

Teil 2

Anhang

Festigkeitsuntersuchung an verbaute Konstruktionshölzern

*Investigation to determine the strength of
structural timber*

Masterarbeit
im Masterstudiengang
Denkmalpflege / Heritage Conservation

Der Otto- Friedrich- Universität Bamberg und
der Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg

Verfasser:
B. Eng. Frank Ebner
Dittelbrunner Straße 4 ½
97422 Schweinfurt
Matrikelnummer: 1882199

Erster Betreuer: Dr. -Ing. Dipl.-Holzwirt Thomas Eißing,
Otto-Friedrich- Universität Bamberg

Zweiter Betreuer: Prof. Dr. Olaf Huth,
Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg

2 Theoretische Grundlagen

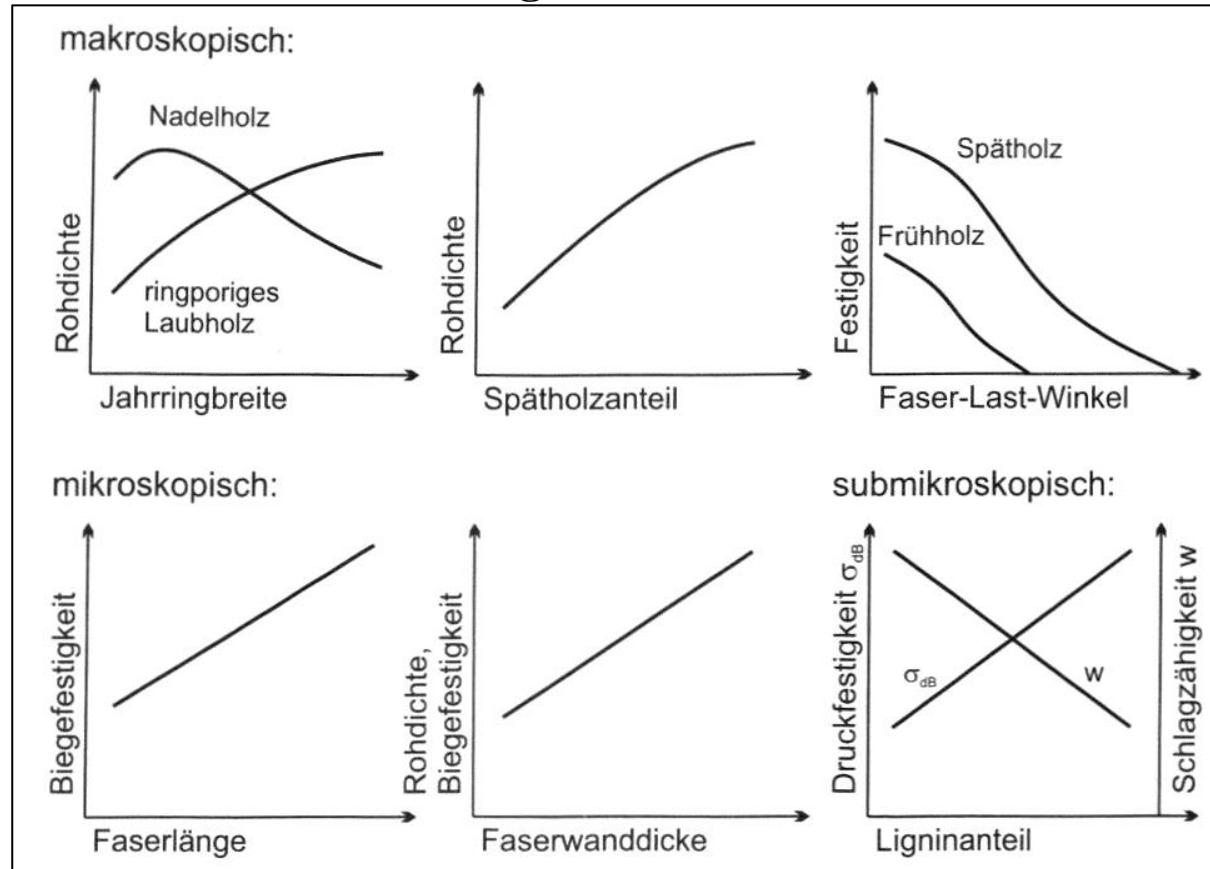


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Einflusses ausgewählter Strukturparameter auf die Eigenschaften von Holz. Aus: Niemz und Sonderegger (2017), S. 58, Bild 4,20

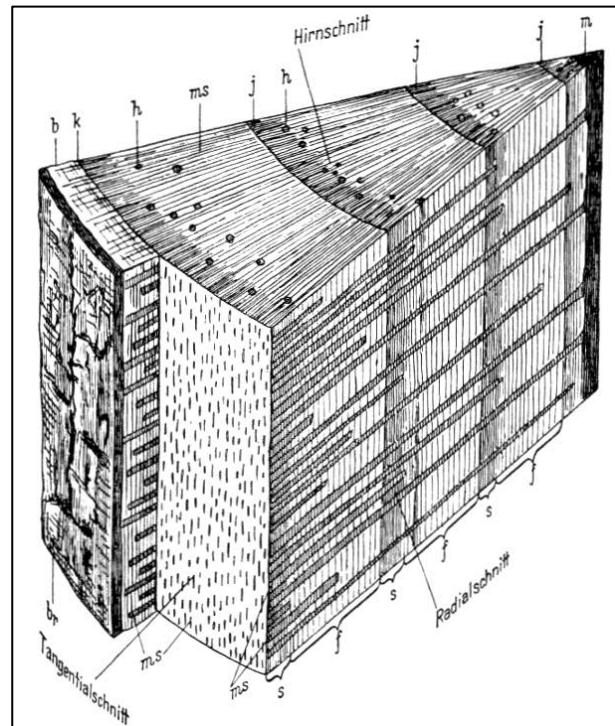


Abbildung 2: Keilstück aus einem 4-jährigem Kiefernstamm. br Borke, b Bast, f Frühholz, h Harzkanal, j Jahrringgrenze, k Kambium, m Mark, ms Markstrahl, s Spätholz.

Nach E. Strasburger, aus: Kollmann (1951), S. 1, Bild 1

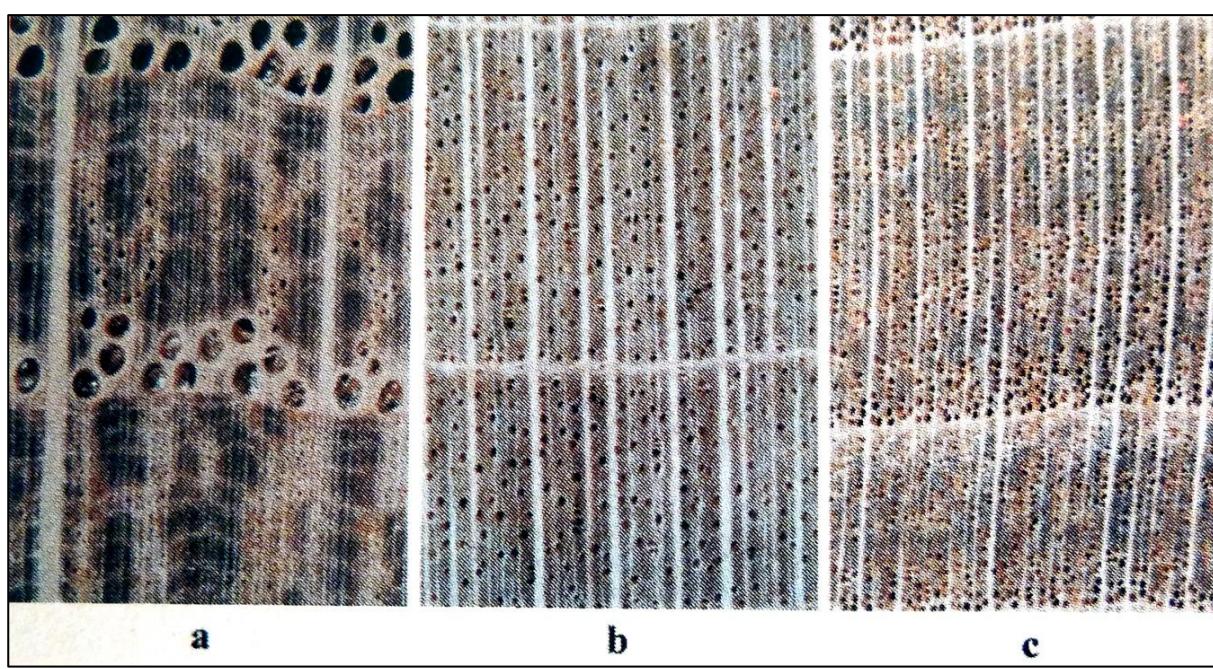


Abbildung 3: a) ringporig, Eiche; b) zerstreutporig, Ahorn; c) halbringporig, Kirschbaum. Aus: Lohmann (2010), S. 1001

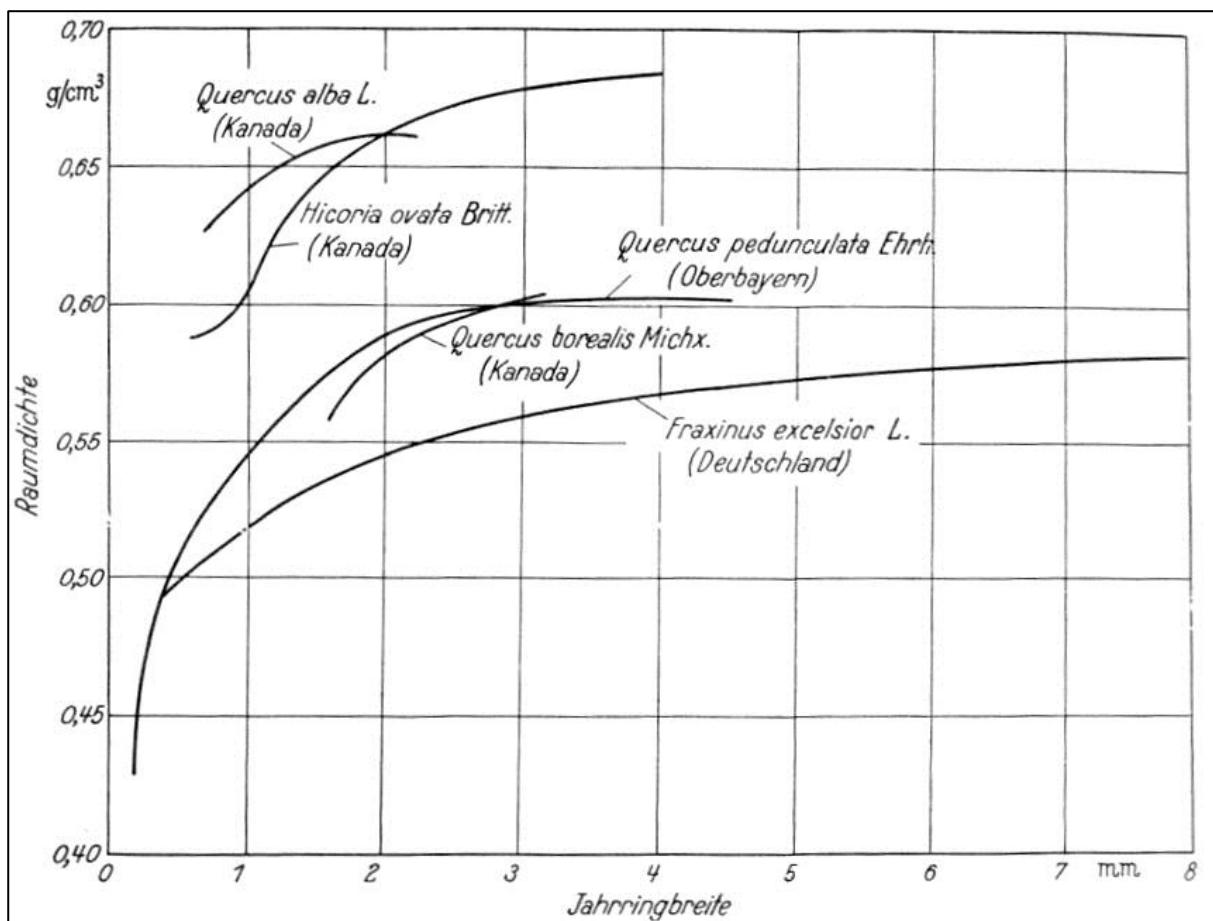


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Jahrringbreite und Raumdichte für Eiche (*Quercus*), Esche (*Fraxinus excelsior*) und Hickory (*Hicoria*). Entworfen nach Messungen von F. Kollmann, G. H. Rochester und R. Tren-delenburg, aus: Kollmann (1951), S. 350, Bild 250

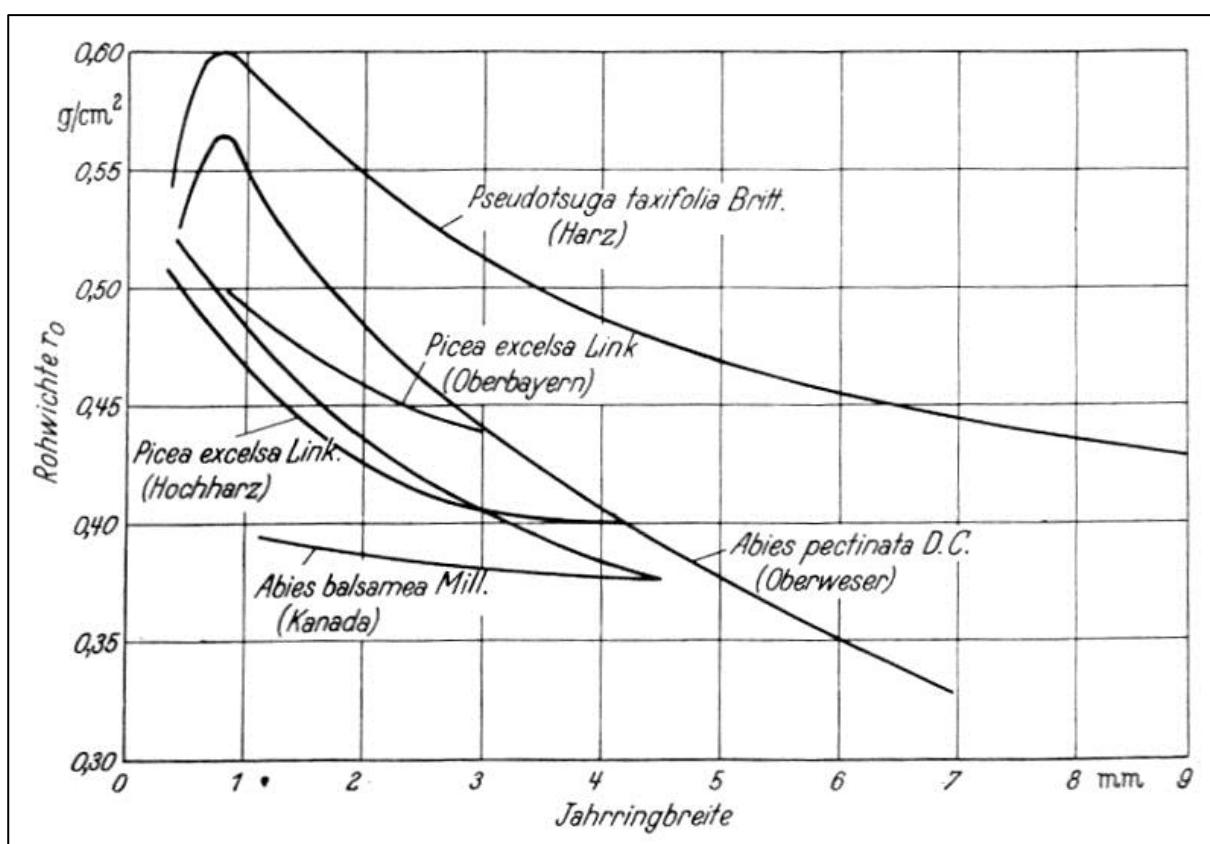


Abbildung 5: Zusammenhang zwischen Jahrringbreite und Rohwichte für Douglasie (*Pseudotsuga*), Fichte (*Picea*) und Tanne (*Abies*). Entworfen nach Messungen von G.H. Rochester und R. Trendelenburg, aus: Kollmann (1951), S. 248, Bild 247



Abbildung 6: Die Leisten verdeutlichen den Faserverlauf im Stamm entlang eines Astes. Die Nägel werden dabei durch die Holzstrahlen gebildet. Aus: Mattheck (2010), S. 95

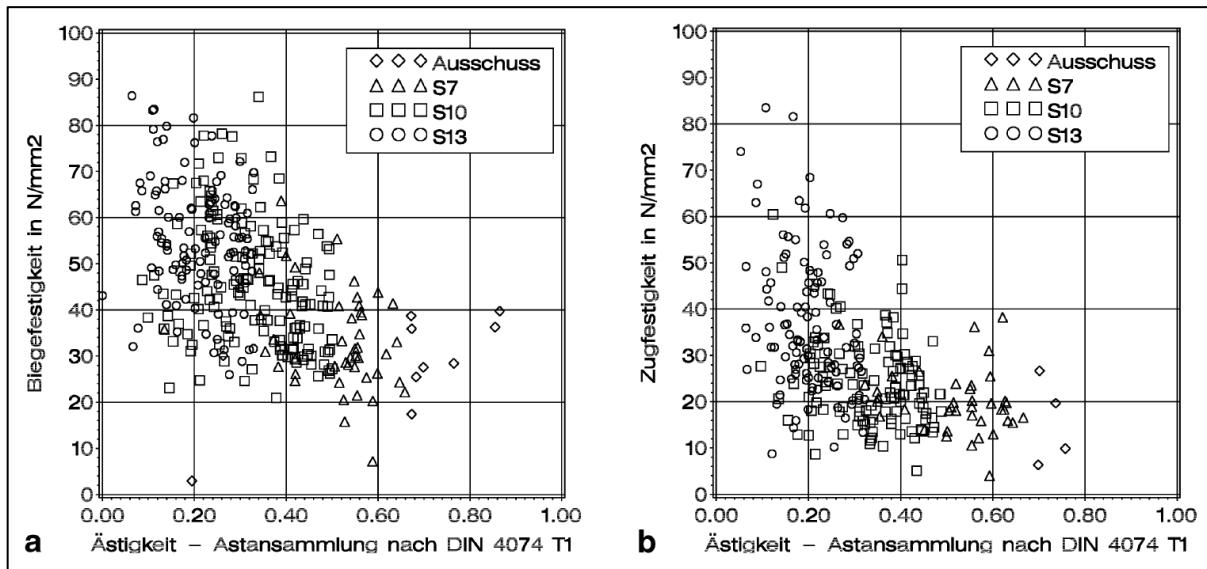


Abbildung 7: a) Biegefestigkeit und b) Zugfestigkeit von Brettlamellen in Abhängigkeit von der Ästigkeit - Astansammlung. Aus: Blaß und Frese (2004), S. 328

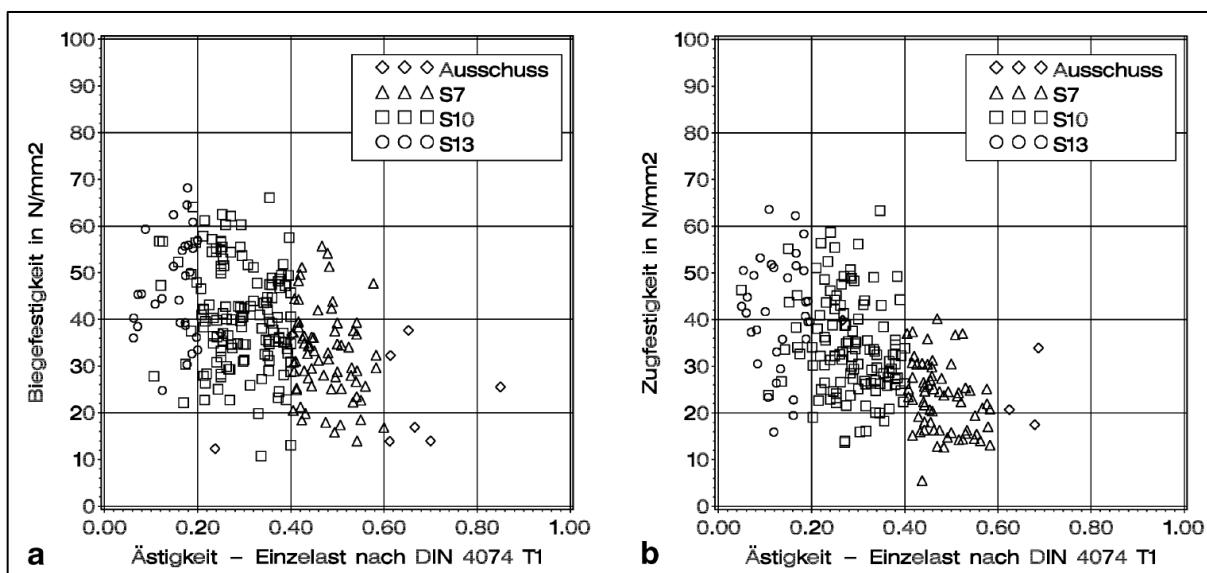


Abbildung 8: a) Biegefestigkeit und b) Zugfestigkeit von Kanthölzern in Abhängigkeit von der Ästigkeit – Einzelast. Aus: Blaß und Frese (2004), S. 329

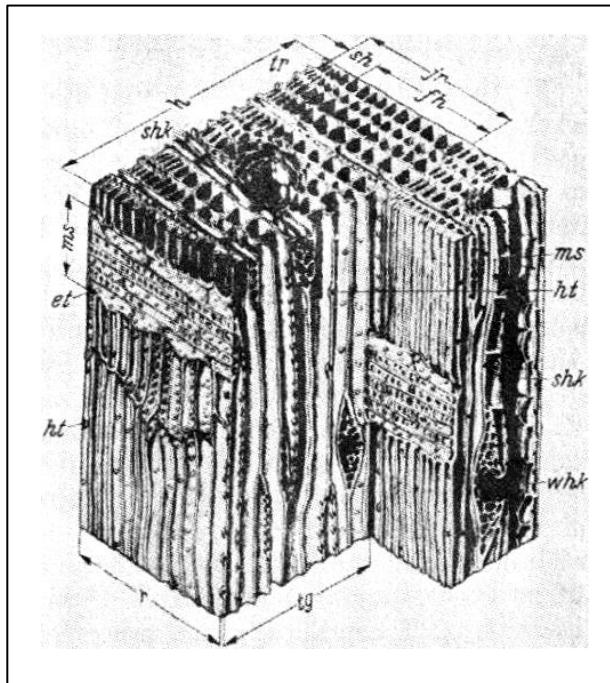


Abbildung 9: Aufbau eines typischen Nadelholzes, et einfacher Tüpfel, fh Frühholz, h Hirnschnittfläche, hat Hoftüpfel, jr Jahrring, ms Markstrahl, r Radialschnittfläche, sh Spätholz, shk senkrechter Harzkanal, tg Tangentialschnittfläche, tr Tracheiden, whk waagerechter Harzkanal. Nach US. Forest Products Laboratory, aus: Kollmann (1951), S. 17, Bild 24

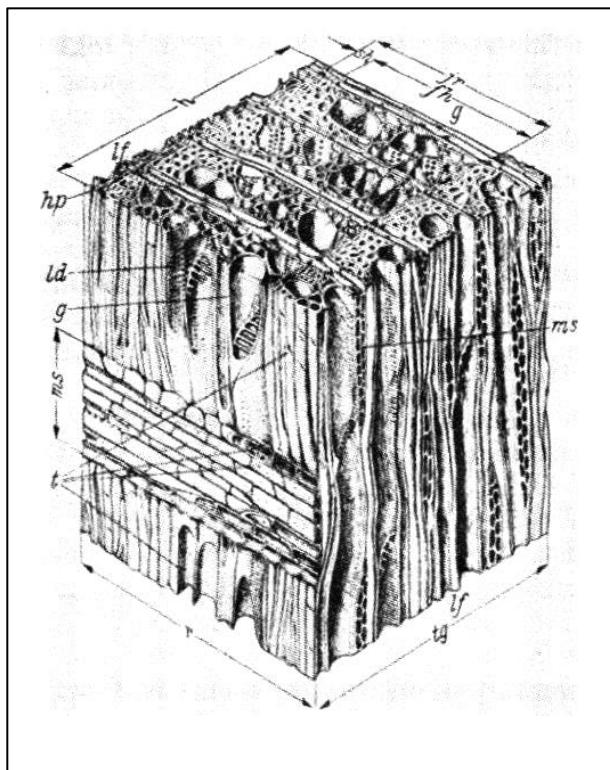


Abbildung 10: Aufbau eines typischen Laubholzes, fh Frühholz, e Gefäß, h Hirnschnittfläche, hp Holzparenchym, jr Jahrring, jd Leiterförmige Durchbrechung der Gefäßwände, ls Libriformfaser, ms Markstrahl, r Radialschnittfläche, sh Spätholz, tg Tangentialschnittfläche, p Tüpfel. Nach US. Forest Products Laboratory, aus: Kollmann (1951), S. 17, Bild 24

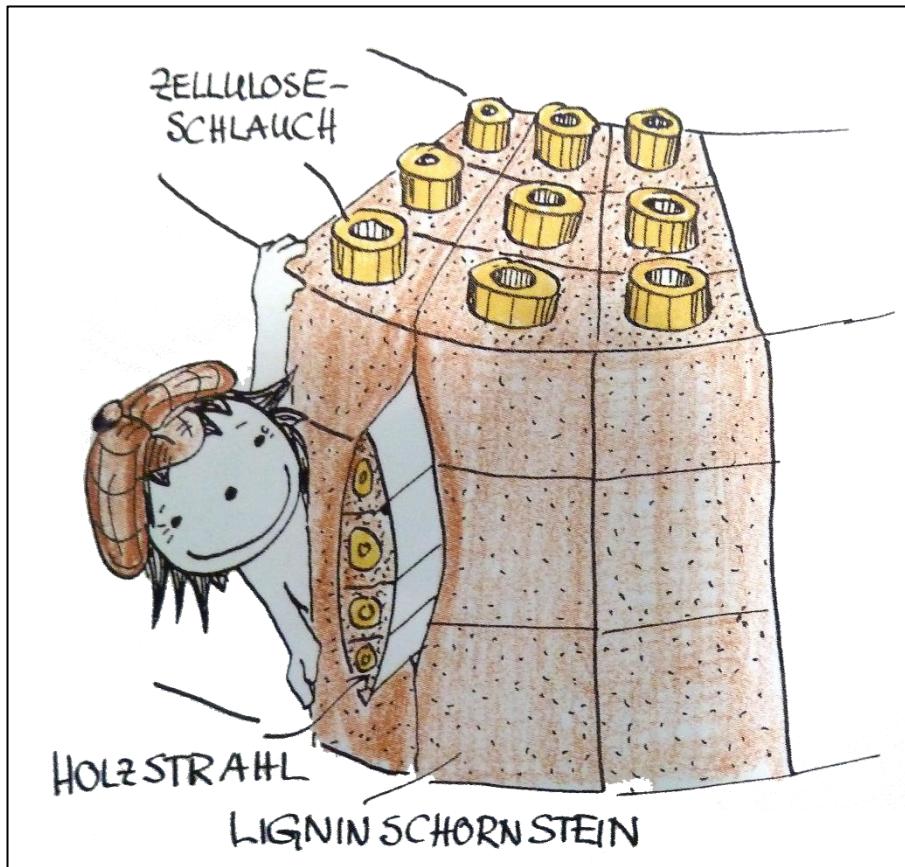


Abbildung 11: Vereinfachte Darstellung zum Holzaufbau, aus Mattheck (2010), S. 85

