „Holzbau und Holztechnologie“, TU Graz, 16. Jänner 2004.
- [18] Schickhofer, G., et al: „Holzbau“, Skriptum für Holzbau und Holztechnologie, Institut für Holzbau und Holztechnologie der TU Graz, 2004.
- [19] Schlicksupp, H.: „Ideenfindung“, ISBN 3-8023-1786-6, 5. Auflage, Vogel Verlag und Druck GmbH & Co. KG, Würzburg, 1999
- [20] Spandau, L.: „Heutzutage kennt man von allem den Preis und von nichts den Wert!“ – Konsum zwischen Nachhaltigkeit und Lebensfreude, Einführungsreferat in die 9. Benediktbeurer Gespräche der Allianz Umweltstiftung, 12 Seiten, 2005.
- [21] Steiner, J.: „Erprobt, bewährt und demontiert – Vom Verschwinden gewohnter Strukturen“, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin, Bautechnik 83 (2006), Heft 4, Seite 235-246.
- [22] Vogdt, F. U., et al: „Dialog Bauqualität“, Endbericht, Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e. V. an der TU Berlin (IEMB) im Auftrag des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung/Referat II 2, 236 Seiten, 2002.
- [23] Weibull, W.: „A statistical theory of the strength of materials“, Swedish Royal Institute Engineering Research Proceedings, Stockholm/Sweden, 1939.
- [24] Zwicky, F.: „Morphologische Forschung – Wesen und Wandel materieller und geistiger struktureller Zusammenhänge“, Verlag Baeschlin, Glarus, ISBN 3-85546-038-8, 2. Auflage, 1989.