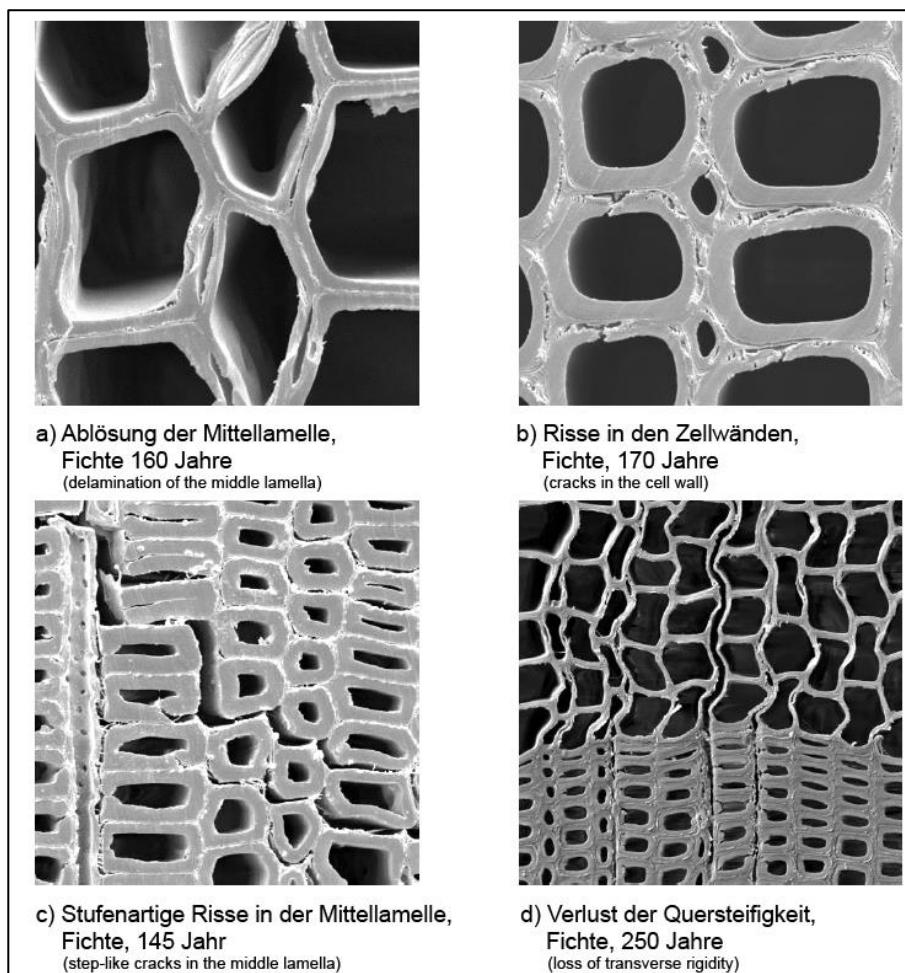


Abbildung 12: REM Aufnahmen geschädigter Microstruktur von gealtertem Fichtenholz. In Klammern steht die originale Unterschrift. Aus: Kránitz (2014), S. 92

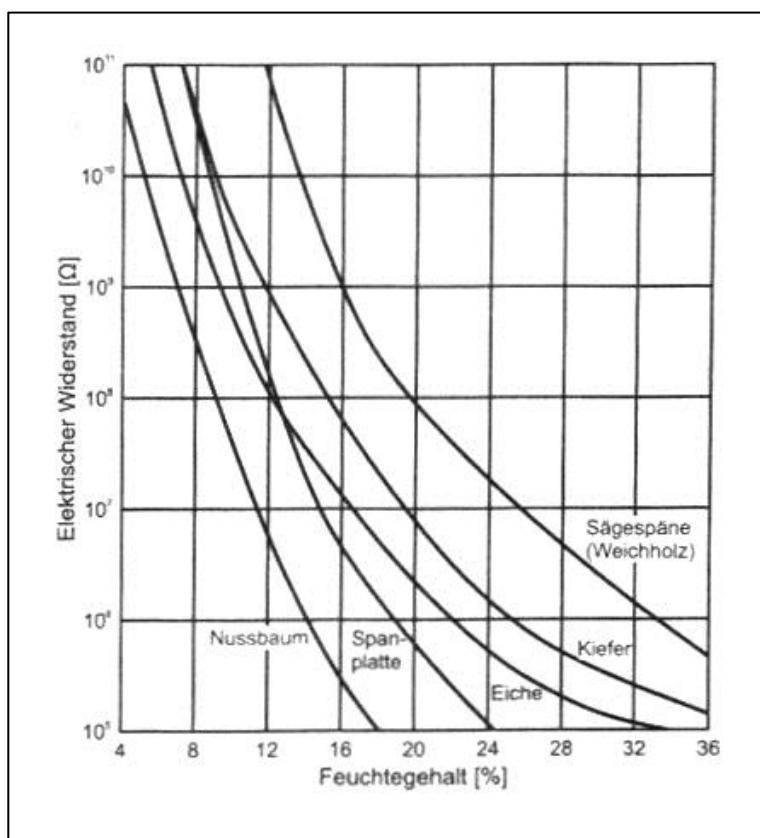


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen elektrischem Widerstand und Feuchtegehalt. Aus: Niemz und Sondergger (2017), S. 120

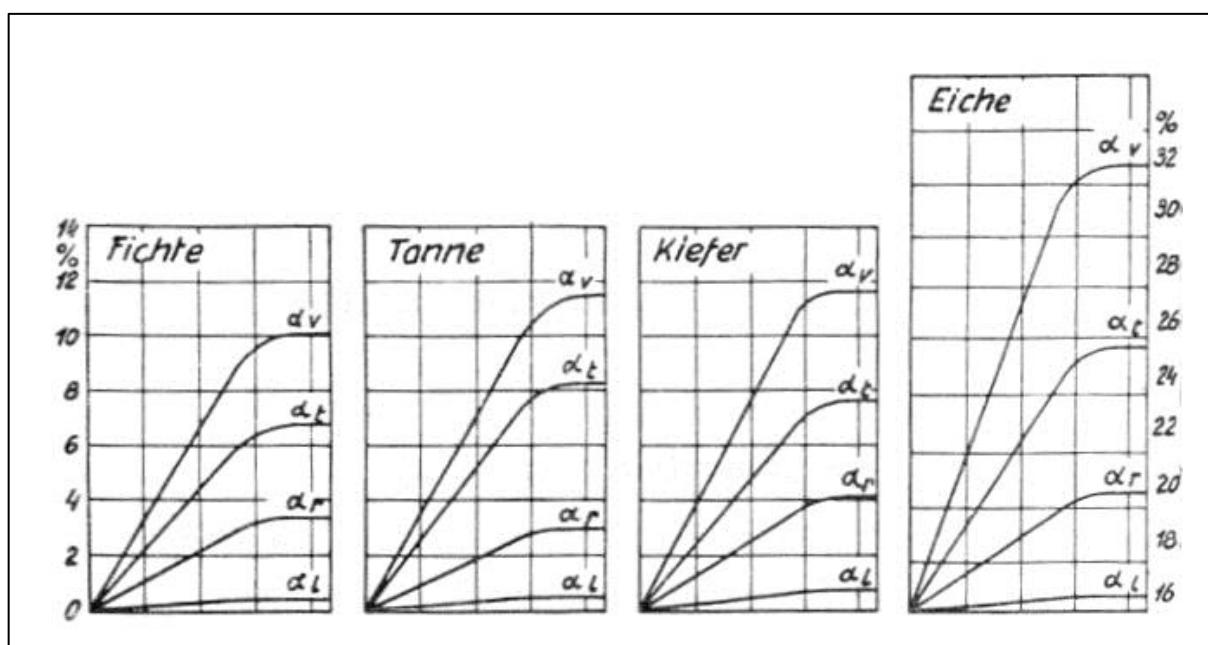


Abbildung 14: Abhängigkeit und Verlauf der Quellung mit verschiedenen Holzfeuchten. α_l längs, α_r radial, α_t tangential, α_v Volumenänderung. Nach E. Mörath, aus: Vorreiter (1949), S. 164, Abb 27

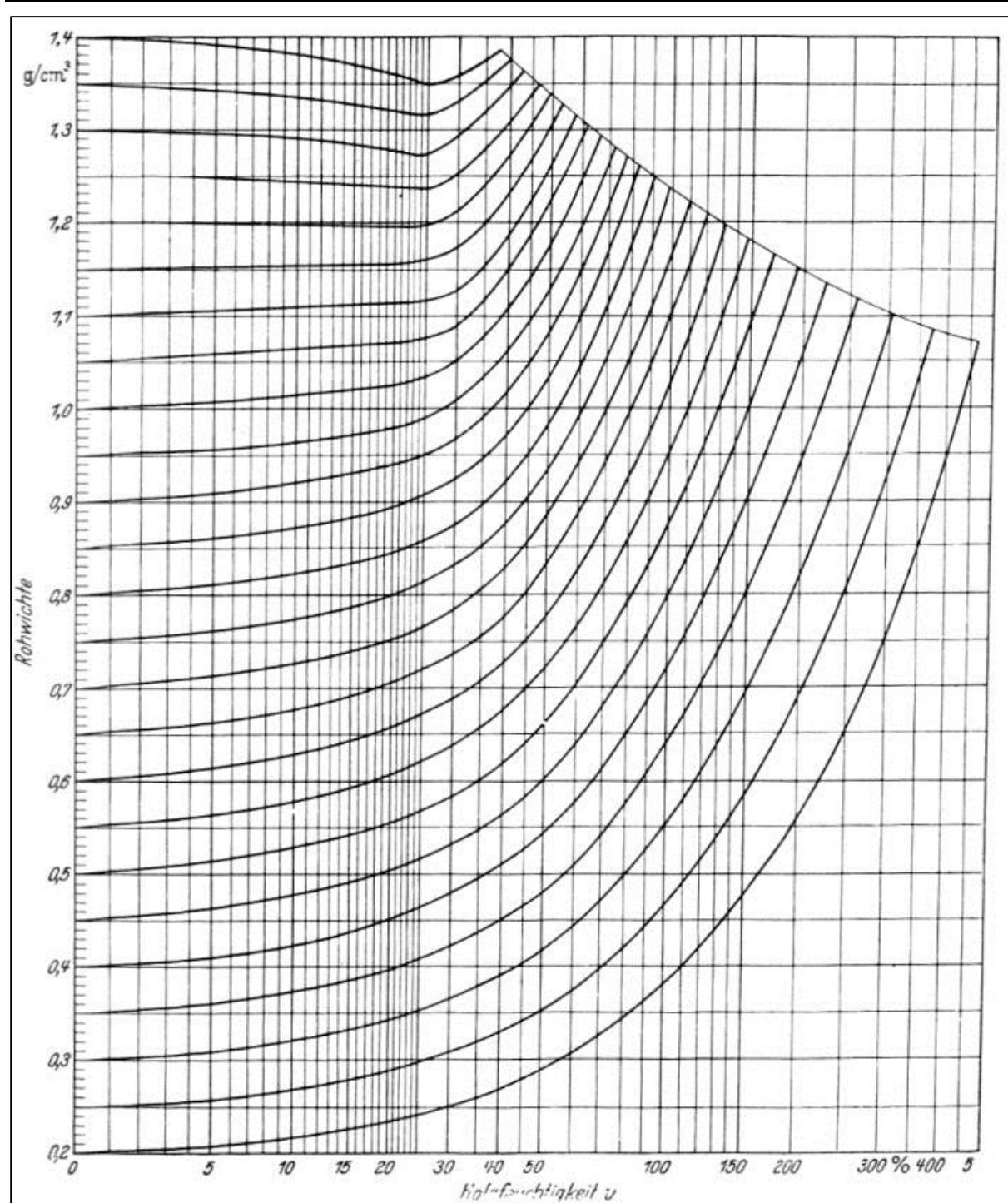


Abbildung 15: Rohwichte- Feuchtigkeits- Schaubild für Holz. Aus: Kollmann (1951), S. 337, Bild 237

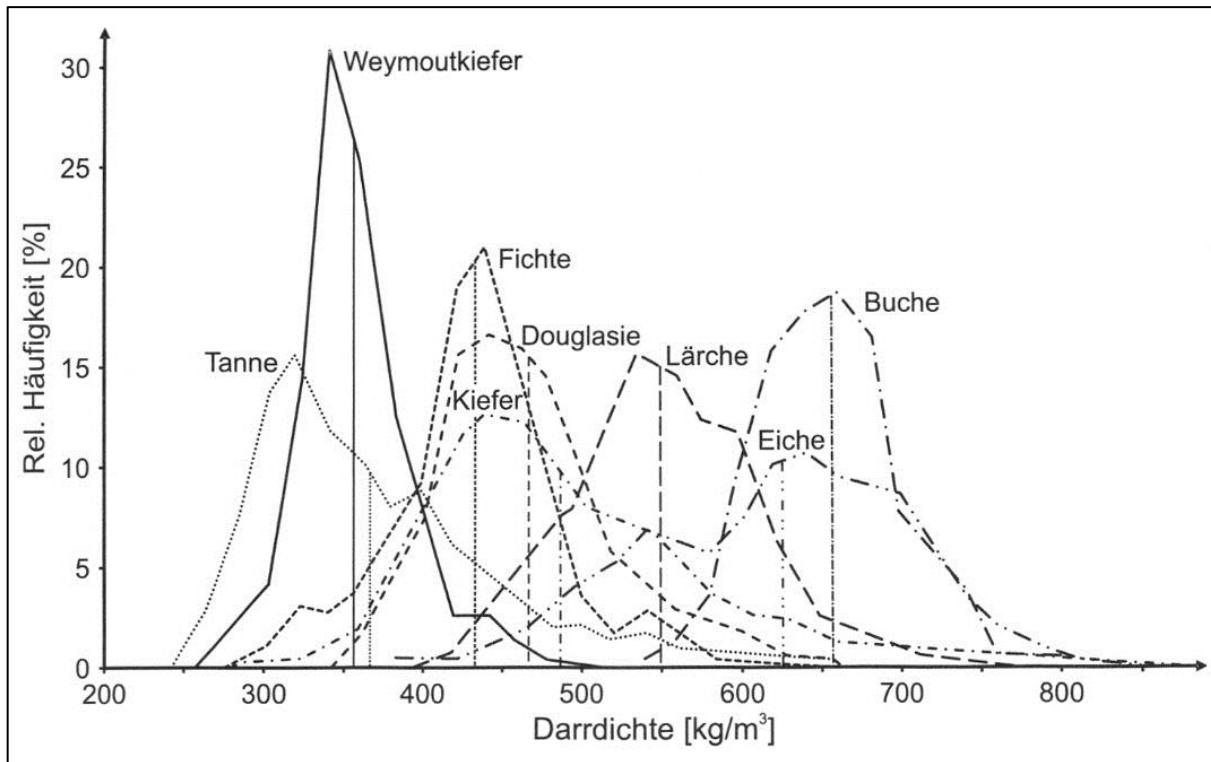


Abbildung 16: Häufigkeitsverteilung der Darrdichte verschiedener Holzarten. Nach Knigge & Schulz (1966), aus: Niemz und Sonderegger (2017), S. 145, Bild 6.4

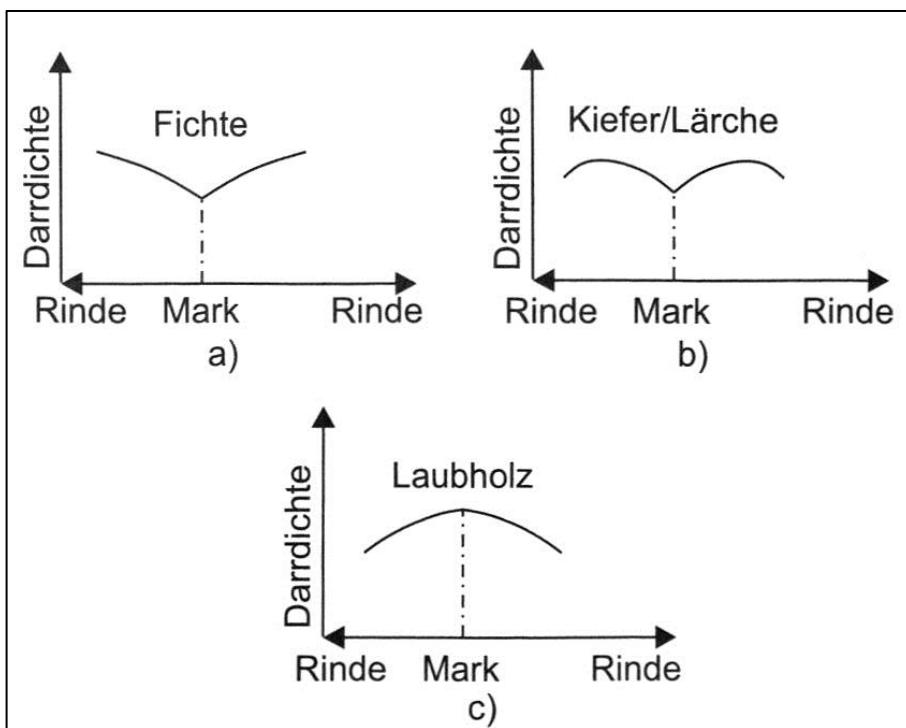


Abbildung 17: Verteilung der Darrdichte über den Querschnitt. a) Fichtentyp; b) Kieferntyp, c) Laubholztyp. Nach Mette (1984), aus: Niemz und Sonderegger (2017), S. 148, Bild 4.8.

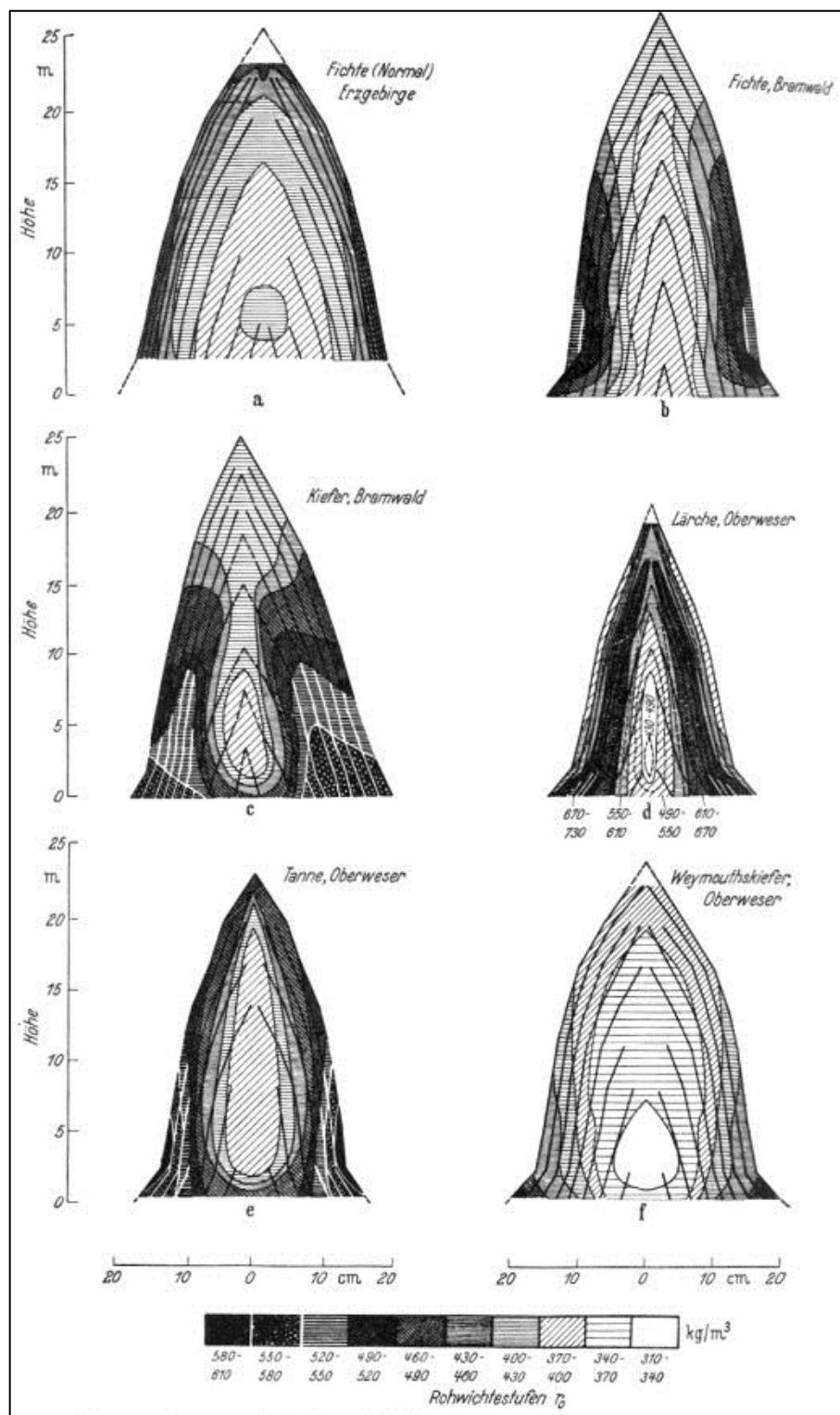


Abbildung 18: Gruppen- Stammwuchsbilder a) Fichte normal aus dem Erzgebirge; b) Fichte aus dem Bramwald; c) Kiefer aus dem Bramwald; d) Lärche von der Oberweser; e) Tanne von der Oberweser; f) Weymouthskiefer von der Oberweser. Nach E. Volkert, aus: Kollmann (1951), S. 354, Bild 255

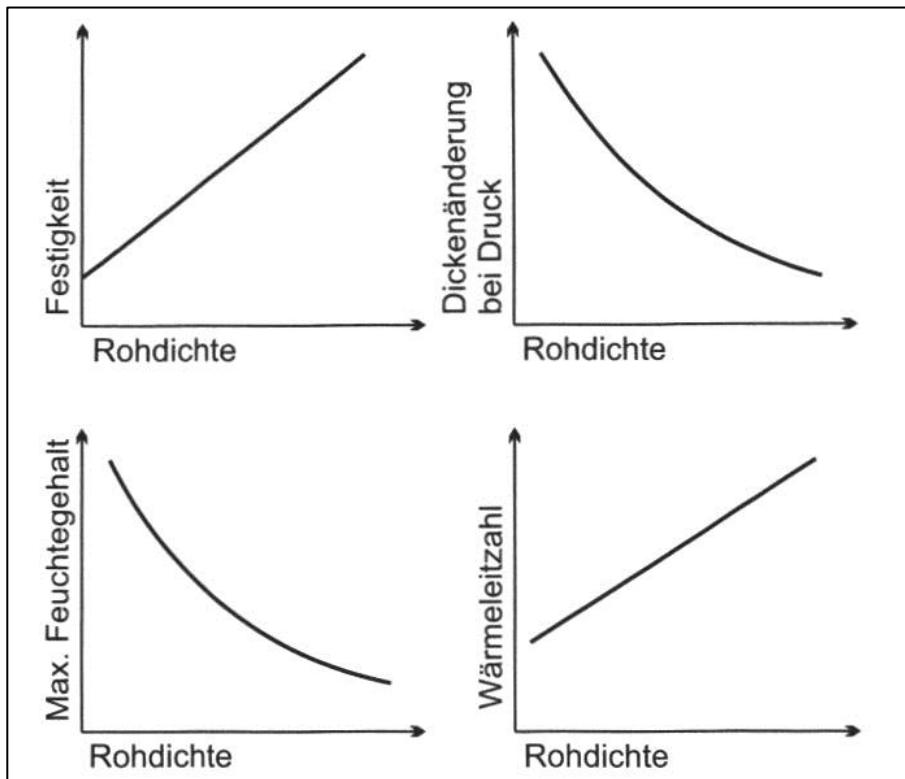


Abbildung 19: Schematische Darstellung des Einflusses der Rohdichte auf ausgewählte Eigenschaften von Holz und Holzwerkstoffen. Aus: Niemz und Sonderegger (2017), S. 161, Bild 6.22.

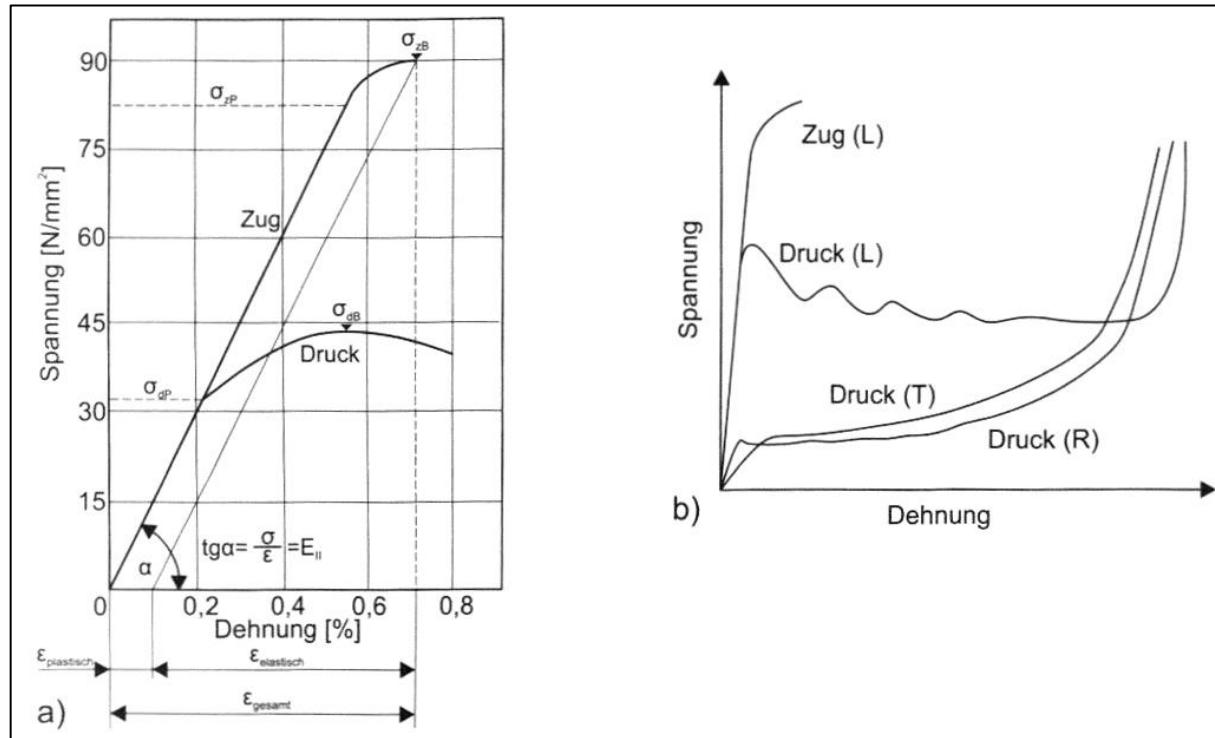


Abbildung 20: Spannungs-Dehnungs-Diagramm von Vollholz. a) Spannungs-Dehnungs-Diagramm von Vollholz bei Zug- und Druckbelastung in Faserrichtung. b) schematische Darstellung bei Zug und Druck parallel und senkrecht zur Faserrichtung. Aus: Niemz und Sonderegger (2017), S. 269, Bild 13.2

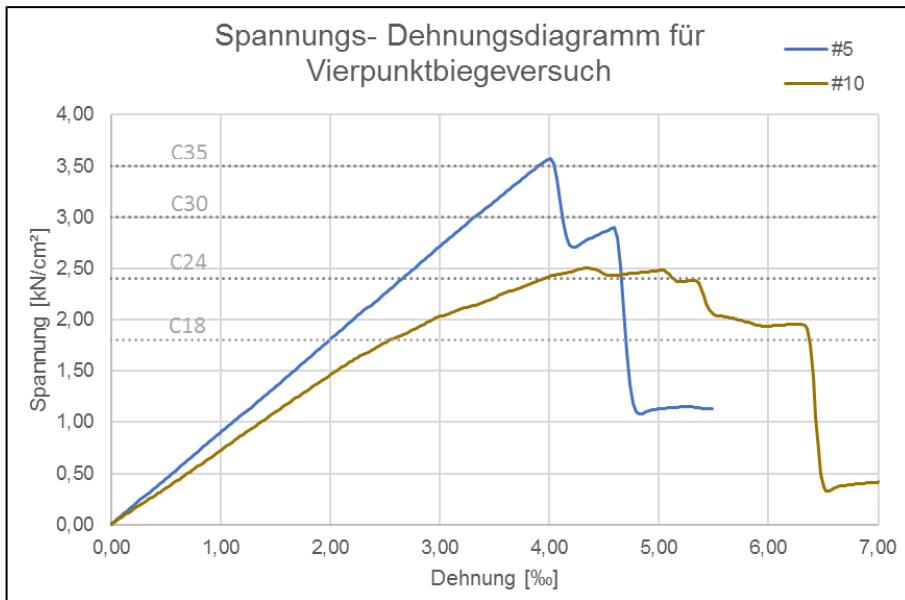


Abbildung 21: Spannung-Dehnungsdiagramm für Biegung. Aus: eigenen Biegeversuchen Balken Nr. 5 und 10.

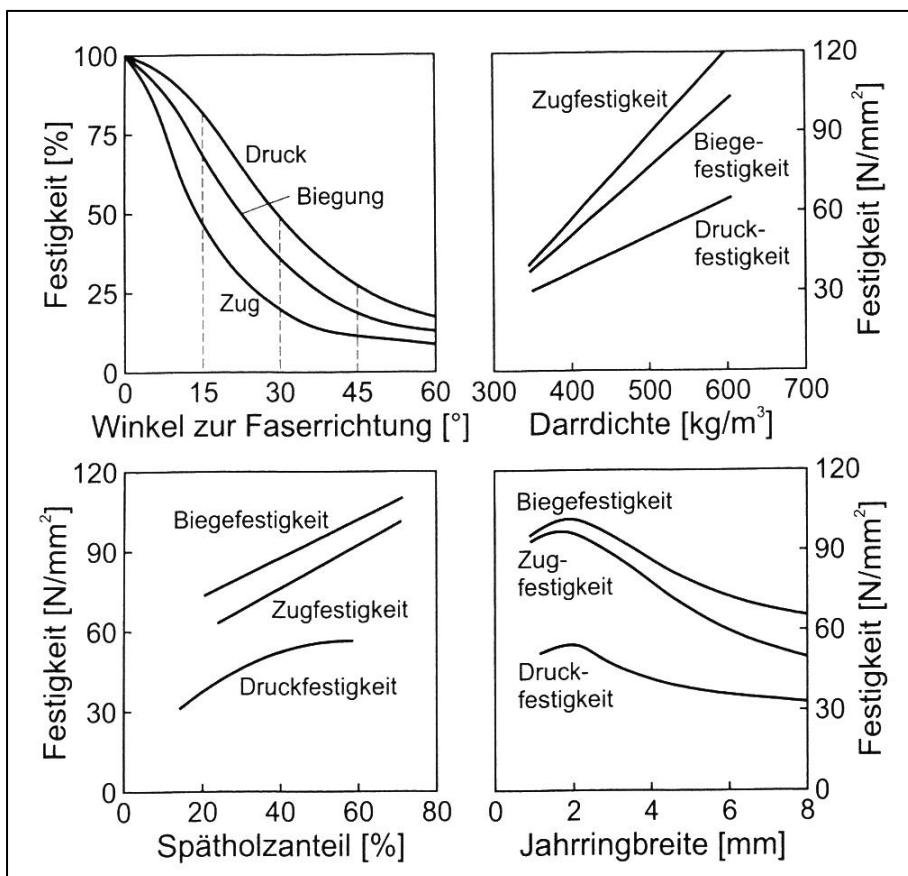


Abbildung 22: Wesentliche strukturelle Einflussfaktoren auf verschiedene Eigenschaften von Douglasie. Aus: Knigge & Schulz (1966) aus Niemz und Sonderregger (2017), S. 341, Bild 14.3

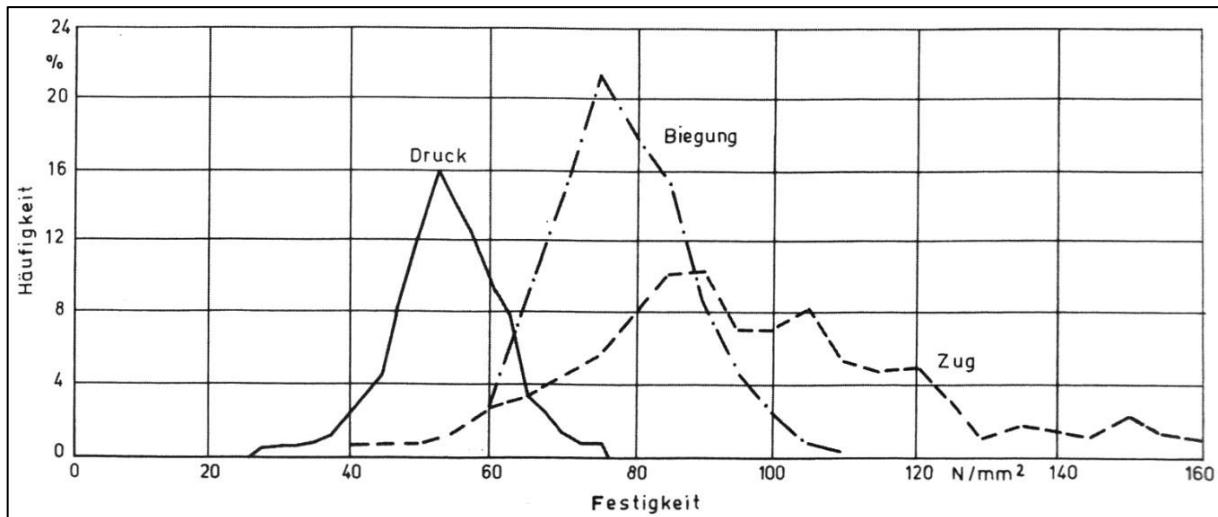


Abbildung 23: Häufigkeitsverteilung der Biege-, Druck- und Zugfestigkeit von Fichte. Von H. Klemm zitiert in Niemz und Sonderegger (2017), S. 344, Bild 14.7

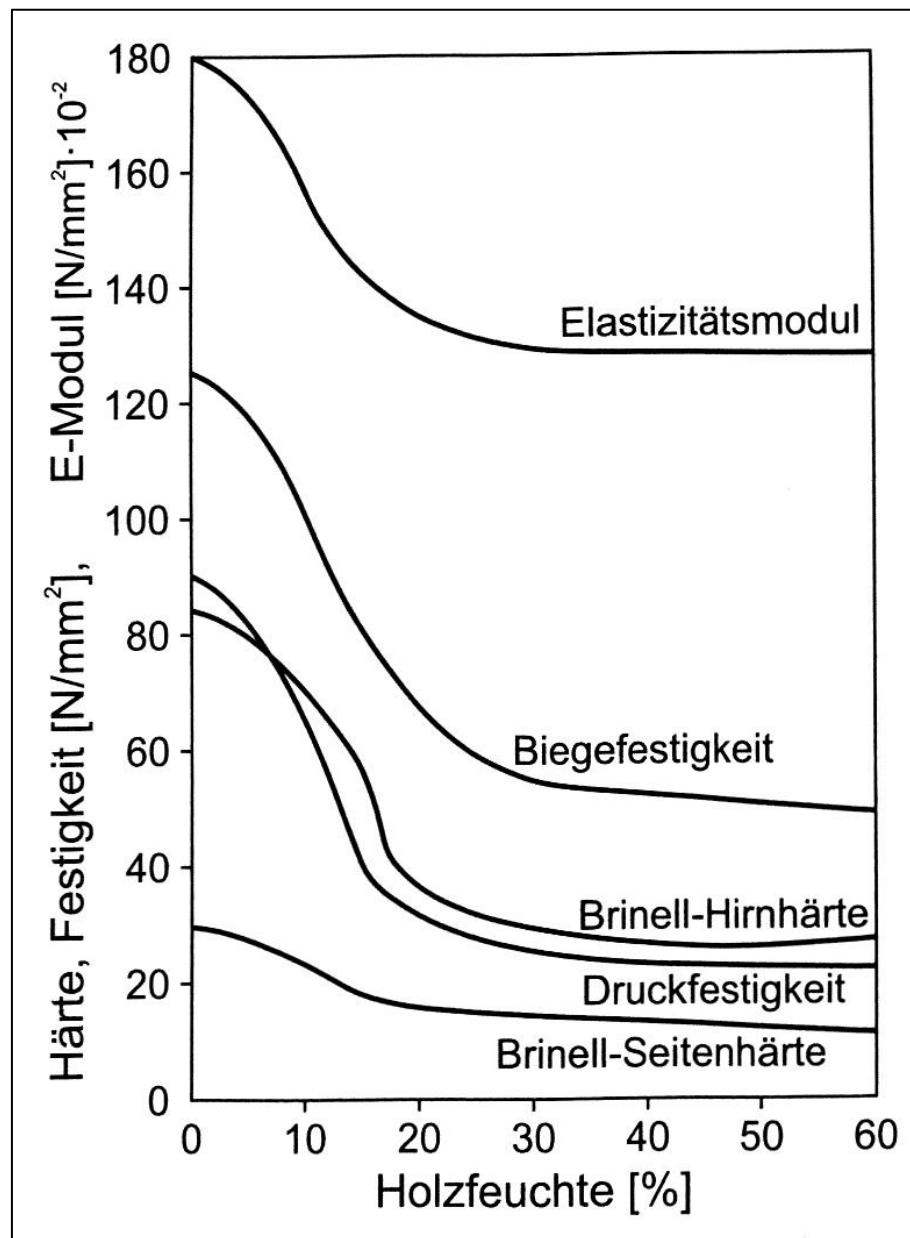


Abbildung 24: Einfluss der Feuchtigkeit auf die Eigenschaften von Fichtenholz. Aus: Kollmann (1951) zitiert in Niemz und Sonderegger (2017), S. 345, Bild 14.8

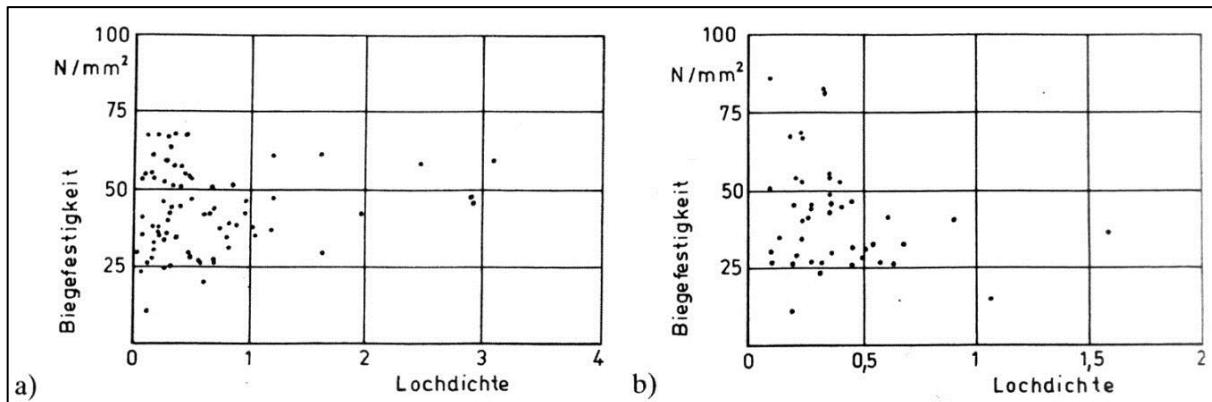


Abbildung 25: Biegefesteitigkeit von Fichtenholz in Abhängigkeit von der Lochdichte bei Insektenbefall. a) Borkenkäfer-Befall, b) Holzwespen-/Fichtenbock-Befall. Aus: Niemz und Sonderegger (2017), S. 350, Bild 14.12

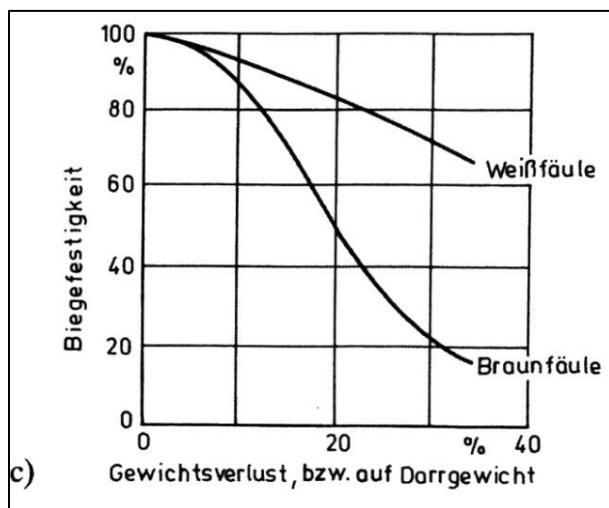


Abbildung 26: Biegefesteitigkeit von Fichtenholz in Abhängigkeit von dem Masseverlust bei Pilzbefall. Aus: Niemz und Sonderegger (2017), S. 350, Bild 14.12

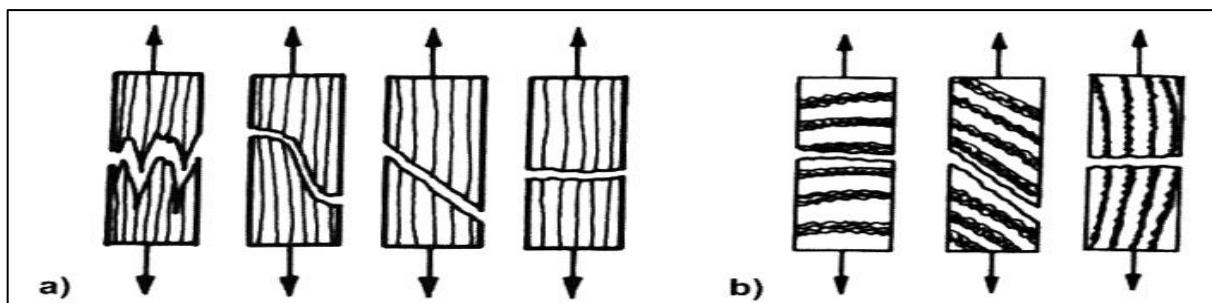


Abbildung 27: Typische Bruchbilder bei der Prüfung der Zugfestigkeit von Holz. a) In Faserrichtung, b) senkrecht zur Faserrichtung. Nach Bodig & Jayne (1993) zitiert in Niemz und Sonderegger (2017), S. 380, Bild 14.40

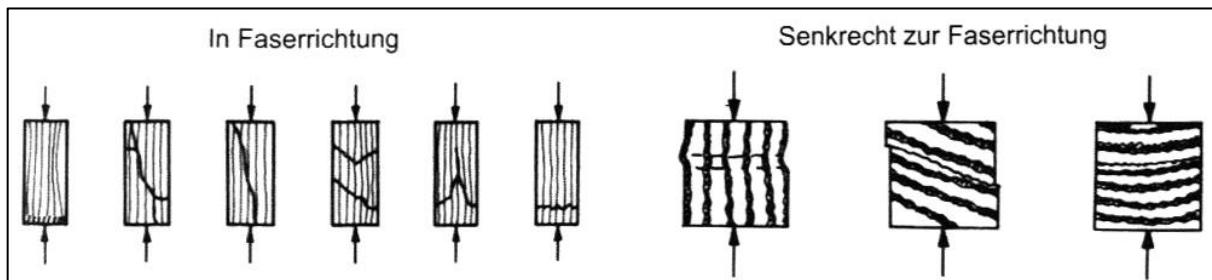
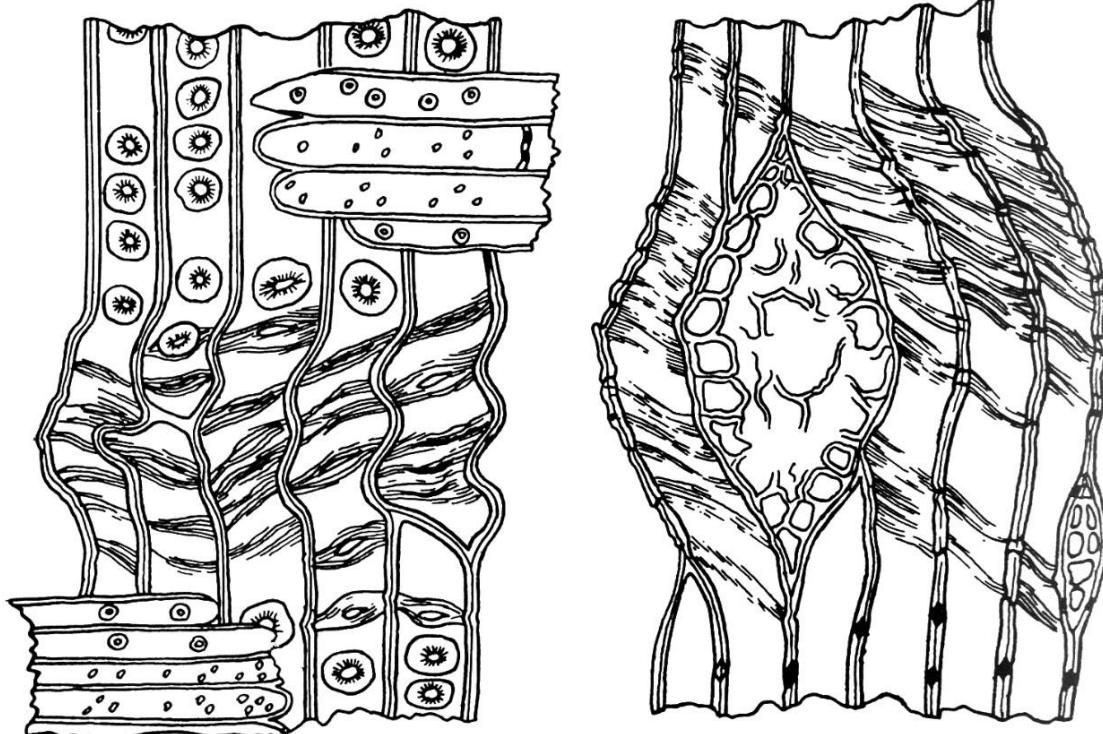
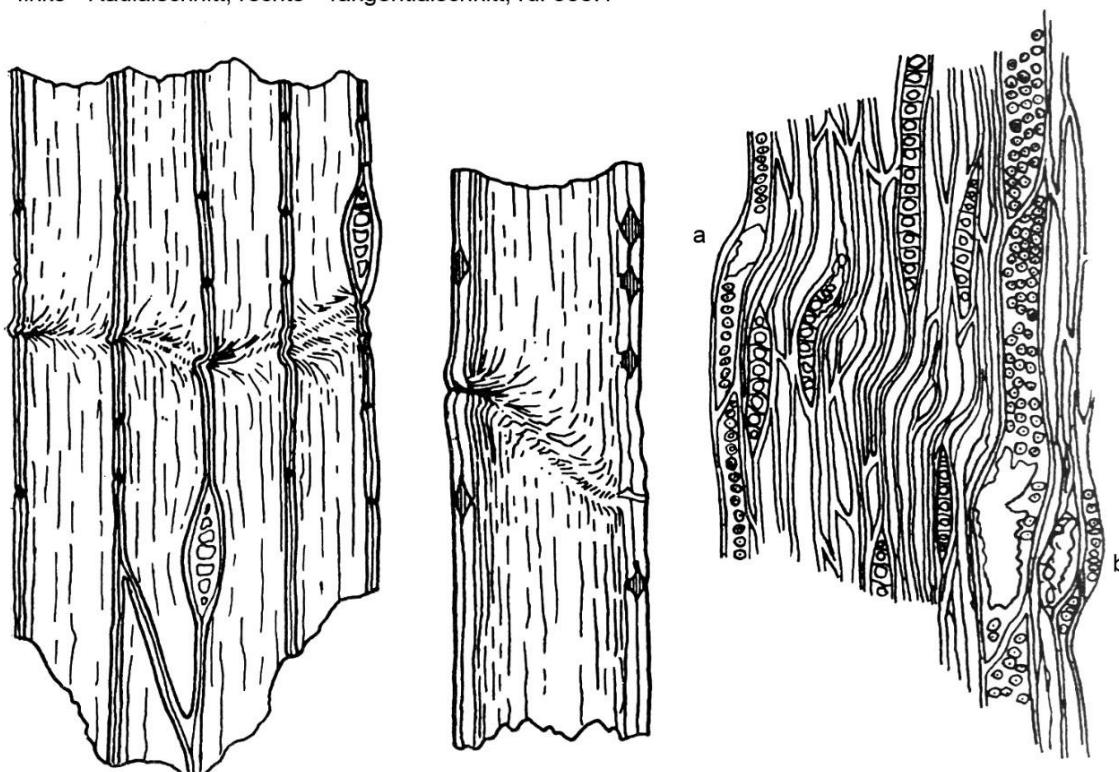


Abbildung 28: Typische Bruchbilder bei der Prüfung der Druckfestigkeit. Nach Bodig & Jayne (1993) zitiert in Niemz und Sonderegger (2017), S. 383, Bild 14.42

Trockenes Fichtenholz (*Picea rubra* Link)

Die Bruchstellen gehen von den hoftpfeln aus, Faltenbildung der Zellwände.
links - Radialschnitt, rechts - Tangentialschnitt, rd. 300:1



Trockenes Fichtenholz (*Picea rubra* Link)
links - Bruchansatz durch Ausbeulen (Knicken) der
Zellwandung, rd. 300:1, Mitte - Bruchbild einer
einzelnen Tacheide, rd. 600:1,

trockenes Kastanienholz (*Castanea dentata* Borkh.)
Die Beulstellen der Fasern liegen zusammen
auf einer Gleitschicht in Richtung der größten
Schubbeanspruchung a-b, rd. 150:1

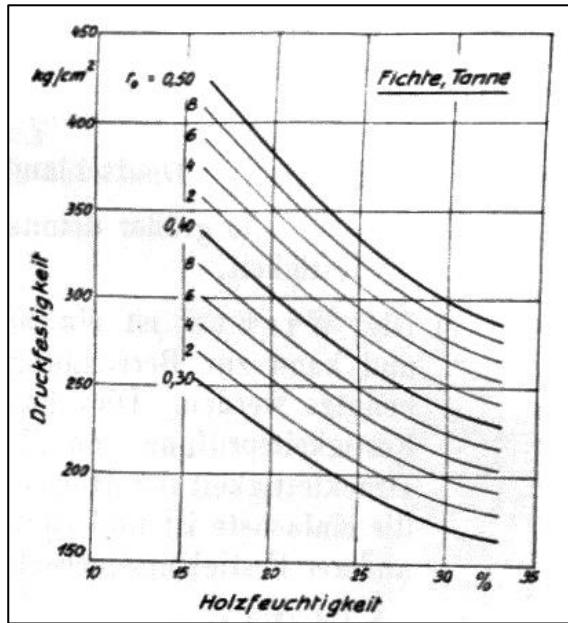


Abbildung 30: Beziehung zwischen der Längsdruckfestigkeit, Darrwichte und Feuchte von Tanne und Fichte. Nach E. Staudacher zitiert in Vorreiter (1949), S. 253, Abb. 63

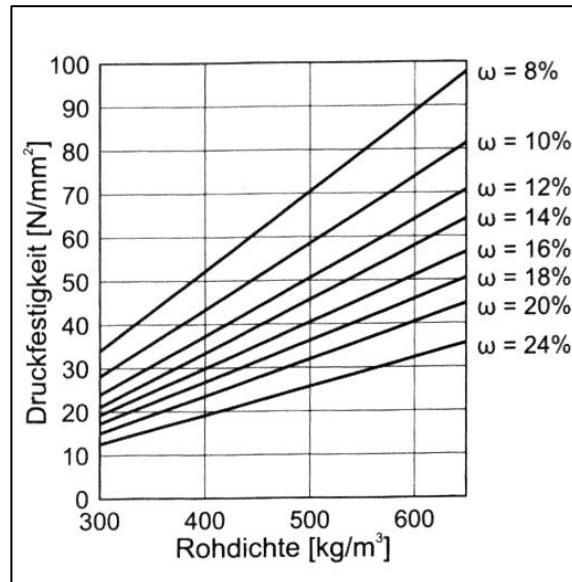


Abbildung 31: Einfluss von Rohdichte auf die Druckfestigkeit von Weißkiefer. Aus: Vorreiter (1949), S. 253, Abb. 64 zitiert in Niemz und Sonderegger (2017), S. 384, Bild 14.43

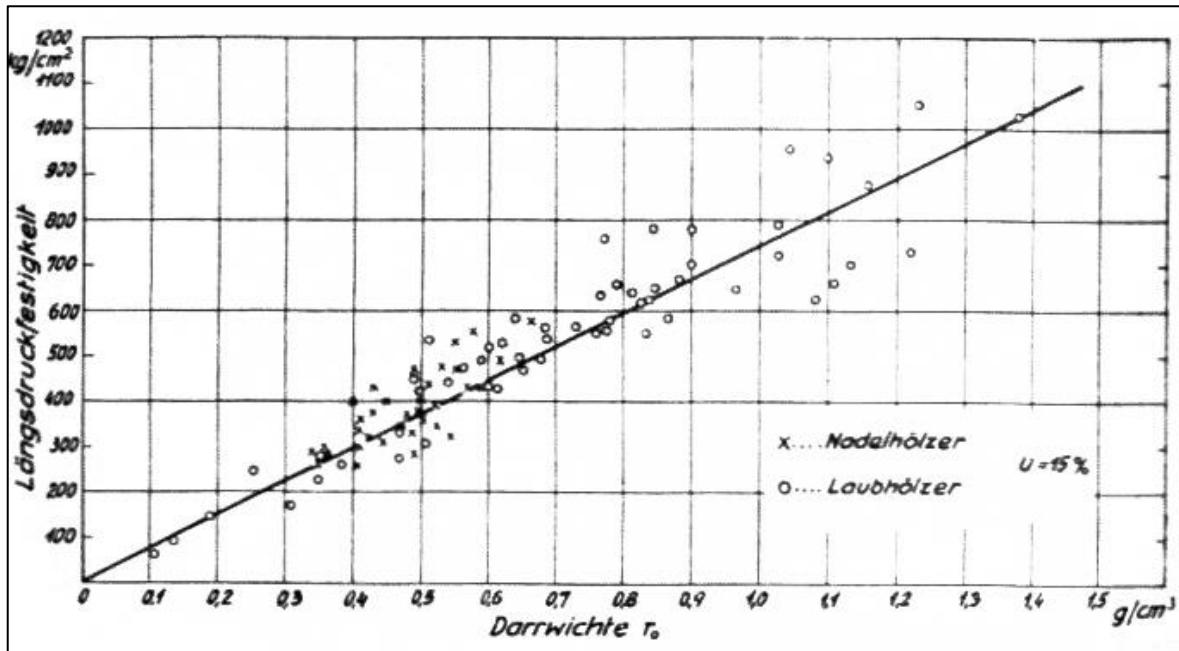


Abbildung 32: Abhängigkeit der longitudinalen Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt bis Fasersättigung nach Auswertung und Datenauswahl von Burmester (1965), zitiert in Baron (2009), S. 42, Abb. 20

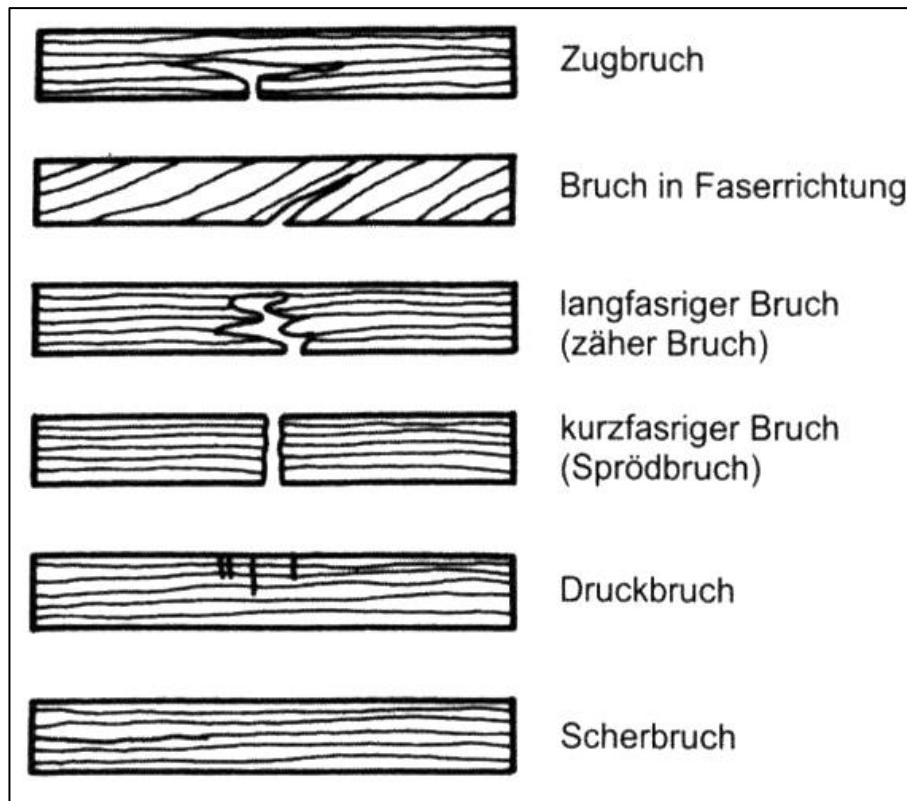


Abbildung 33: Typische Bruchbilder bei der Prüfung der Biegefestigkeit an Holz. Aus: Niemz und Sonderegger (2017), S. 385, Bild 14.45

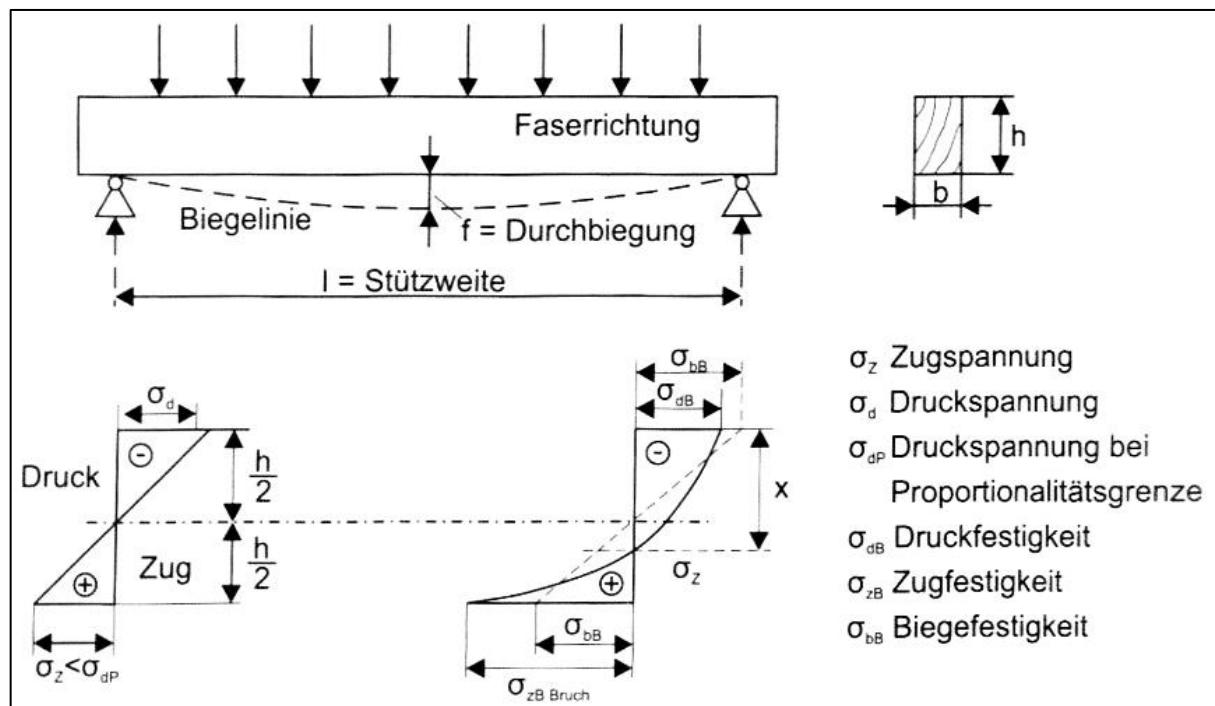


Abbildung 34: Spannungsverteilung über den Holzquerschnitt bei Biegung von Holz in Abhängigkeit von der Last (links: geringe Belastung unterhalb der Proportionalitätsgrenze; rechts: hohe Belastung deutlich über der Proportionalitätsgrenze). Aus: Niemz und Sonderegger (2017), S. 386, Bild 14.46

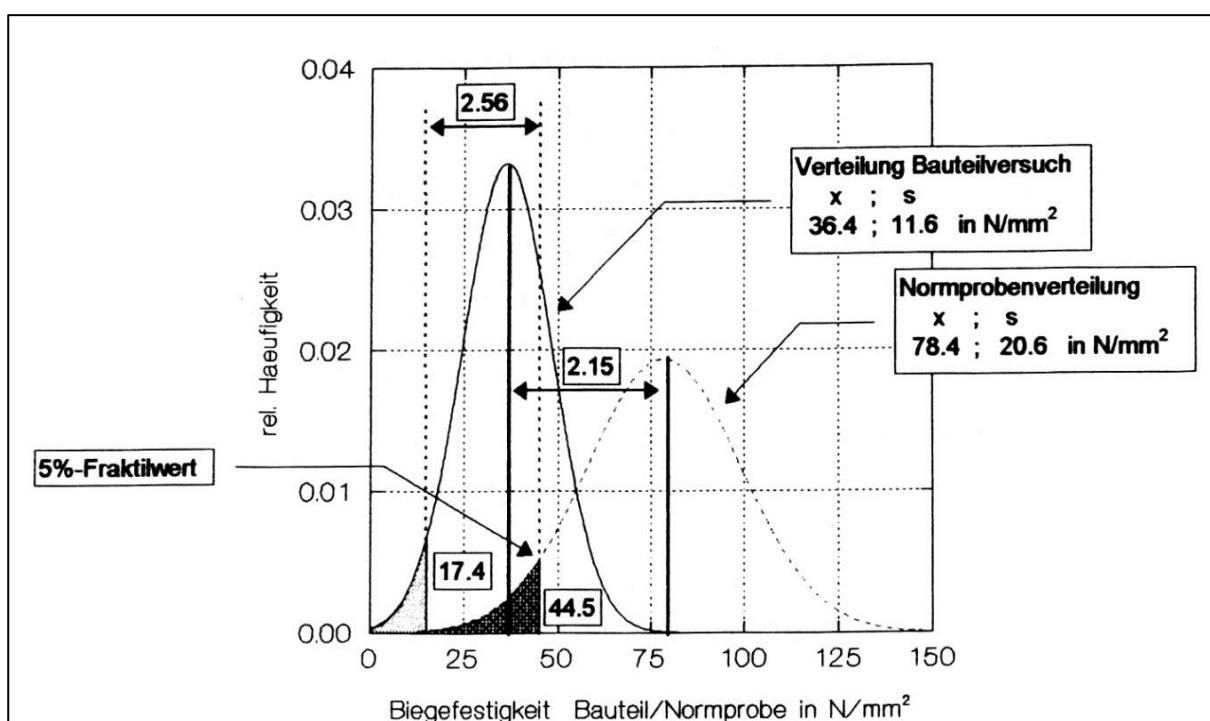


Abbildung 35: Verteilung der Biegefestigkeiten, Normprüfkörper und Bauteile. Aus: Nier (1994), S. 159.

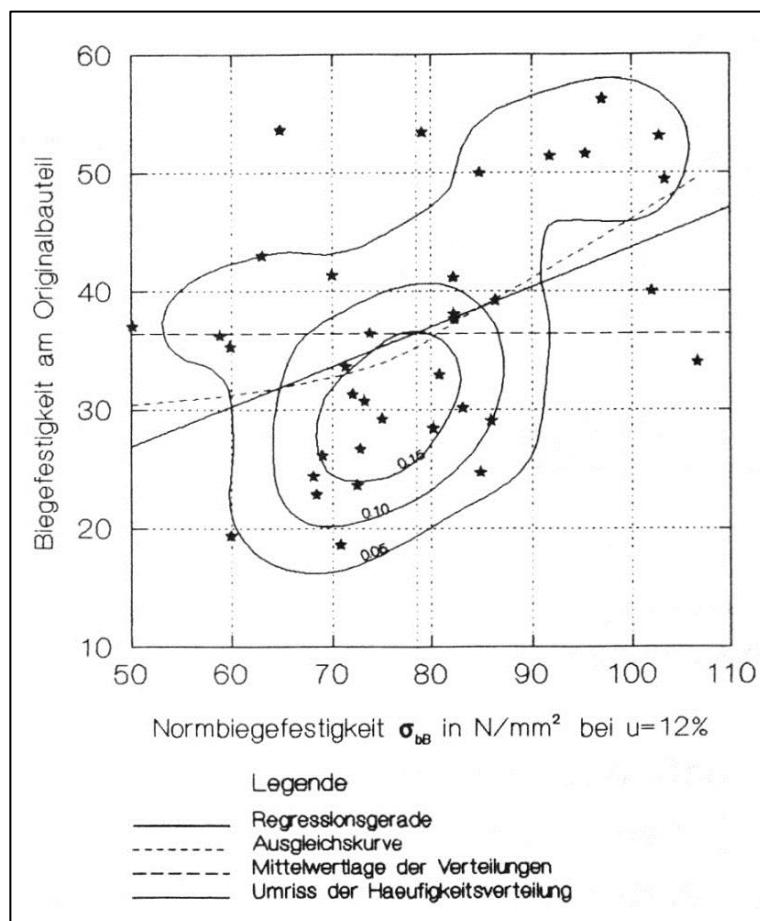


Abbildung 36: Zusammenhang zwischen der Biegefestigkeit des Bauteils und der Biegefestigkeit an der fehlerfreien Normprobenform. Aus: Nier (1994), S. 160

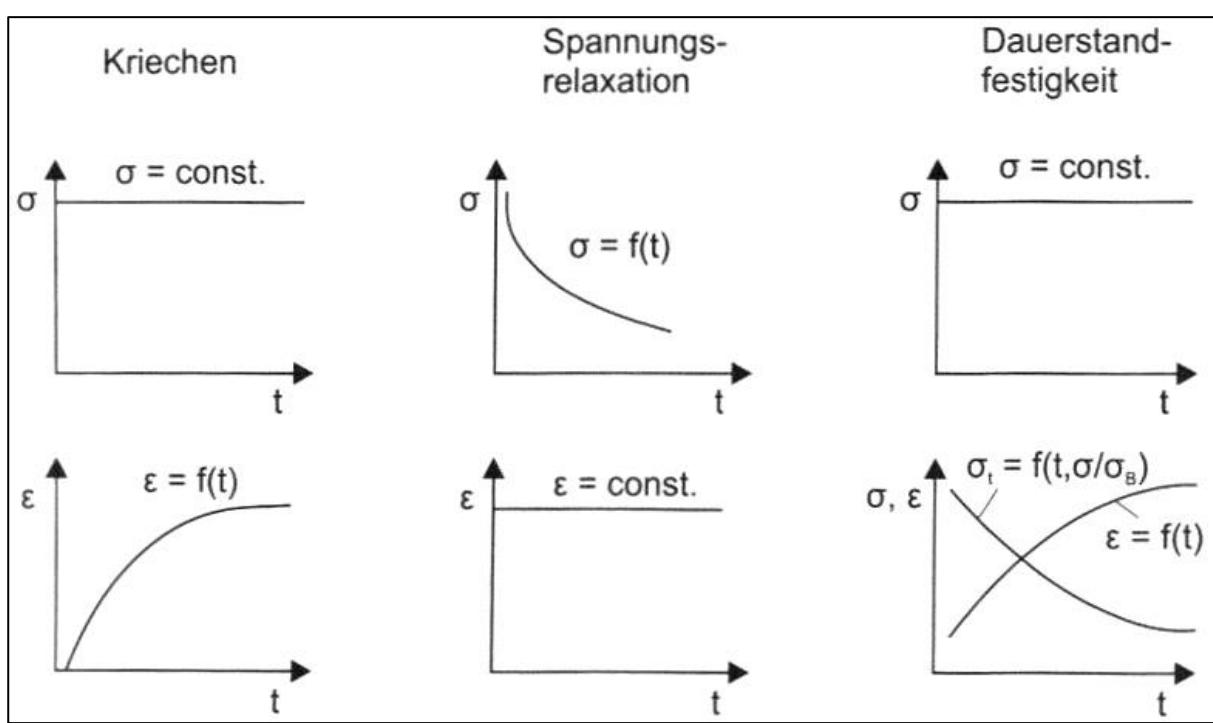


Abbildung 37: Systematik des rheologischen Verhaltens von Holz und Holzwerkstoffen bei statischer Beanspruchung. Aus: Niemz und Sonderegger (2017), S. 301, Bild 13.23

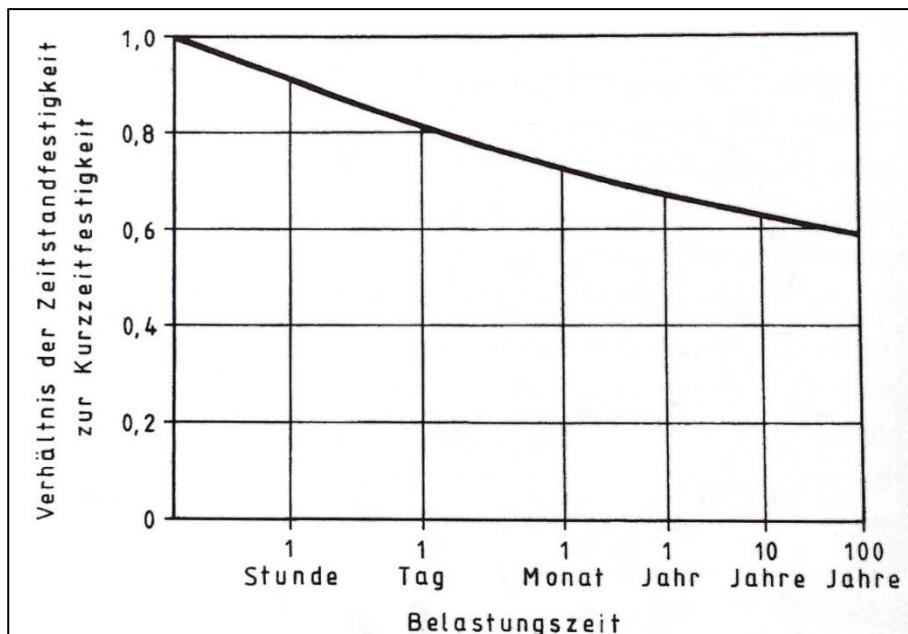


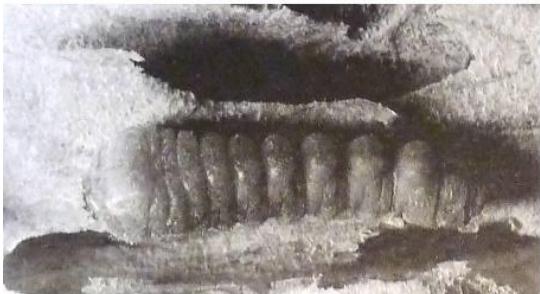
Abbildung 38: Zeitstandsfestigkeit: Abnahme der Festigkeit bezogen auf die im Kurzzeitversuch ermittelte Festigkeit mit zunehmender Belastungsdauer (logarithmische Zeitachse; in Anlehnung an die amerikanische Norm ASTM D245). Aus: Lohmann (2010), S. 1382



Hausbockkäfer. Pärchen (Weibchen links, Männchen rechts) auf Holz neben einem Flugloch.



Eigelege



Larve mit dunklem Mundwerkzeugen und ringförmigen Segmenten



Schadbild. Befall der Splintholzzone im verbauten Holz durch die Larve.



Nagespuren der Larven in den Fraßgängen



Schäden an Holzkonstruktionen

Abbildung 39: Hausbockkäfer. Aus: Lohmann (2010), S. 522



Gewöhnlicher Nagekäfer (*Anobium punctatum*) mit kapuzenartig über den Kopf gezogenem Halsschild und Punktreihen auf den Flügeldecken.
Rechts: Typische Larvenform

Abbildung 40: Gewöhnlicher Nagekäfer. Aus: Lohmann (2010), S. 471

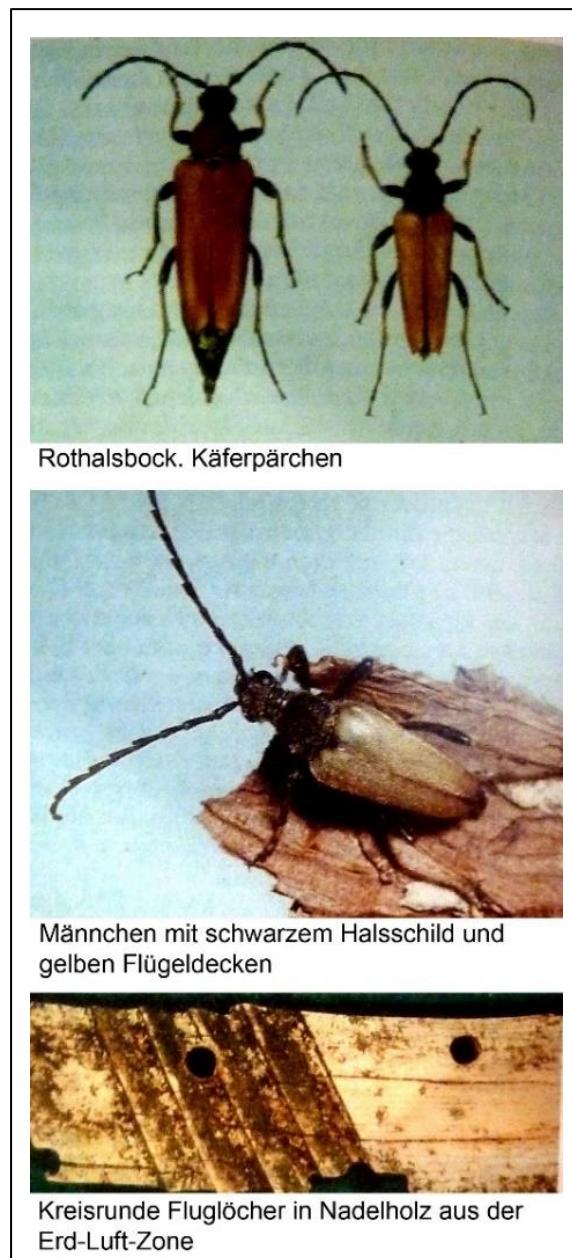


Abbildung 41: Splintholzkäfer. Aus: Lohmann (2010), S. 1145

Abbildung 42: Rothalsbock. Aus: Lohmann (2010), S. 1012

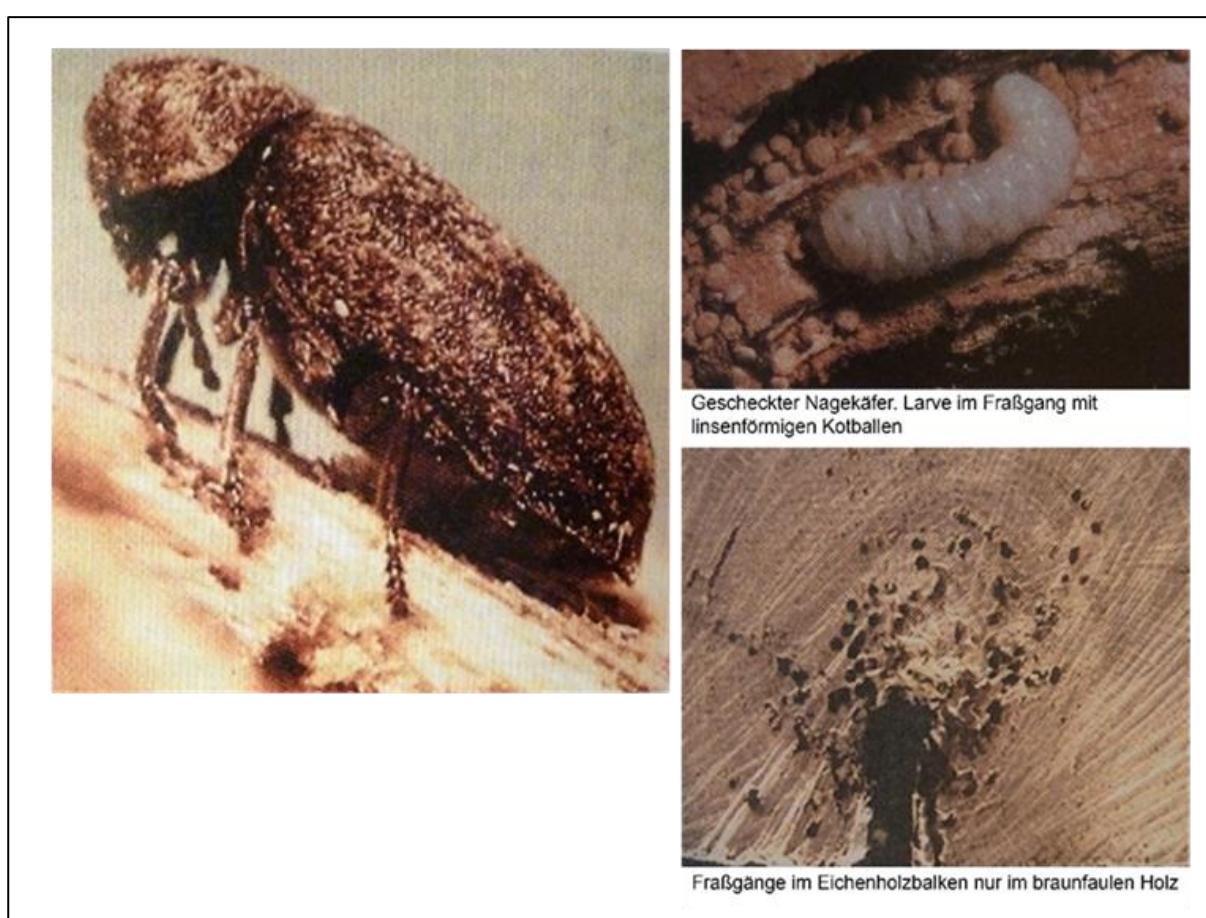


Abbildung 43 Gescheckter Nagekäfer. Aus: Lohmann (2010), S. 465

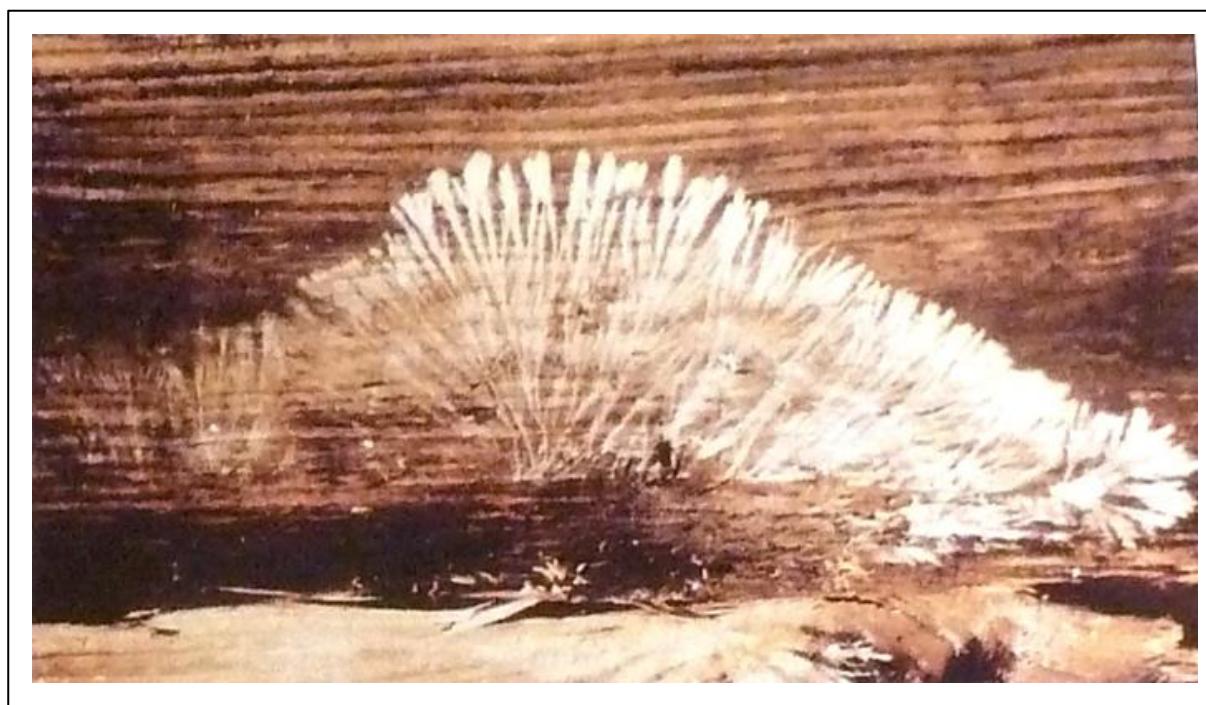


Abbildung 44: Weißer Porenschwamm. Eisblumenartiges Oberflächenmyzel. Aus: Erler (2004), S. 67



Abbildung 45 Echter Hausschwamm.

Oben: Lappenartiges Myzel und Fruchtkörper mit weißem Zuwachsrand.

Unten links: frischer Fruchtkörper mit braunen Sporen und weißem Zuwachsrand.

Unten rechts: Vom Echten Hausschwamm hinterwachsene Wandpanelle, links im Bild aufgewölbte Paneel Bretter. Aus: Erler (2004), S. 65

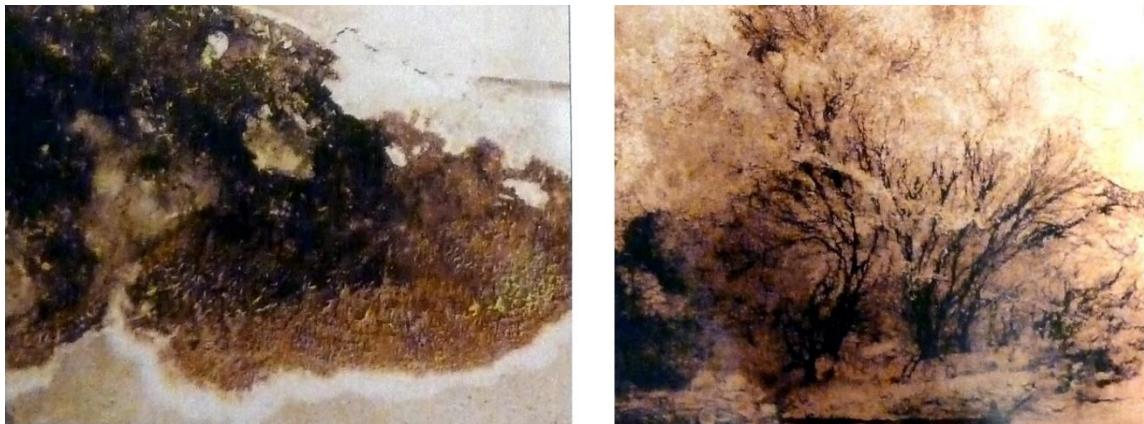


Abbildung 46: Brauner Keller- oder Warzenschwamm.
Links: Dunkelbrauner Fruchtkörper mit weißem Zuwachsrand.
Rechts: Dünne, schwarze Myzelfäden. Aus: Erler (2004), S. 66



Abbildung 47: Zaunblättling. Feines Myzel und Ringschäle. Aus: Erler (2004), S. 67

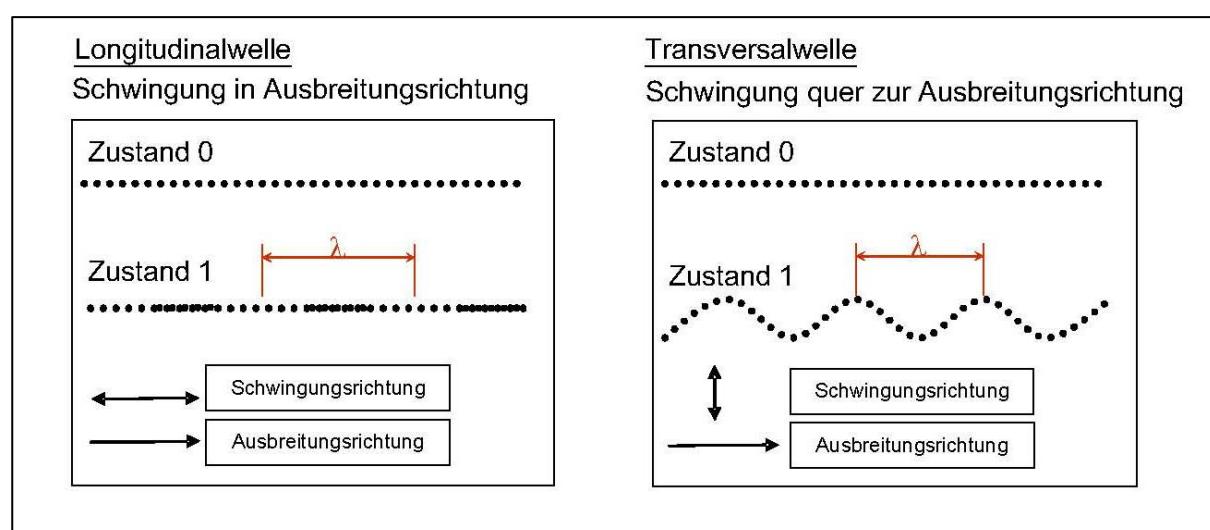


Abbildung 48: Prinzipskizzen zur Longitudinal- und Transversalwelle, Markierungen der Wellenlänge λ . Aus: Baron (2009), S. 37, Abb. 17

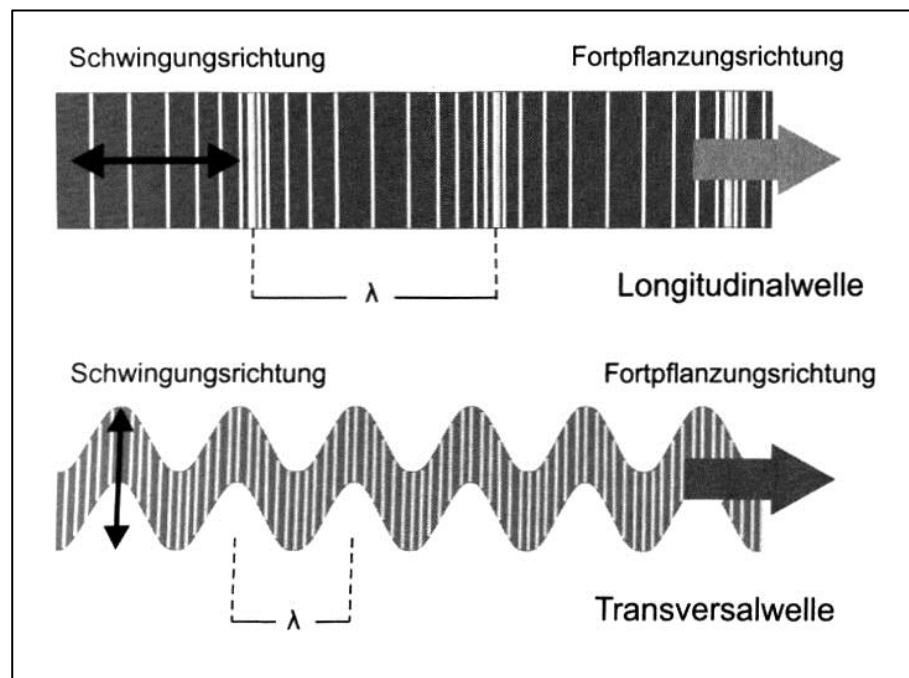


Abbildung 49: Prinzipskizze der Wellenarten im Holz. Aus: Niemz und Sonderegger (2017), S. 205, Bild 9.1

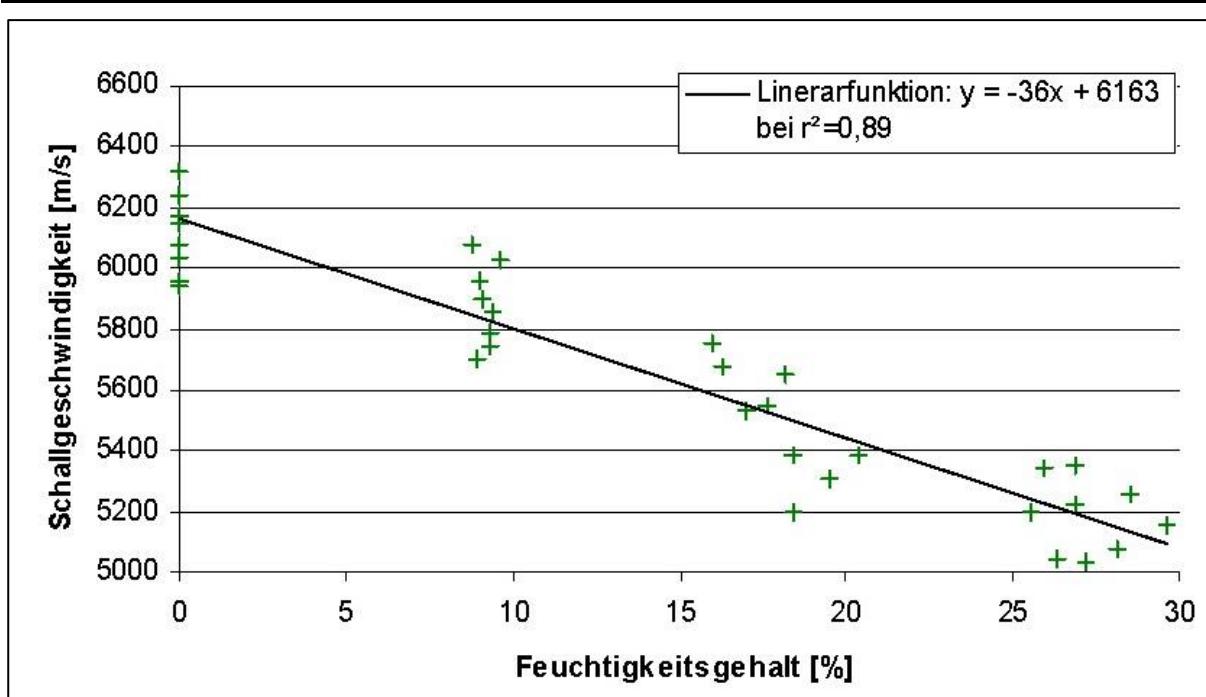


Abbildung 50: Abhängigkeit der longitudinalen Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Feuchtegehalt bis Fasersättigung nach Auswertung und Datenauswahl von Burmester (1965), zitiert in Baron (2009), S. 42, Abb. 20

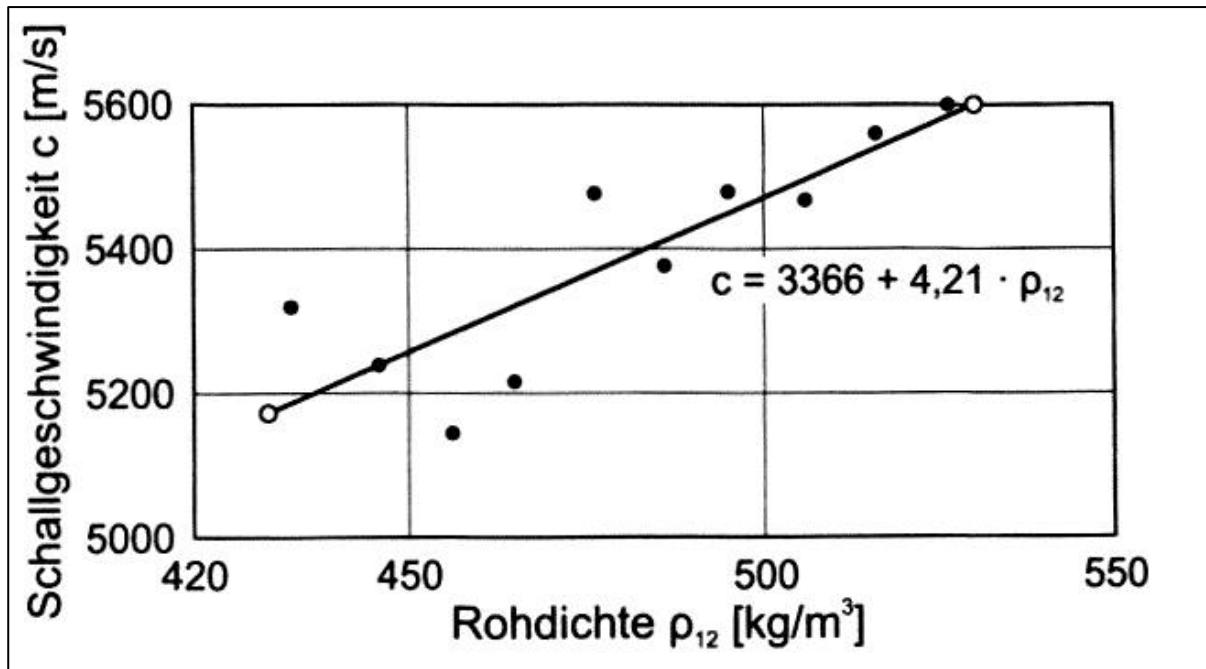


Abbildung 51: Einfluss der Rohdichte auf die Schallgeschwindigkeit in Kieferholz (*Punus sylvestris L.*). Nach Burmester (1965) zitiert in Niemz und Sonderegger (2017), S. 212, Bild 9.3

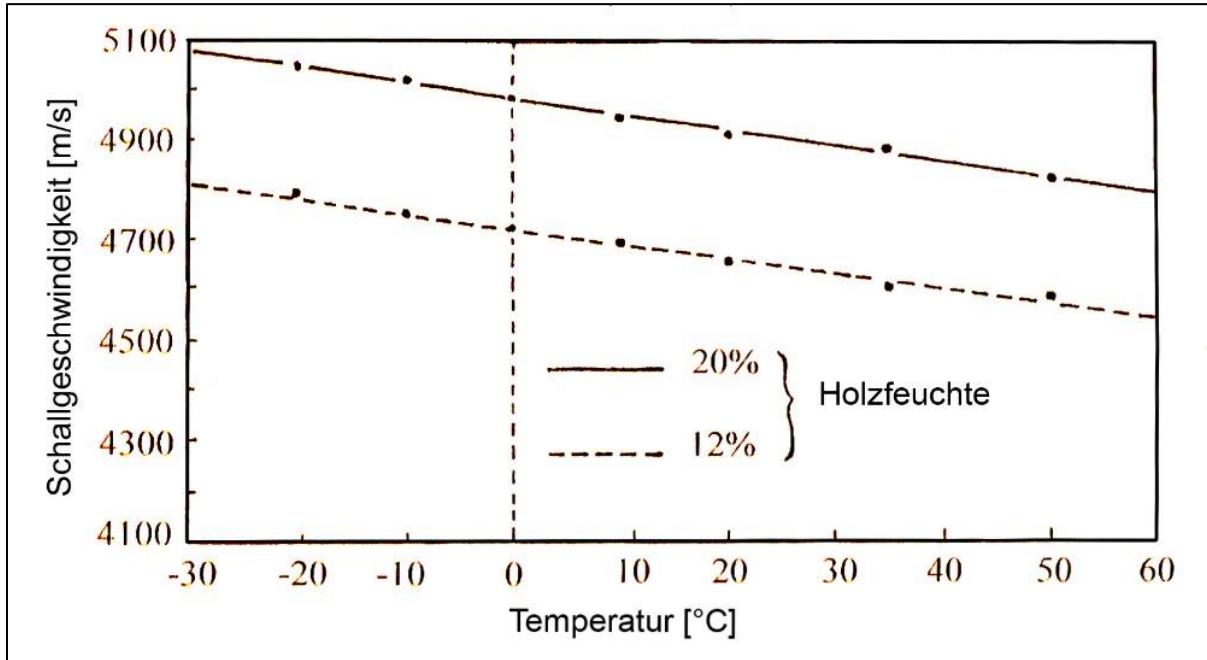


Abbildung 52: Einfluss der Temperatur zwischen –30 bis +50 °C auf die Schallgeschwindigkeit für Fichtenholz.
Bucur (2006), S. 248, fig. 9.4a

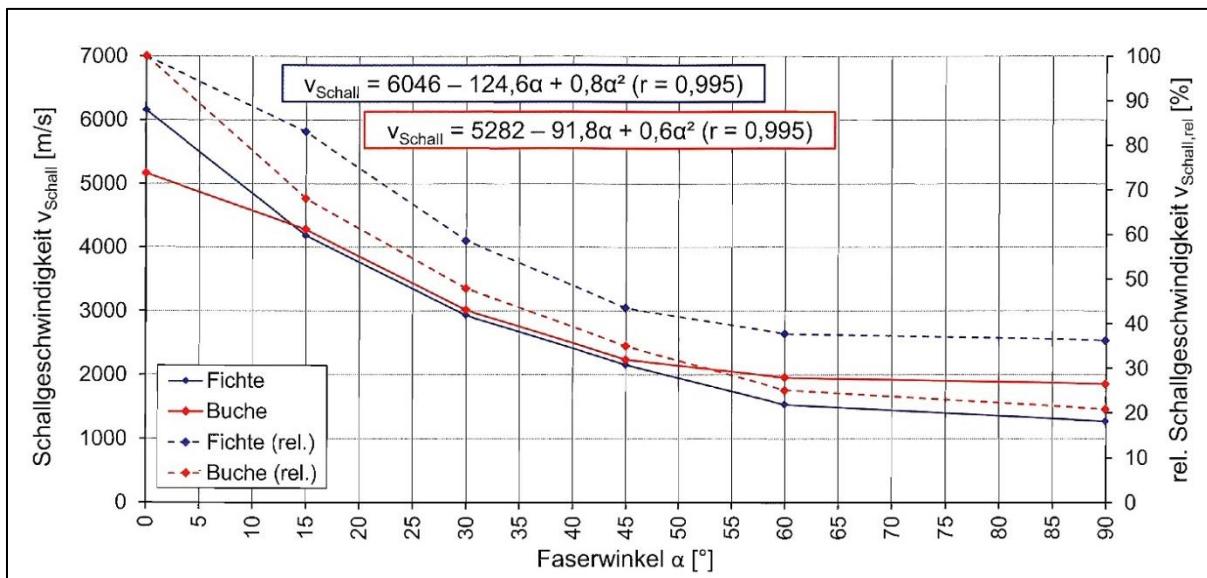


Abbildung 53: Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit zum Faserwinkel. Aus: Linke, Rug und Pasternak (2017), S. 233, Bild 4

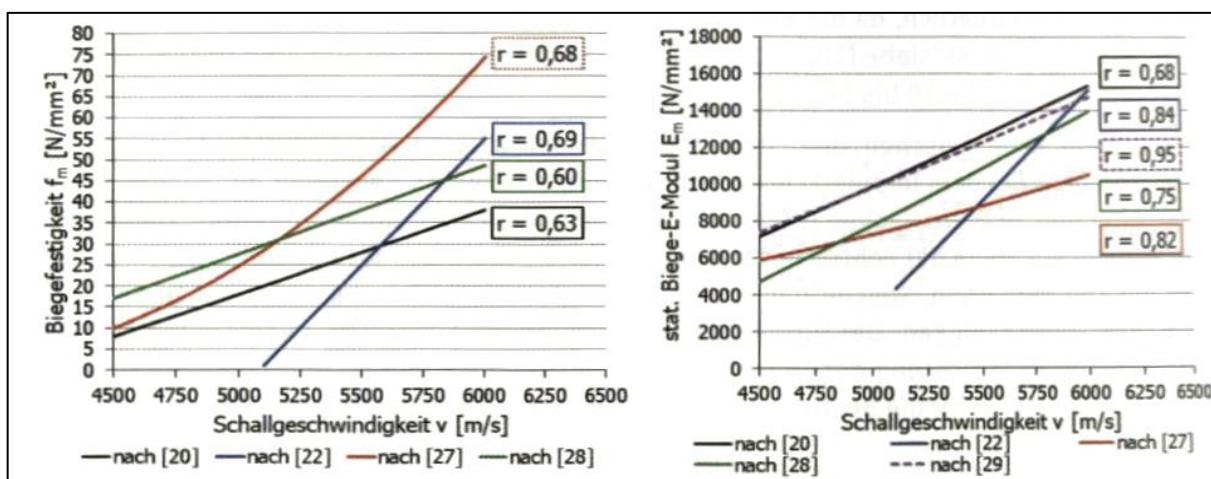


Abbildung 54: Regressionsbeziehung für Fichten-/Kiefernholz zwischen der Schallgeschwindigkeit und der Biegefestigkeit (links) und dem statischen Biege- Elastizitätsmodul (rechts) nach ausgewählten Literaturangaben. [20] Steiger (1991) [22] Augustin (2004) [27] Sandoz (1989) [28] Steiger (1996) [29] Sandoz (1996). Aus: Linke, Rug und Pasternak (2018), S. 200

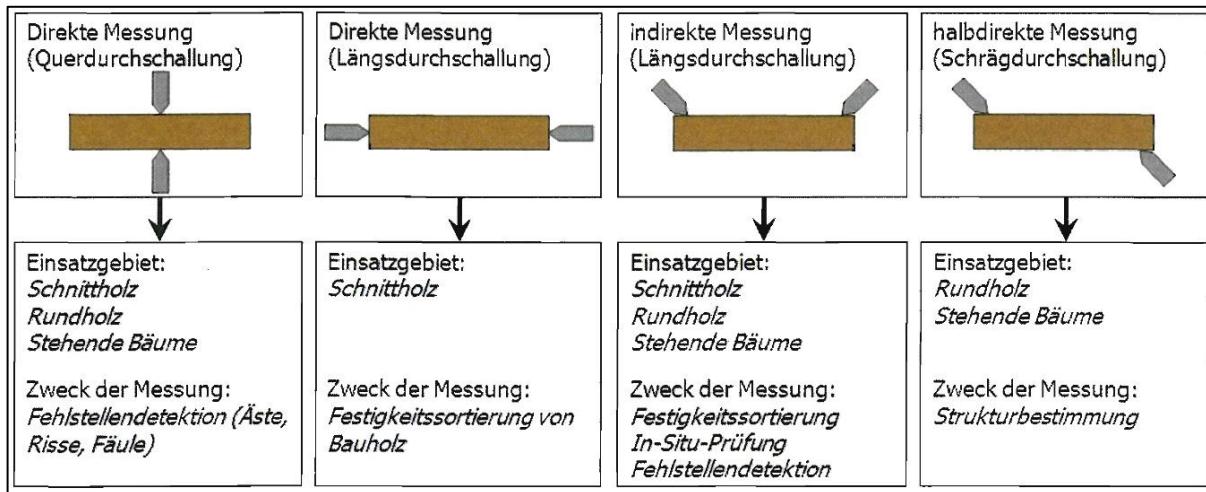


Abbildung 55: Messmethoden der Ultraschall- Impulslaufzeitmessung. Aus: Linke, Rug, Pasternak (2017), S. 231, Bild 2

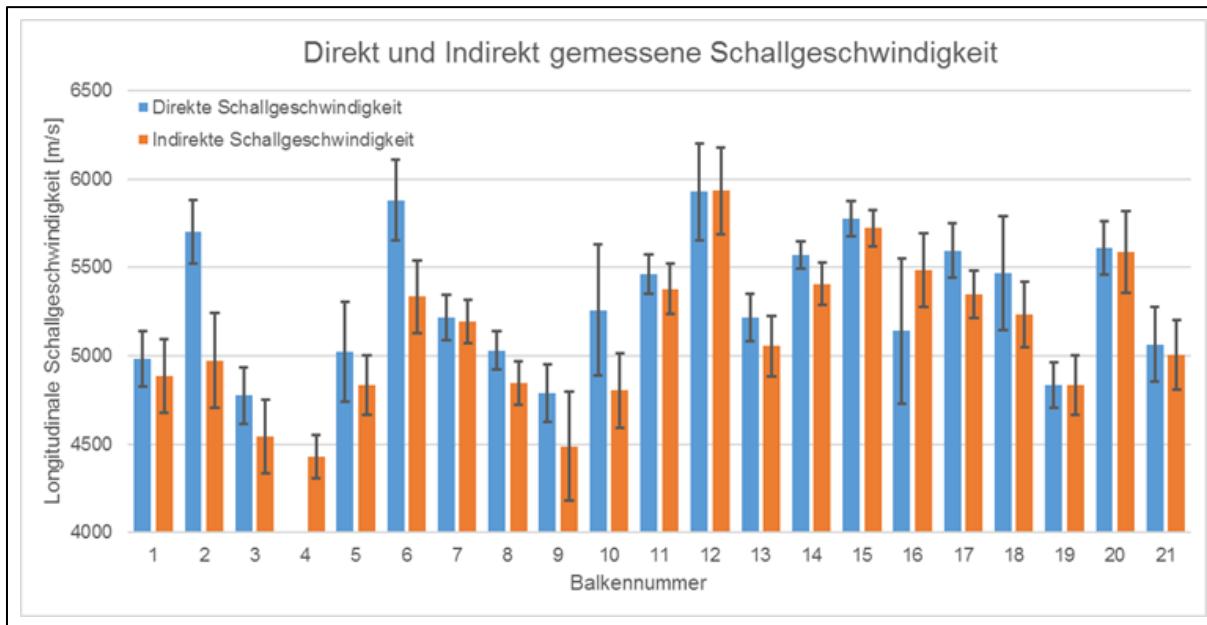


Abbildung 56: Direkt und indirekt gemessene mittlere Schallgeschwindigkeiten an 21 Balken mit Standardabweichung. Balken 4 und 5 Eiche, sonst Nadelhölzer. Eigene Messungen

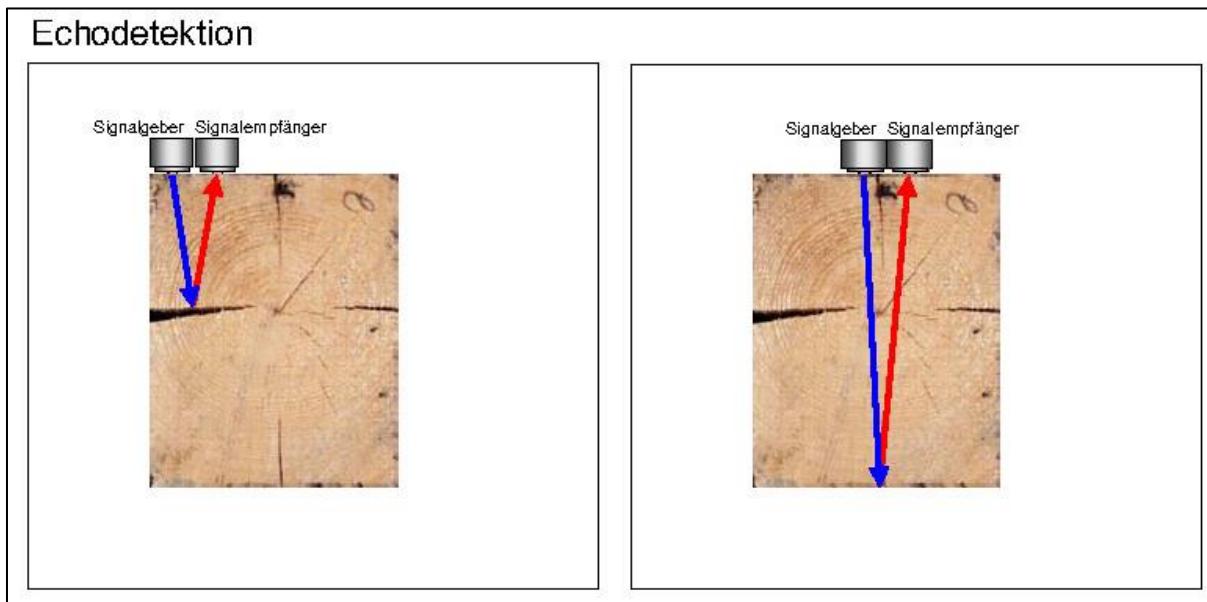


Abbildung 57: Prinzipdarstellung der Echotechnik. Aus: Baron (2009), S. 41, Abb. 18



Abbildung 58 Sensoren an einem Ständer der Dominikanerkirche in Bamberg zur Erstellung eines virtuellen Tomogrammes

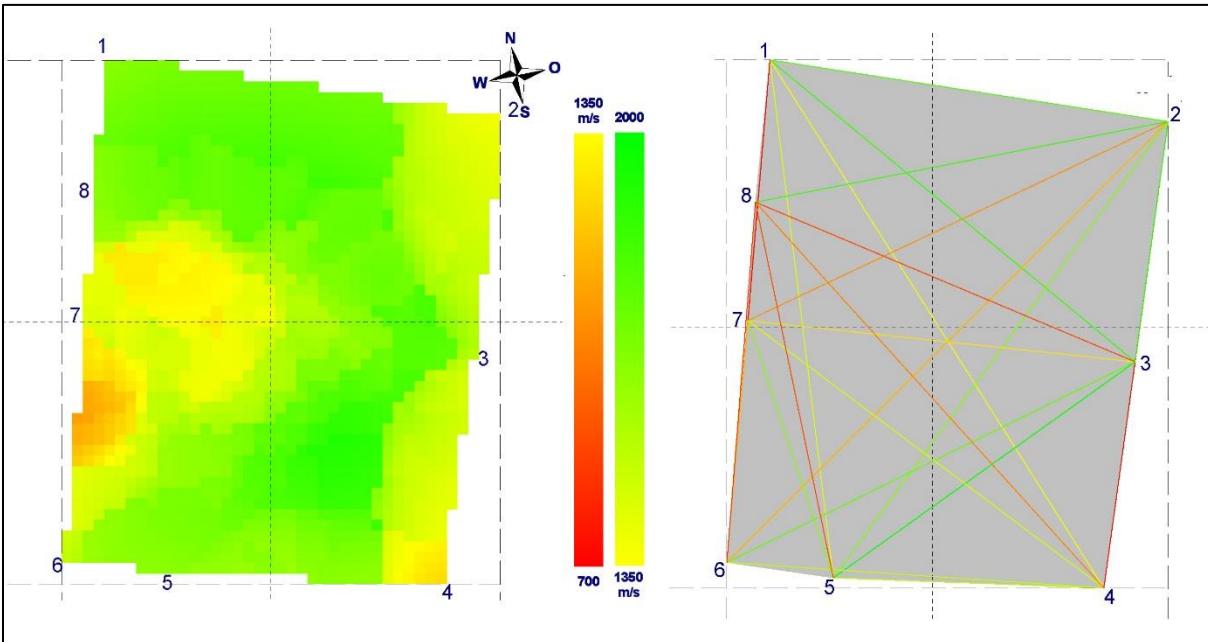


Abbildung 59: Virtueller Schnitt durch einen Ständer der Dominikanerkirche in Bamberg.
 (links) Die gelben und orangen Bereiche kennzeichnen Teile mit geringerer Schalllaufzeit und damit möglicher Schädigung.
 (rechts) Grundlage für das linke Bild, vor der Interpolation, Die Linien zeigen die fiktiven Schallimpulswege an.

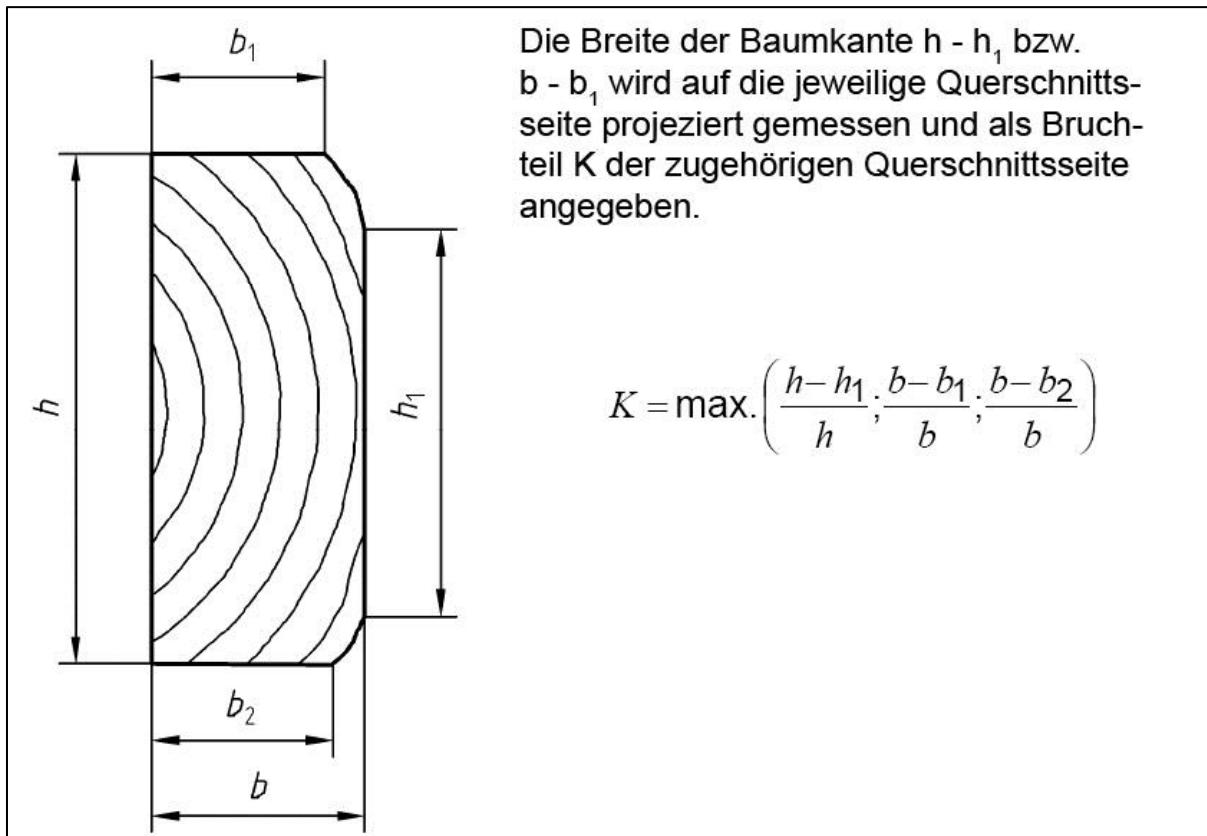


Abbildung 60: Bestimmung der Baumkante nach DIN 4074. Aus: DIN 4074-1:2012-06, S. 15, Bild 12

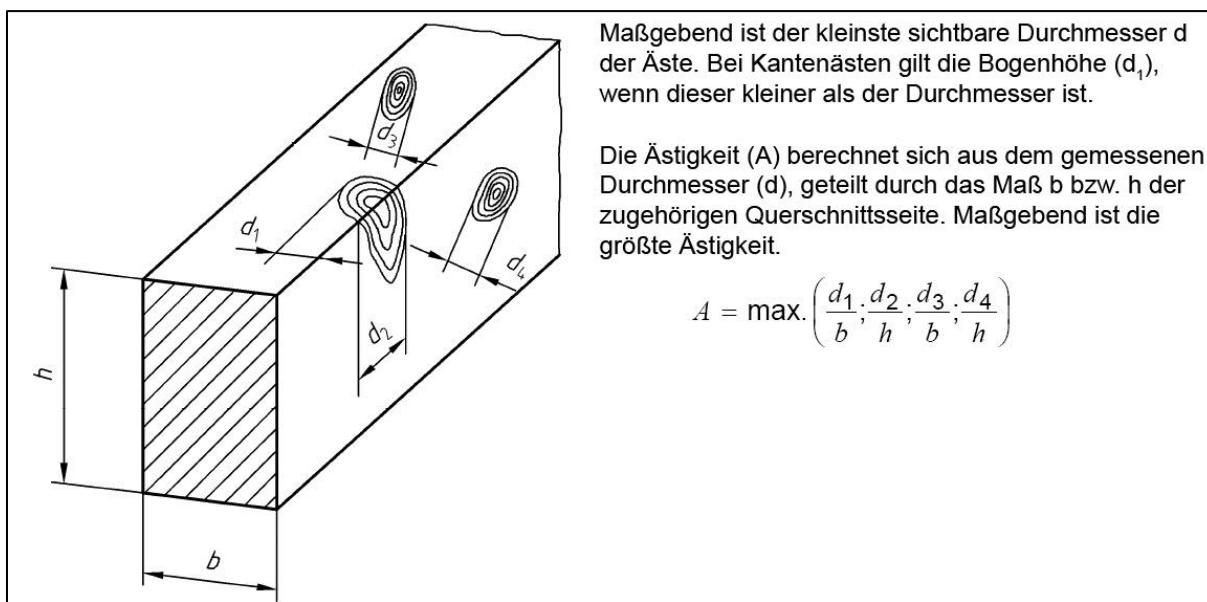


Abbildung 61: Bestimmung des größten Einzelastes. Aus: DIN 4074:2012-06, S. 4, Bild 1

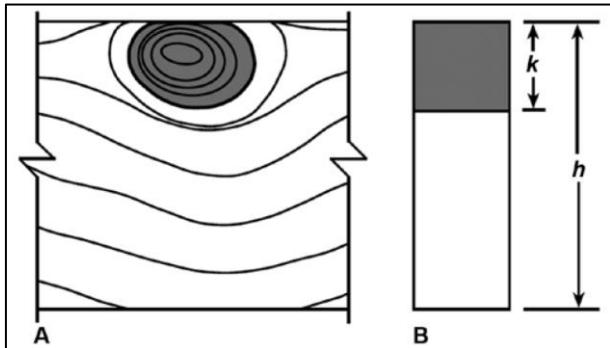


Abbildung 62: Effekt eines Randastes: A. Randast in einem Balken, B. grau angelegt ist der Bereich der rechnerisch nicht angesetzt wird. Aus: Forest Products Laboratory (2010), S. 7-5, figure 7-2

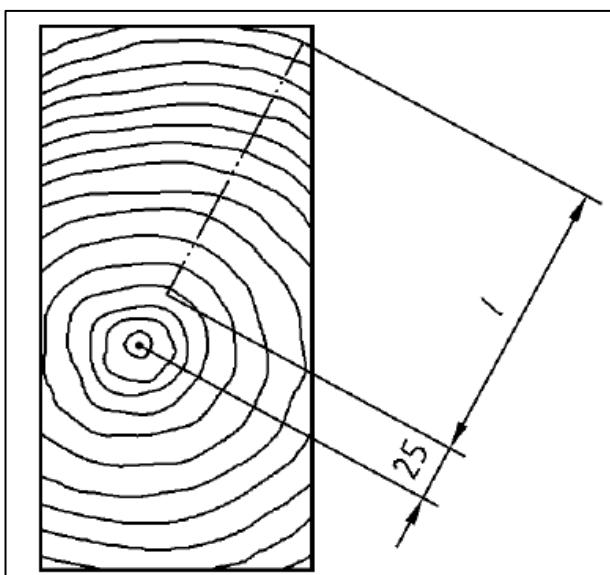


Abbildung 63: Maßgebende Messstrecke für die Bestimmung der Jahrringbreite. Aus: DIN 4074:2012-06, S. 13, Bild 9

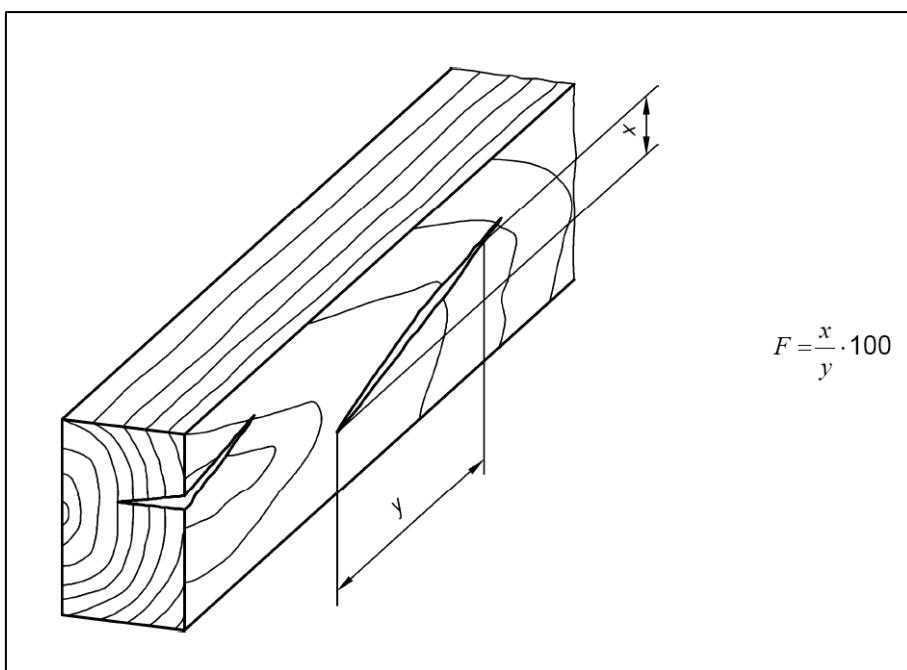


Abbildung 64: Bestimmung der Faserneigung nach Schwindrissen. Aus: DIN 4074:2012-06, S. 13, Bild 8

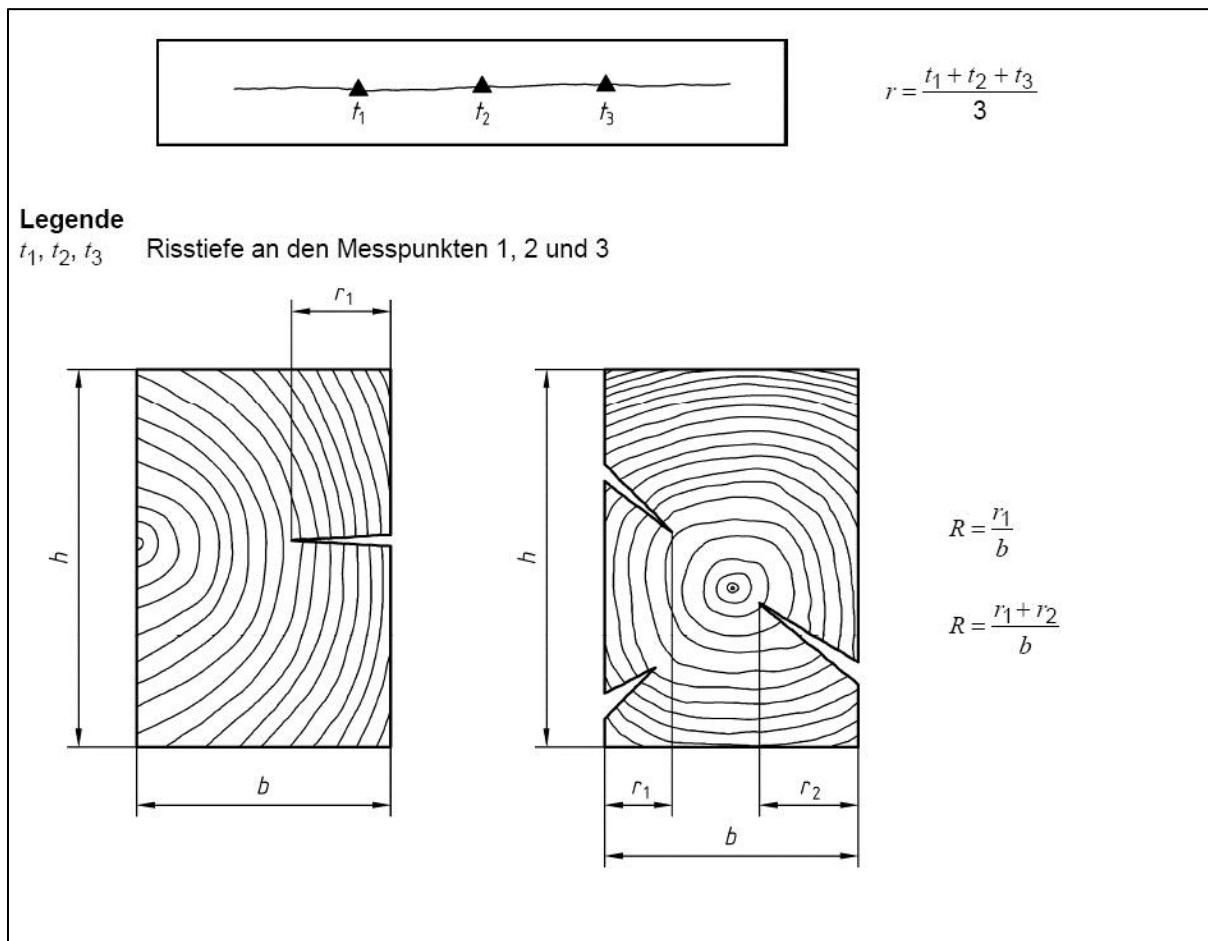


Abbildung 65: Bestimmung der Rissstiefe. Aus: DIN 4074:2012-06, S. 14, Bild 10 + 11

 4321		<i>CE-Kennzeichnung, bestehend aus dem „CE“-Symbol</i> <i>Kennnummer der notifizierten Zertifizierungsstelle für die werkselgene Produktionskontrolle</i>
AnyCo Ltd 16 002CPR2013-0714		<i>Name und registrierte Anschrift des Herstellers oder Kennzeichen</i> <i>Die letzten beiden Ziffern des Jahres, in dem die Kennzeichnung erstmals angebracht wurde</i> <i>Referenznummer der Leistungserklärung</i>
EN 14081-1:2016 XXXX C24 / WPCA / Nach Festigkeit sortiertes Holz für tragende Zwecke Für den Einsatz in Gebäuden und Brücken vorgesehen		<i>Nr. der angewendeten Europäischen Norm, wie im Amtsblatt der EU angegeben</i> <i>Eindeutiger Kenncode des Produkttyps</i> <i>Beschreibung des Bauholzes</i> <i>Verwendungszweck des Produkts, wie in der Europäischen Norm angegeben</i>
Mechanische Festigkeit und Feuerwiderstand, als		<i>Stufe oder Klasse der angegebenen Leistung</i>
Holzart	WPCA	
Festigkeitsklasse	C 24, sortiert nach (NF B 52-001-1) ST-II	
Brandverhalten	D-s2, d0	
Biologische Dauerhaftigkeit „PT“ als:		
Art der Behandlung und des Schutzmittels	Produkt XY	
— Eindringtiefe Klasse	NP1	
— Wert der Schutzmittel-aufnahme	100 g/m ²	
— Zielorganismen	Pilze	

Abbildung 66:

Beispiel für die CE-Kennzeichnung für ein behandeltes viusell nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke. Aus: DIN EN 14081-1:2016-06, S. 45, Bild ZA.2

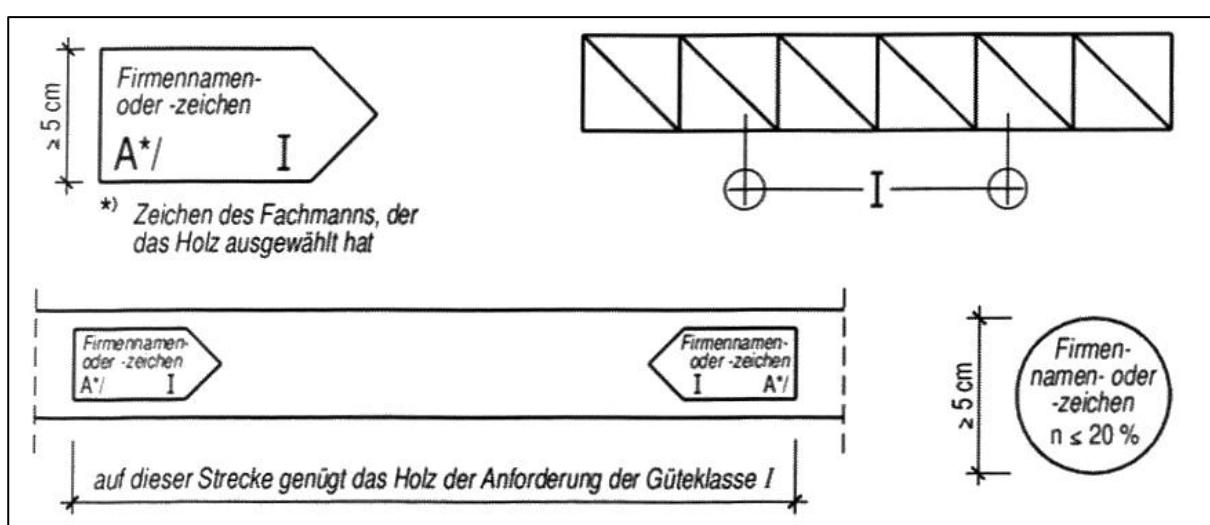


Abbildung 67: Festlegung zur Kennzeichnung des Holzes bei Verwendung von Gütekla... nach DIN 4074, nach § 6a (2) und § 6b (2). Aus: DIN 1052:1940

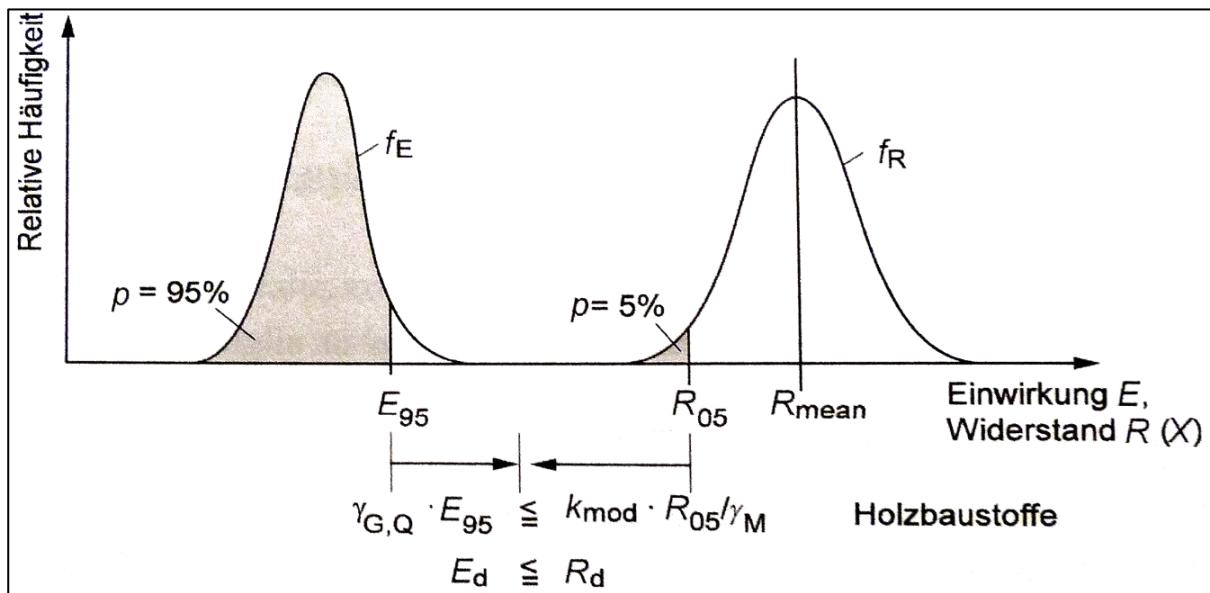


Abbildung 68: Prinzipskizze des probabilistischen Sicherheitssystems nach Eurocode. Aus: Neuhaus (2017), S. 346, Bild 8.1

3 Gerätetechnik



Abbildung 69: Holzfeuchtigkeitsmessgerät GANN Hydromette M2050

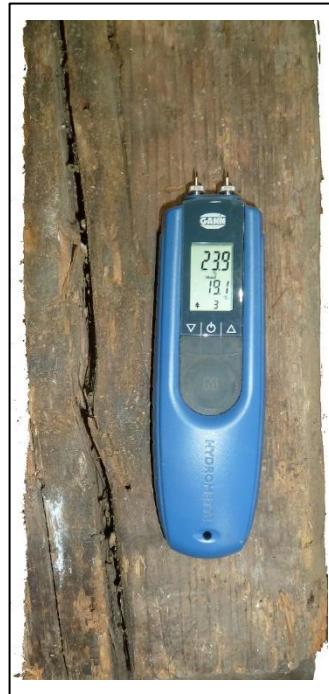


Abbildung 70: Holzfeuchtigkeitsmessgerät GANN Hydromette BL Compact S

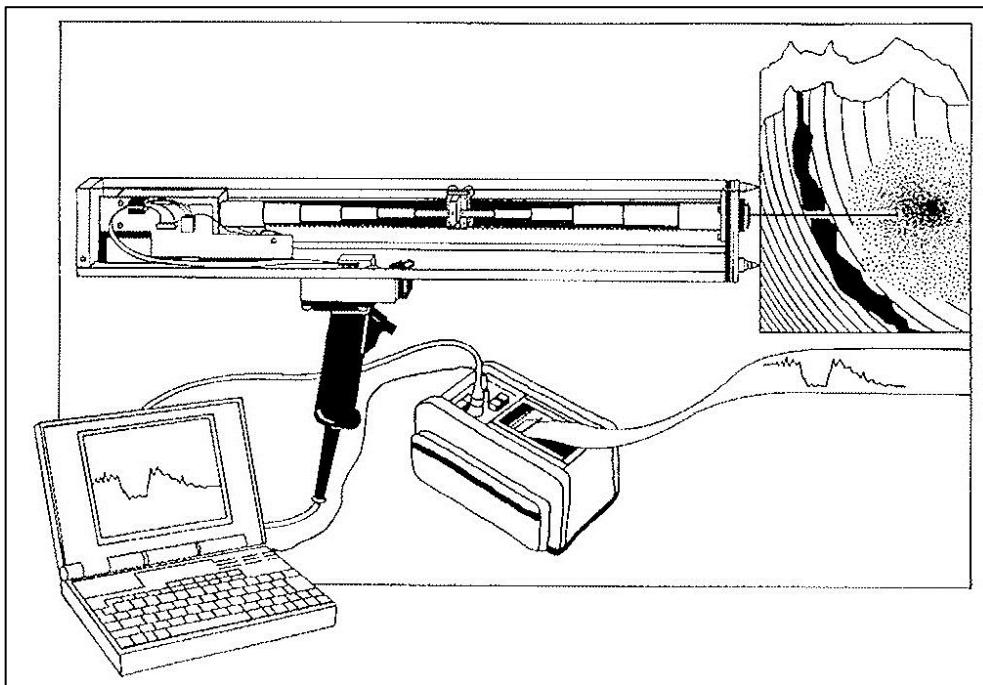


Abbildung 71: Prinzipskizze eines Bohrwiderstandgerätes, bestehend aus dem Bohrgerät, dem Akkupack und einem Computer. Aus: Rinn, Schweingruber F.-H. und Schär (1996), S. 304, Fig. 1.

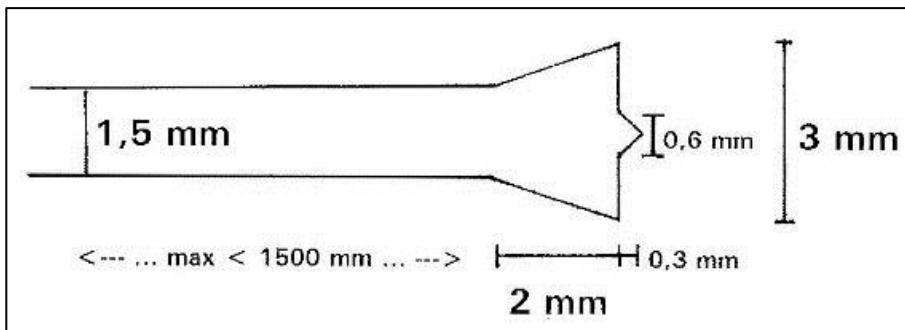


Abbildung 72: Geometrie der Bohrspitze. Aus: Rinn, Schweingruber F.-H. und Schär (1996), S. 304, Fig. 2.

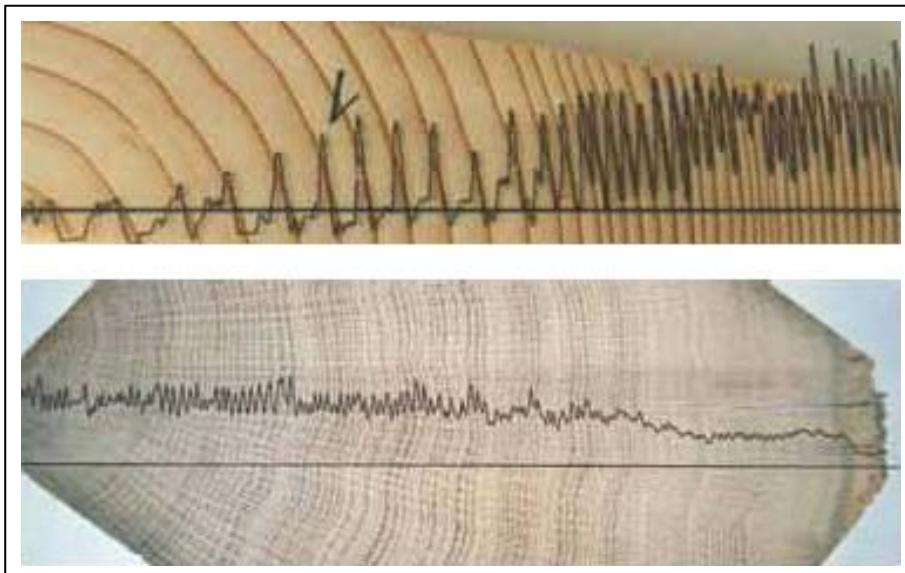


Abbildung 73: Dichteprofile von Nadelholz (oben) und einem ringporigen Holz (unten). Aus: Rinn (2014), S. 46, Figure 8.

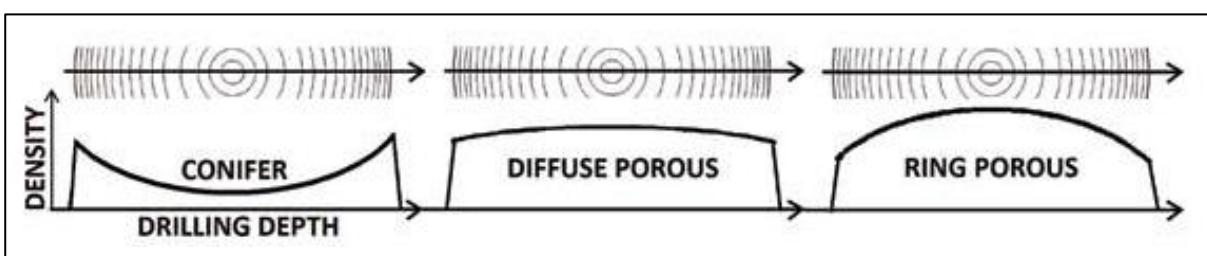


Abbildung 74: Holzartentypische Dichteprofile. Aus: (Rinn 2014), S. 46, Figure 9.

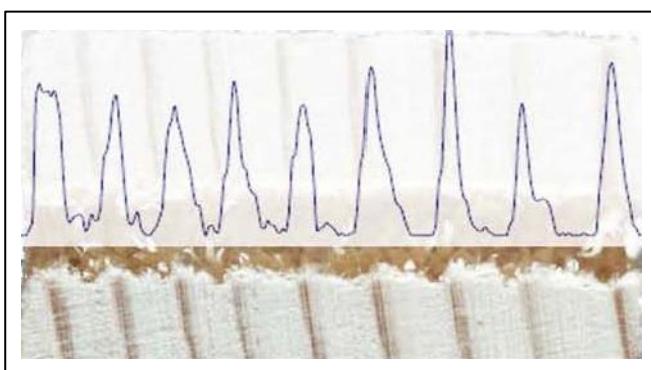


Abbildung 75: Bohrkurve mit deutlicher Jahrringenkennung. Aus (Baron 2009), S. 48, Abb. 25.

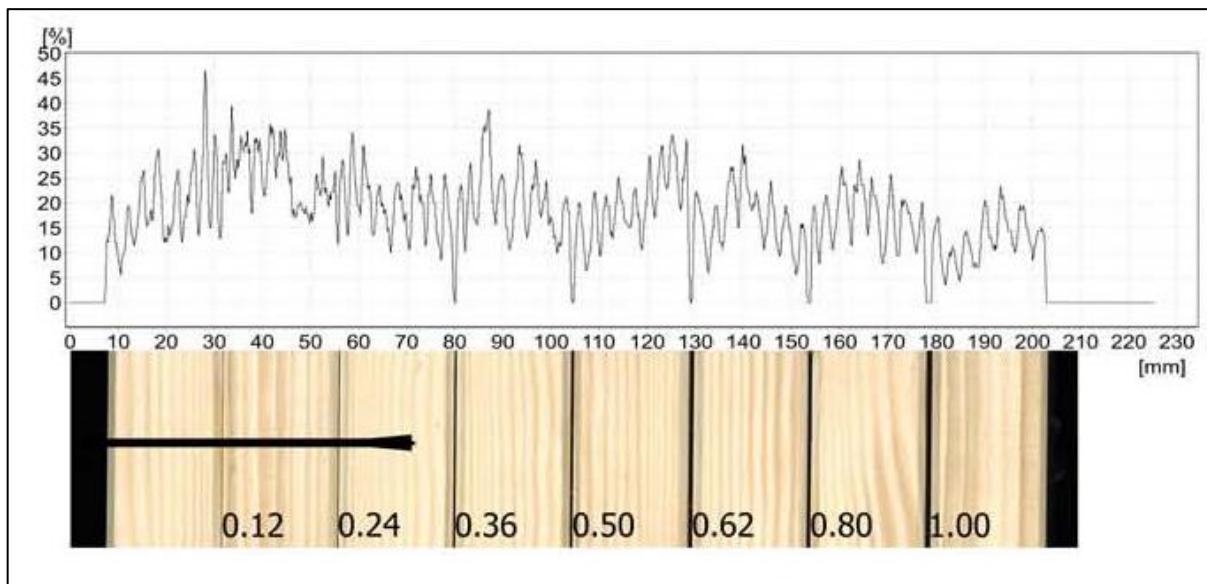


Abbildung 76: Überprüfung der kleinsten messbaren Rissgröße. Aus: (Rinn 2015), S. 63, Abb. 3.

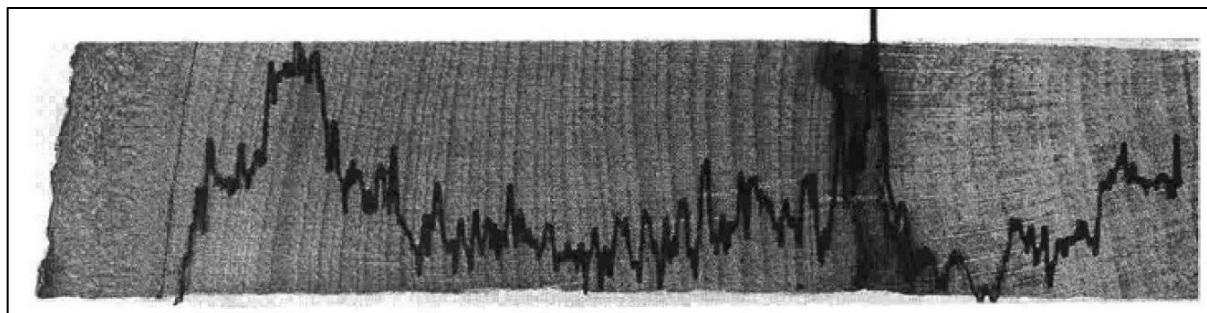


Abbildung 77: Oberfläche und Bohrwiderstandsprofil einer Buche mit Weißfäule. Aus: Eckstein und Saß (1994), S. 284

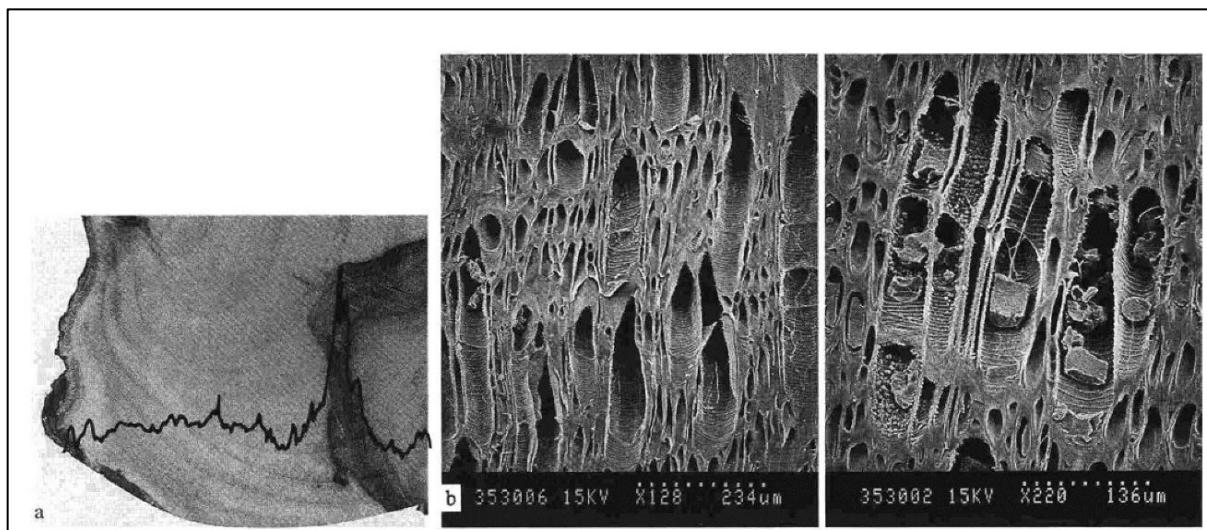


Abbildung 78: Holzoberfläche von Linde mit Abschottungszonen im Randbereich einer Fäule (a) und REM- Aufnahmen (b) aus dem gesunden Gewebe (links) und aus der Abschottungszone (rechts). Aus: Eckstein und Saß (1994), S. 284

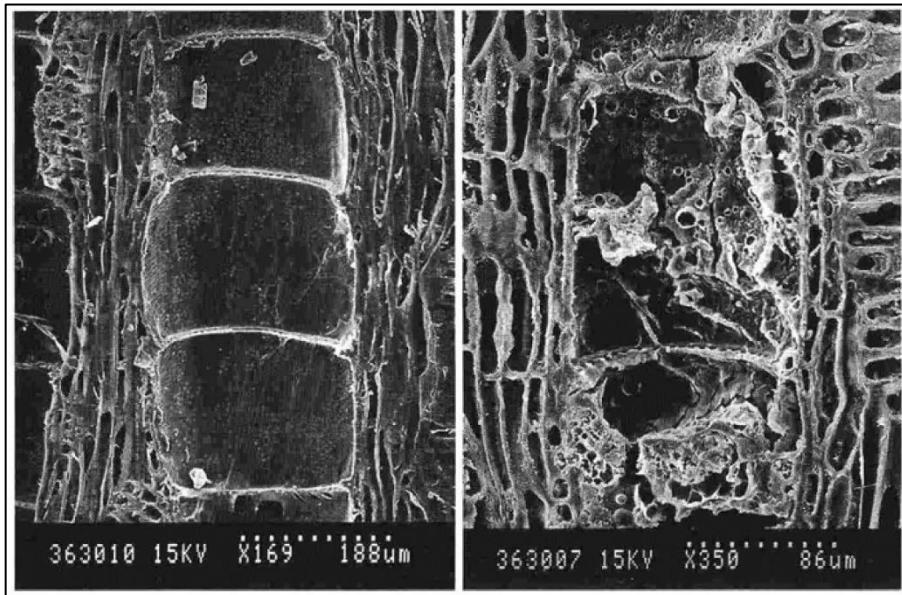


Abbildung 79: REM - Aufnahmen von Esche aus dem gesunden Gewebe (links) und aus dem Bereich einer Abschottungszone (rechts). Aus: Eckstein und Saß (1994), S. 284

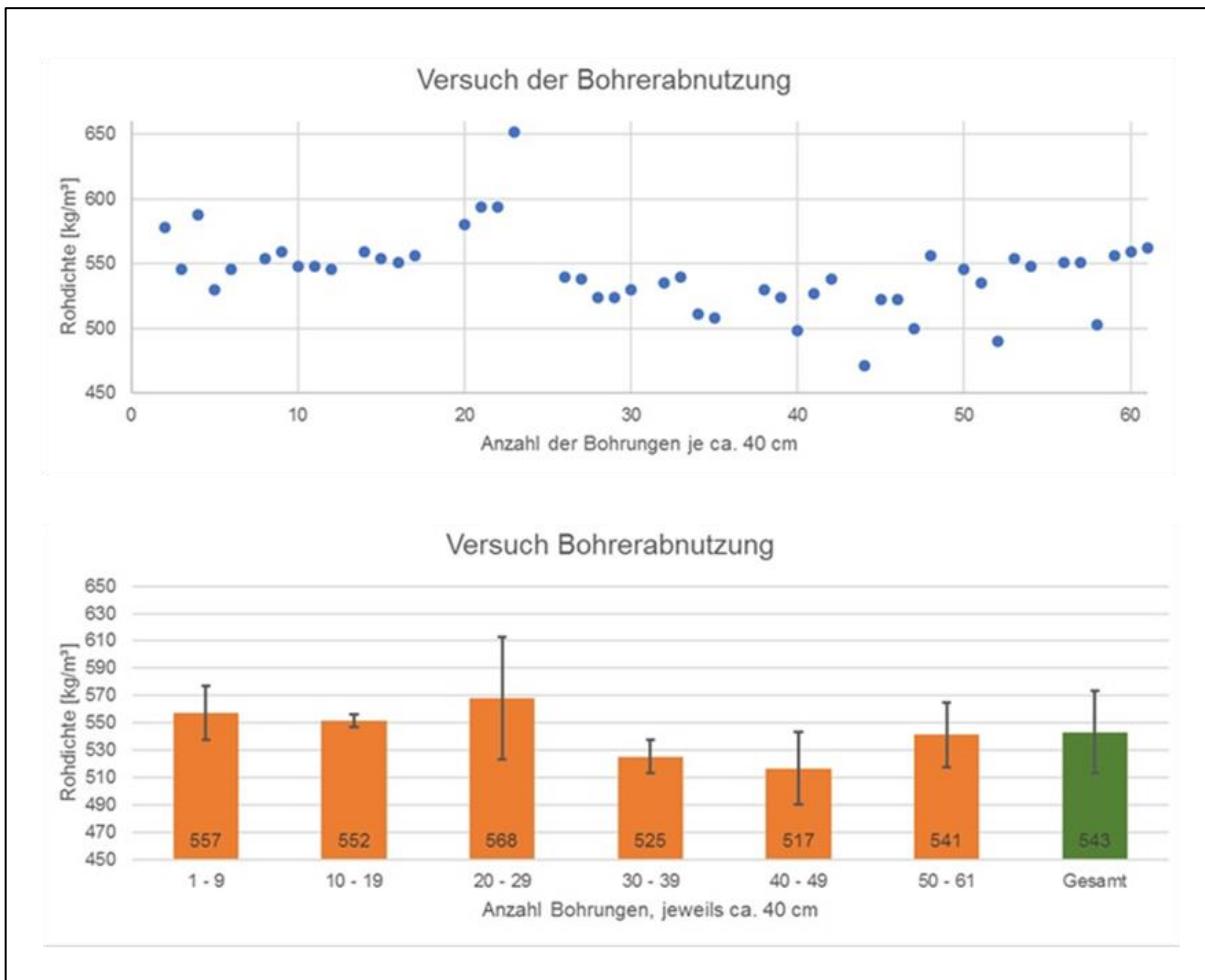


Abbildung 80 Über den Bohrwiderstand ermittelte Rohdichte in Abhängigkeit der Bohrungszahl. Einzelmessungen (oben), je Mittelwerte mit Standardabweichung (unten).

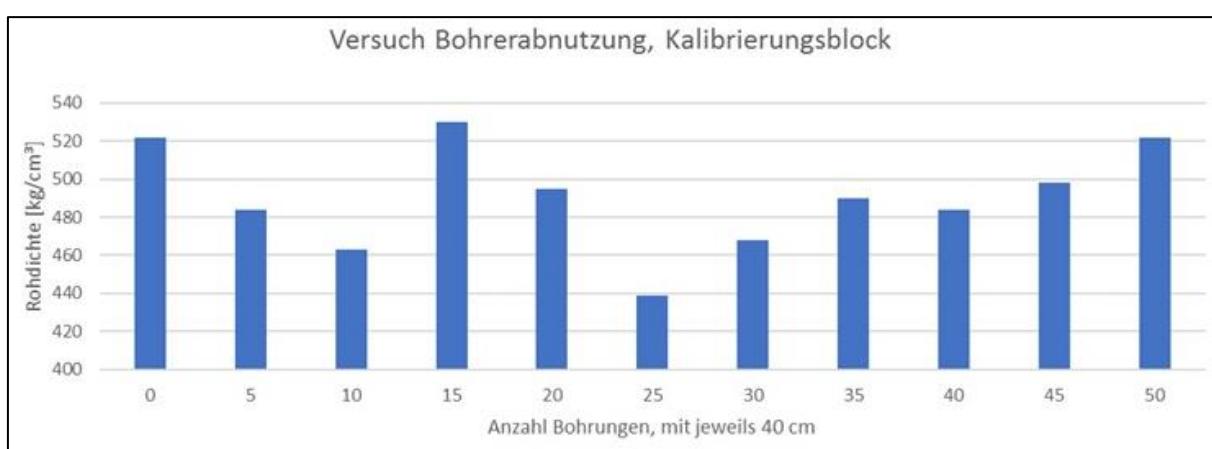


Abbildung 81: Über den Bohrwiderstand ermittelte mittlere Rohdichte des Kalibrierungsblocks in Abhängigkeit der Bohrungszahl.

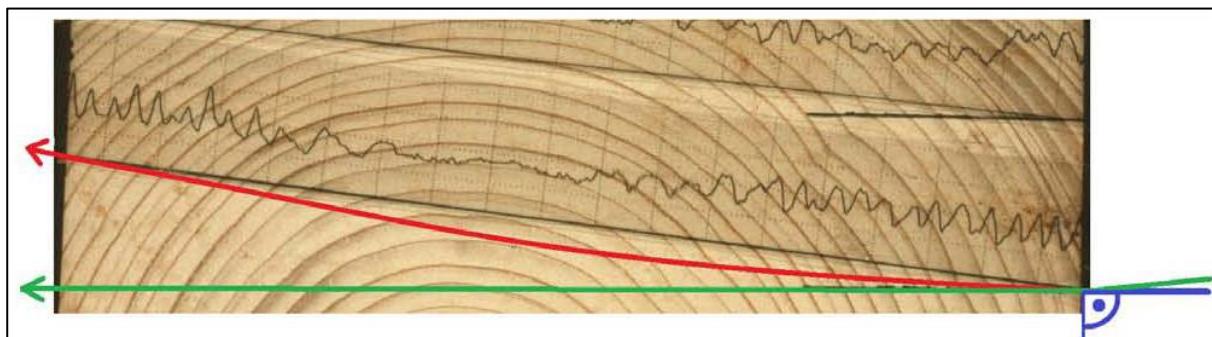


Abbildung 82: Wenn Jahrringgrenzen nicht senkrecht durchbohrt werden, kann die Bohrnadel abgelenkt werden. Dies kann bei Vollholz durch leichtes Verkippen des Gerätes verhindert werden. Hier durch die Grüne Linie ange-deutet. Aus: Rinn (2013), S. 36, Fig. 5.

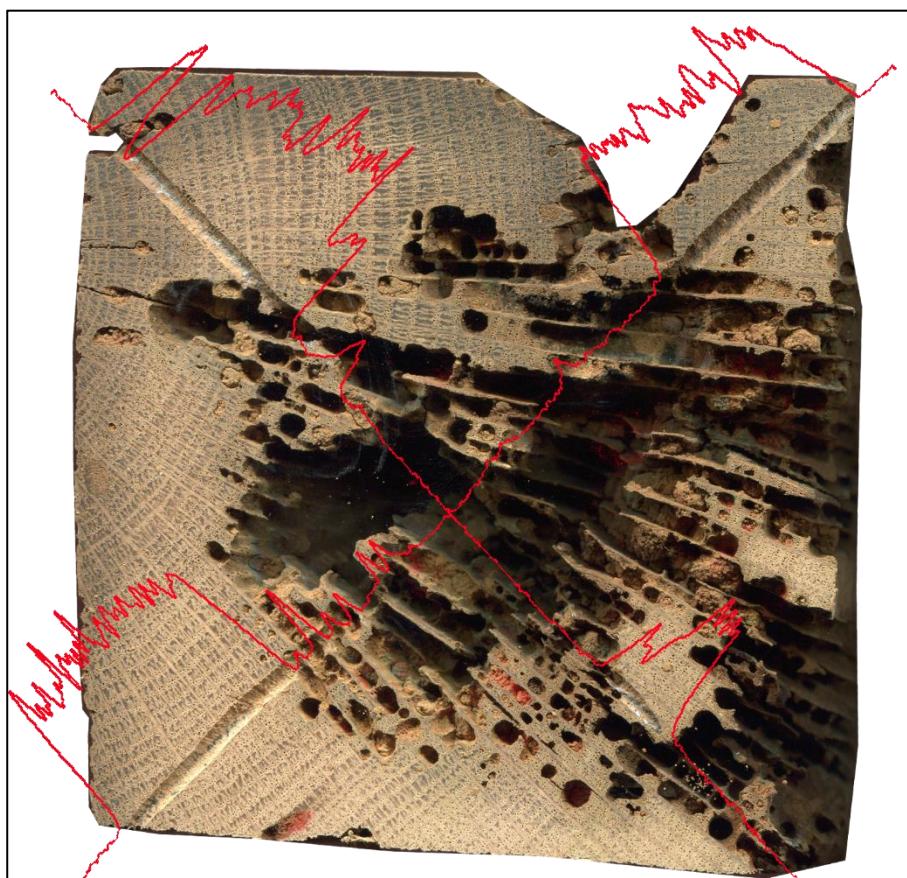


Abbildung 83 Eichenes Kantholz, mit Insektenbefall. Geschädigte Bereiche lassen sich deutlich durch das Bohrprofil erkennen.

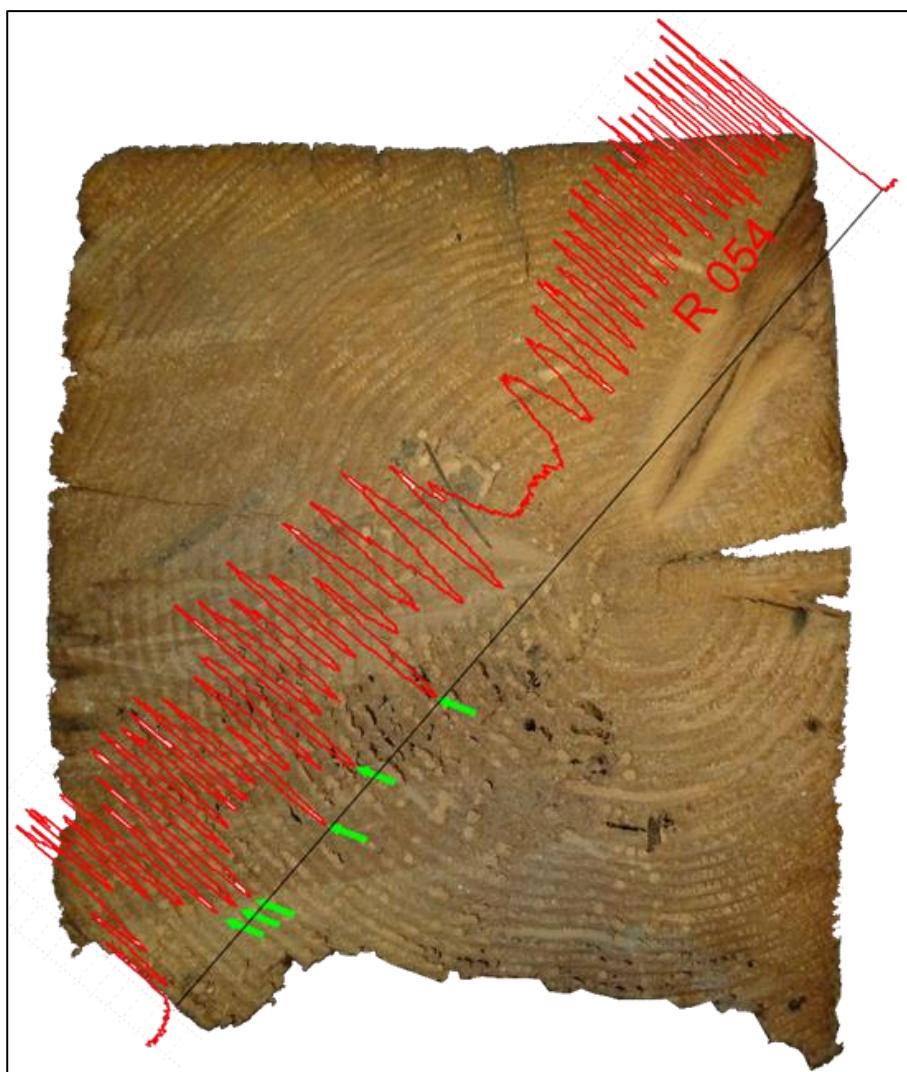


Abbildung 84 Nadelholz mit Insektenbefall im unteren Bereich. Das Frühholz ist mit ca. 2 mm großen Fraßgängen übersäht. Die grünen Pfeile markieren im Bohrprofil die stellen, in denen die Bohrspitze in einen Fraßgang getroffen hat.

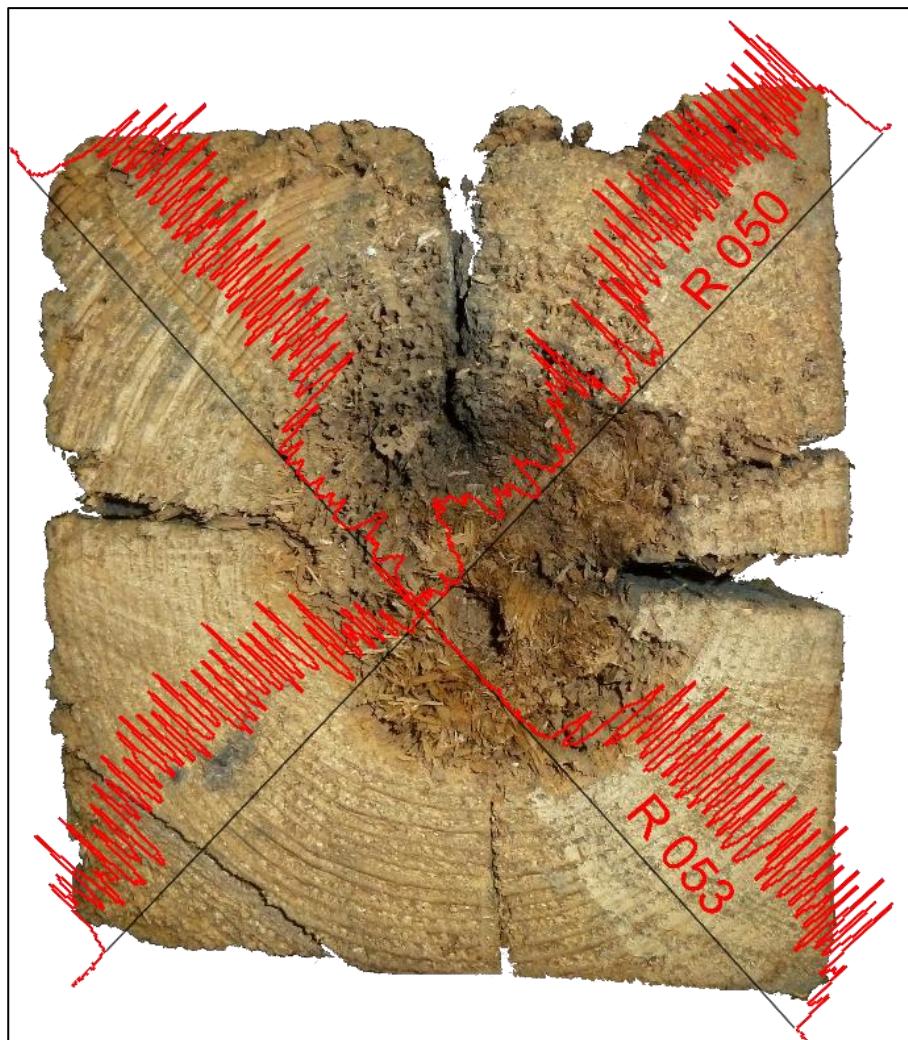


Abbildung 85: Nadelholzquerschnitt mit Innenfäule. Kreuzweise, diagonales Bohrprofil mit deutlichem Abfall im Bereich der optischen Schädigung.



Abbildung 86 Sparrenfußpunkt aus Nadelholz. Die Lage des Zapfenloches wurde angezeichnet und die Lage und Zustand mit drei Bohrungen überprüft.

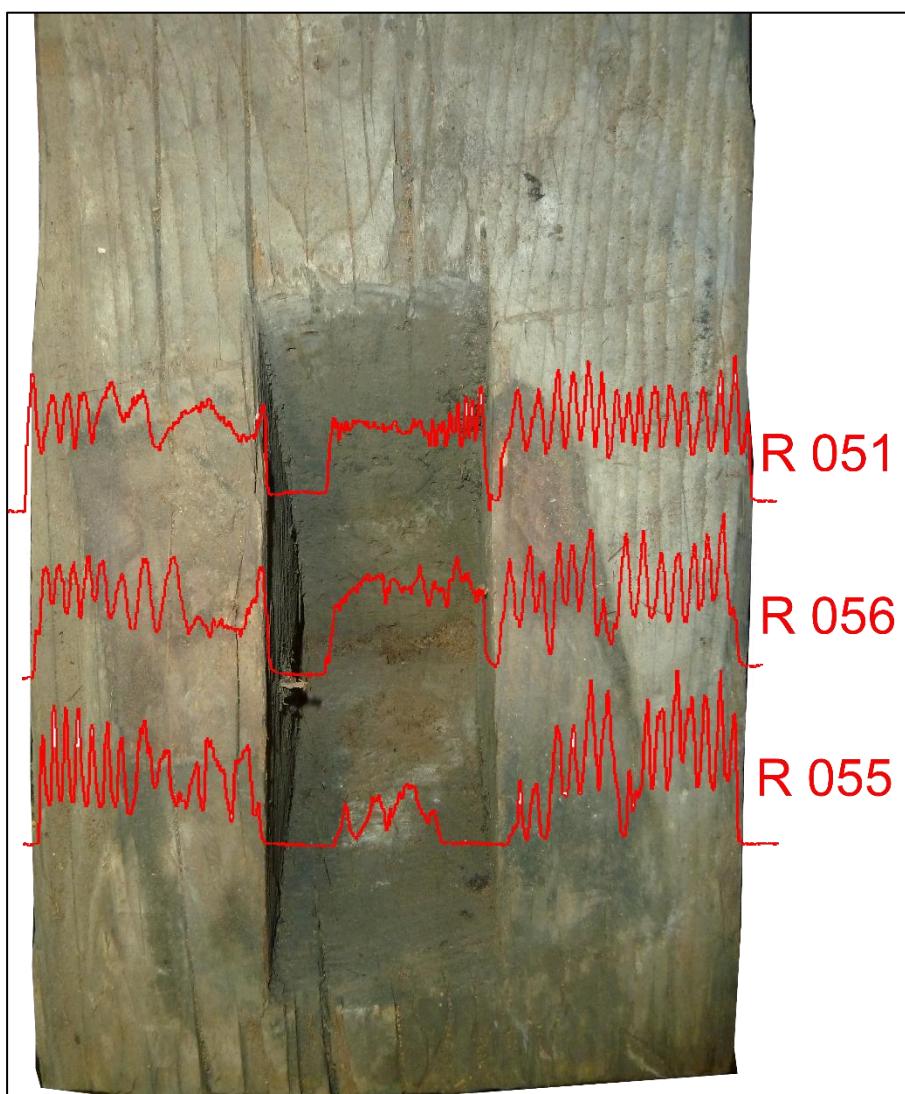


Abbildung 87 Die Bohrprofile zeigen die Lage des Zapfens im Zapfenloch. Bei Bohrung R 055 wurde unterhalb des Zapfens gebohrt.



Abbildung 88: Sparrenzapfen über Dachbalken. Die Schädigung des Zapfens lässt sich mit bloßem Auge bereits erkennen. Die unterste Spitze eines Sparrenzapfens ist häufig geschädigt. Dort sammelt sich die Feuchtigkeit und schafft gute Bedingungen für Schädlinge.

Abbildung 89: Sparrenfußpunkt seitlich, mit zwei Bohrungen zur Lage und Zustandsbestimmung des Zapfens und Zapfenloches.



Abbildung 90 Dachbalken mit Bohrprofilen. Der Dachbalken ist ebenfalls geschädigt. Im Zapfenloch lässt sich das Holz mit dem Finger herauskratzen

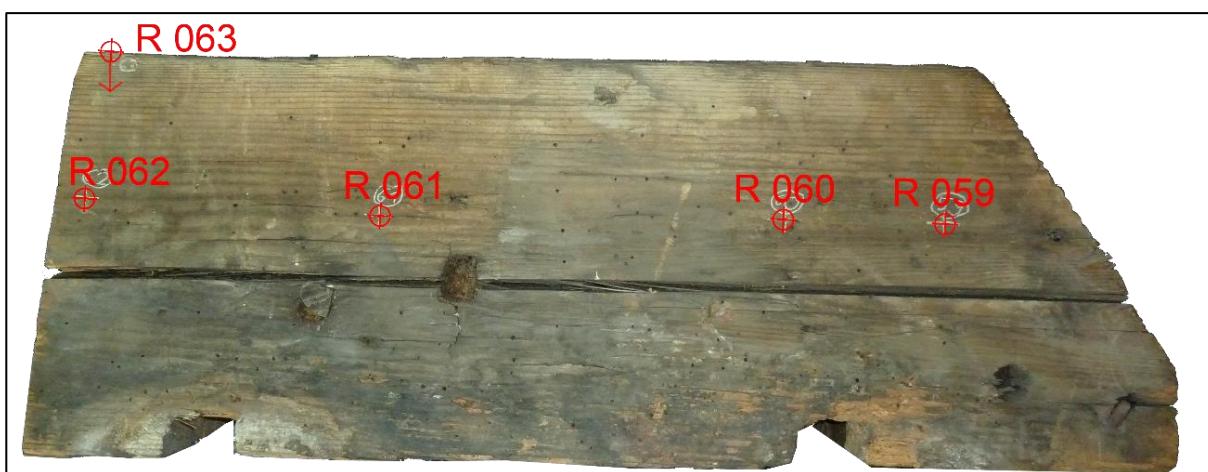


Abbildung 91: Seitenansicht Nadelholz Deckenbalken mit Innenfäule und Zapfenloch.



Abbildung 92: Ansicht von Oben. Im Zapfenloch ist der Pilzbefall bereits fortgeschritten.



Abbildung 93: Ansicht von Unten. An den Überkämmungen mit der Mauerschwelle ist ebenfalls ein Pilzbefall feststellbar.

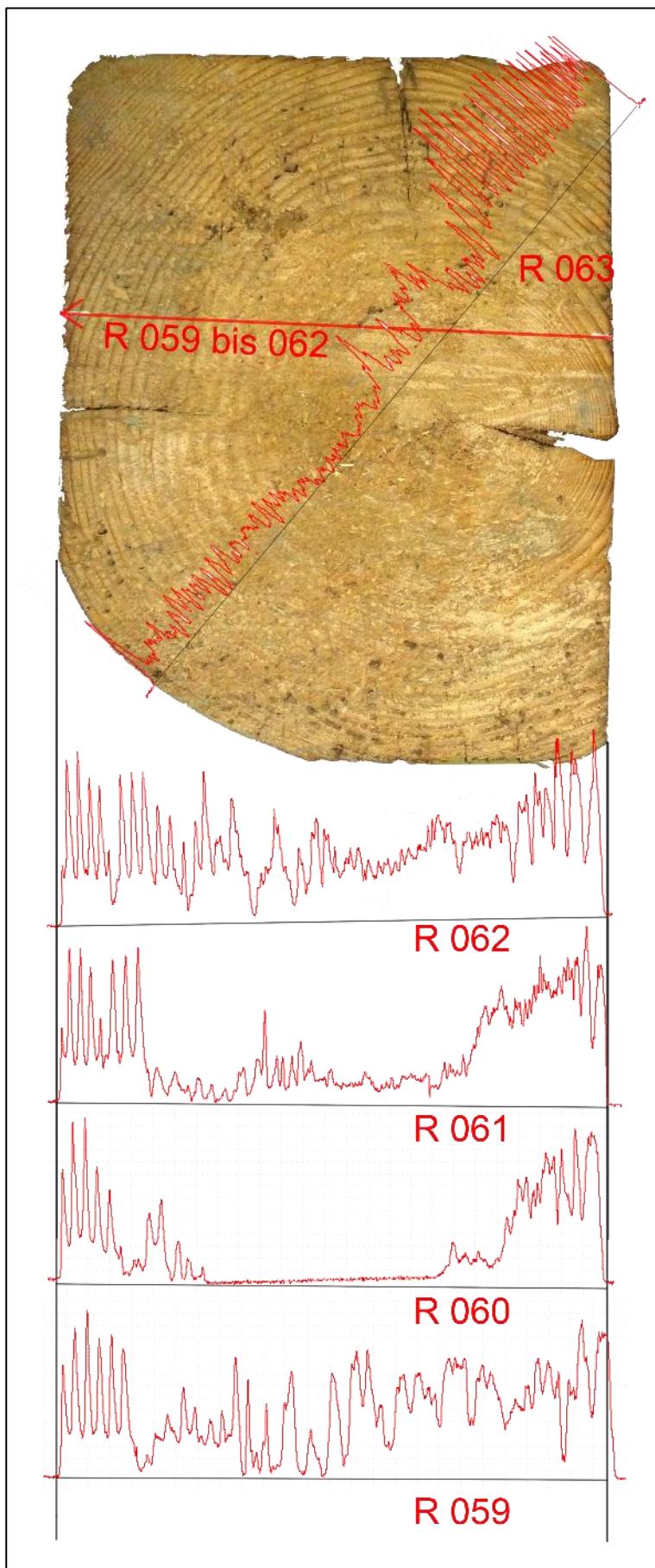


Abbildung 94: Querschnitt mit allen Bohrprofilen. R 060 in Zapfenloch mit geschädigten Flanken. Alle weiteren zeigen eine Innenfäule.



Abbildung 95: Impulstomograph ARBOTOM der Firma RINNTECH. Er besteht aus dem Akkupack, Laptop, Sensoren und die Verbindungskabel.

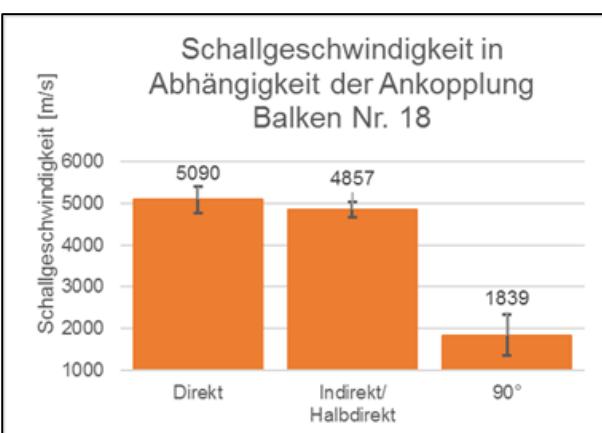


Abbildung 96: Schallgeschwindigkeit in Abhängigkeit
der Ankopplung, Balken Nr. 18

4 Biegeversuch

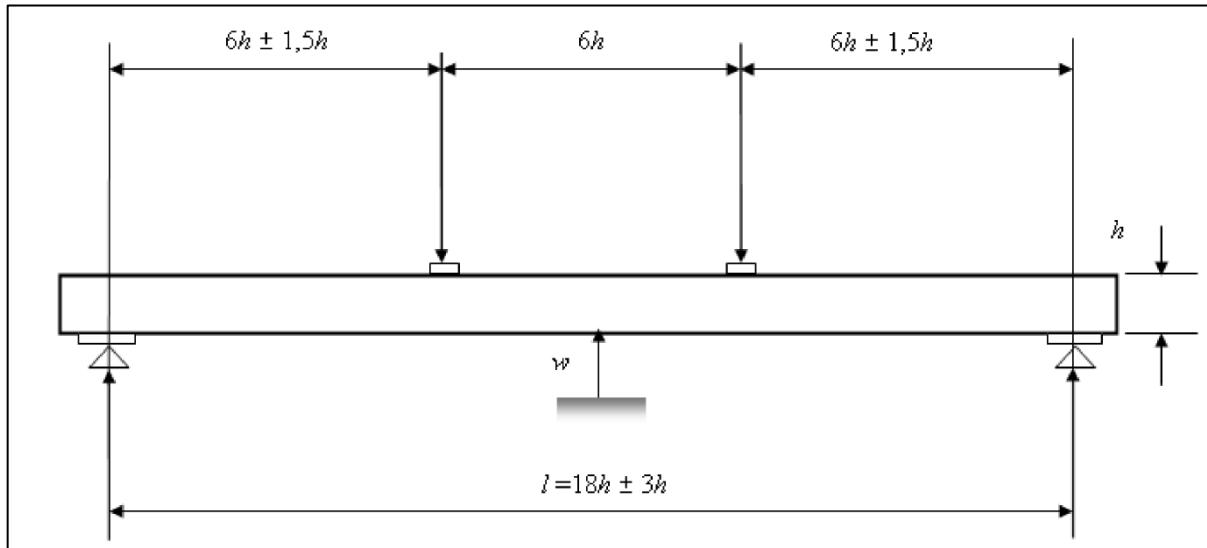


Abbildung 97: Prüfanordnung zur Messung des globalen Biege - Elastizitätsmodul und der Biegefestigkeit. Aus: DIN EN 408:2012-10, S. 12



Abbildung 98: Versuchsaufbau für einen Vierpunktbiegeversuch. An den Hirnholzseiten sind Sensoren für die Schalllaufzeitmessung angebracht.



Abbildung 101: Bruchbild von der Seite und Querschnitt des Balkens 6

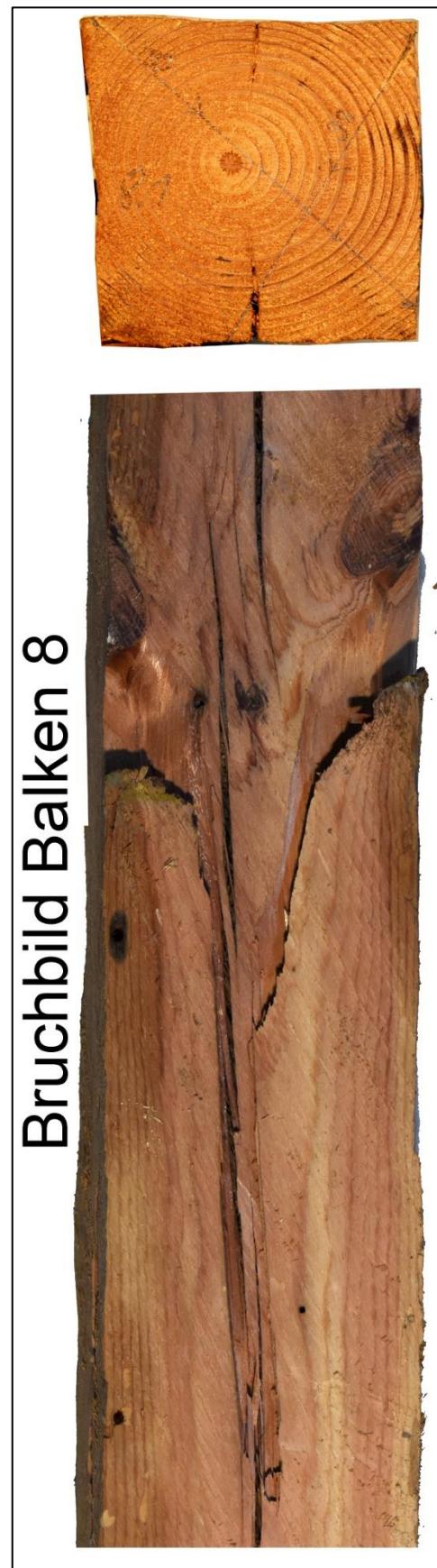


Abbildung 102: Bruchbild Balken 8 von unten mit Querschnitt



Abbildung 103: Bruchbild Balken 14 von der Seite mit Querschnitt

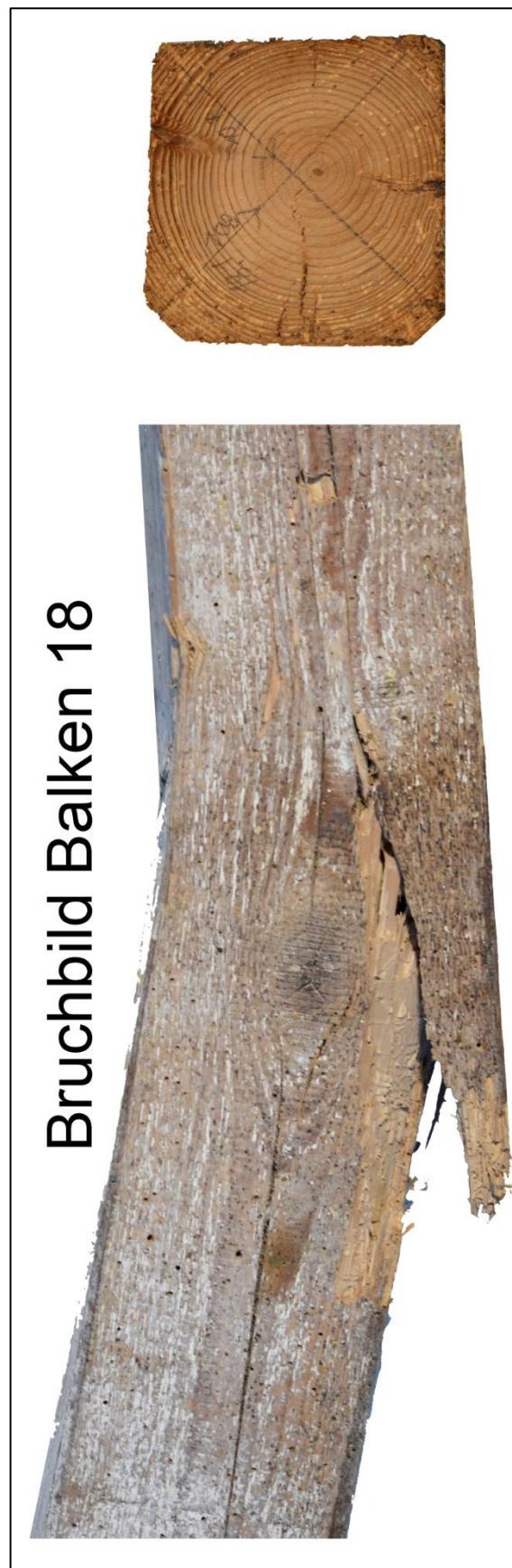


Abbildung 104: Bruchbild Balken 18 von der Seite mit Querschnitt

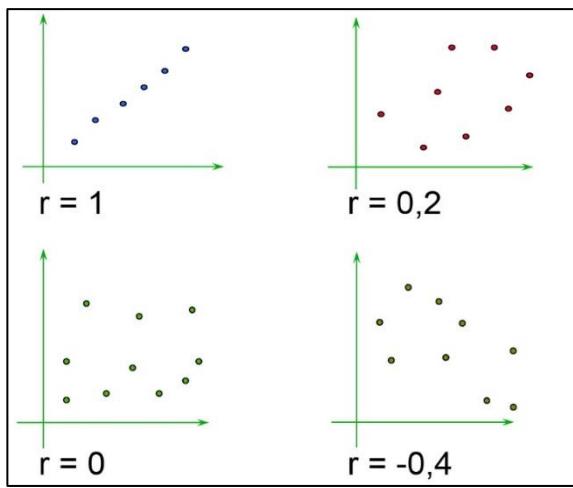


Abbildung 105: Korrelationskoeffizient für vier verschiedene Datensätze. Aus: Berghold

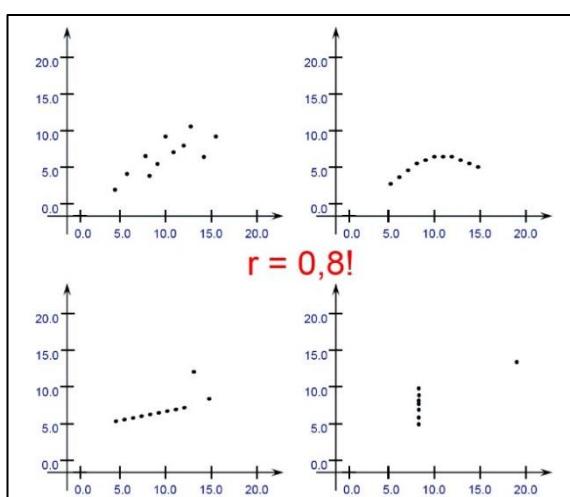


Abbildung 106: Korrelationskoeffizient für $r = 0,8$. Es lässt sich erkennen, dass der Koeffizient allein nicht für eine Aussage ausreicht. Es muss gleichzeitig das Streudiagramm interpretiert werden. Aus: Berghold

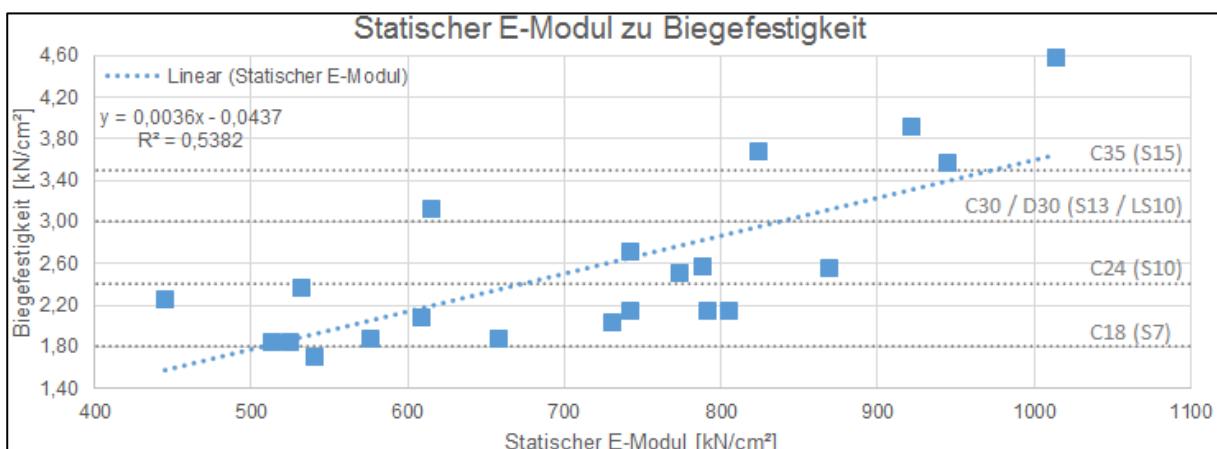


Abbildung 107: Statischer E-Modul zu Biegefestigkeit und Regressionsgerade

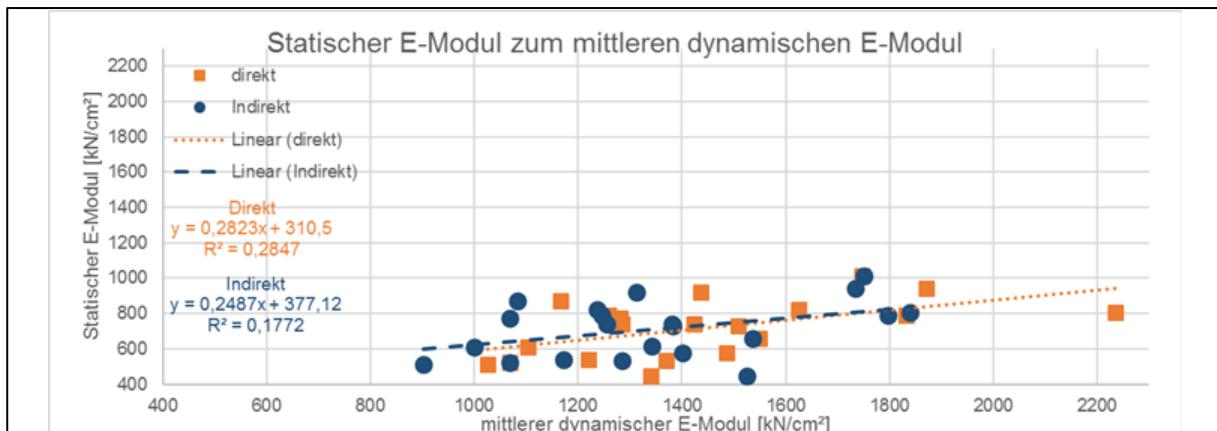


Abbildung 108: Statischer zu dynamisch ermitteltem Elastizitätsmodul mit Regressionsgerade.

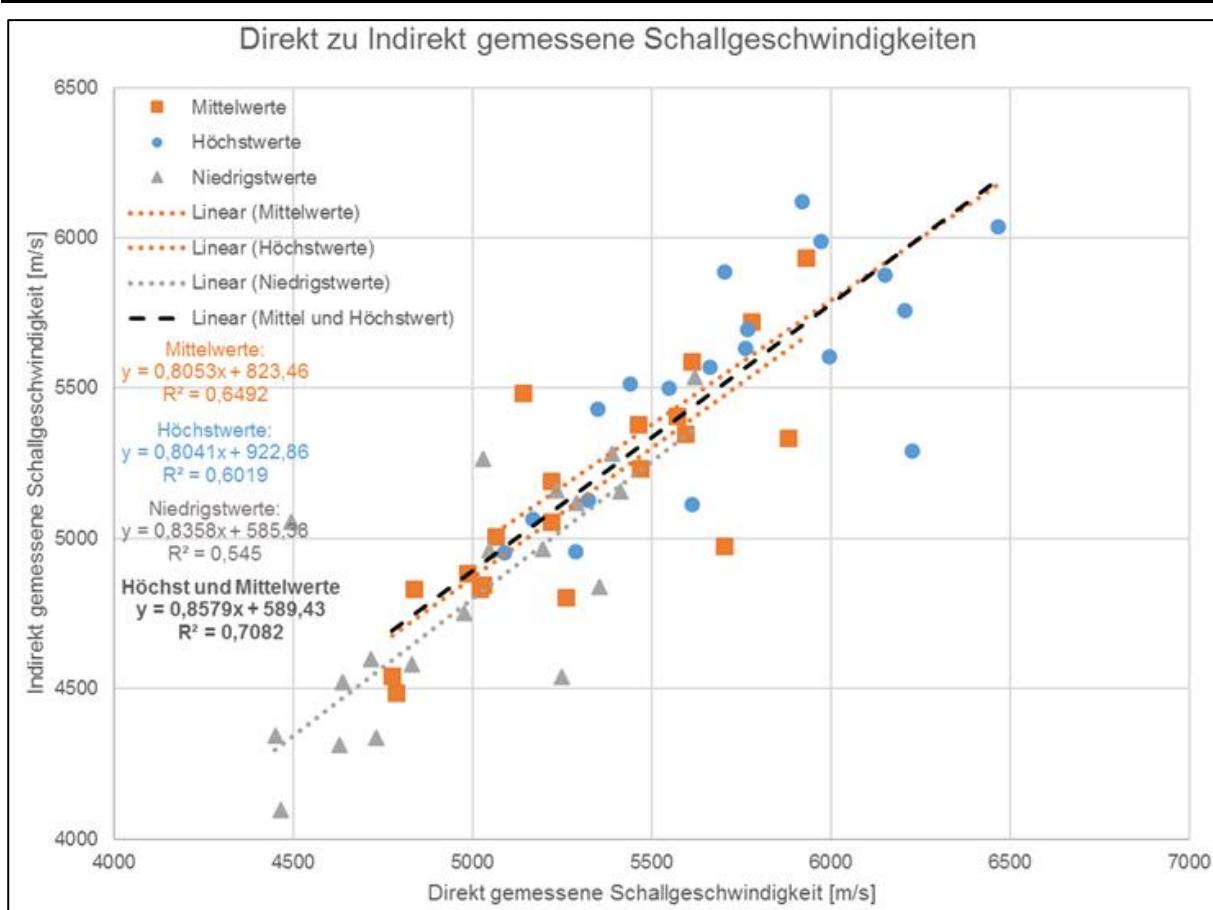


Abbildung 109: Streudiagramm der Schallgeschwindigkeiten. Vergleich direkt zu indirekt gemessenen Laufzeiten

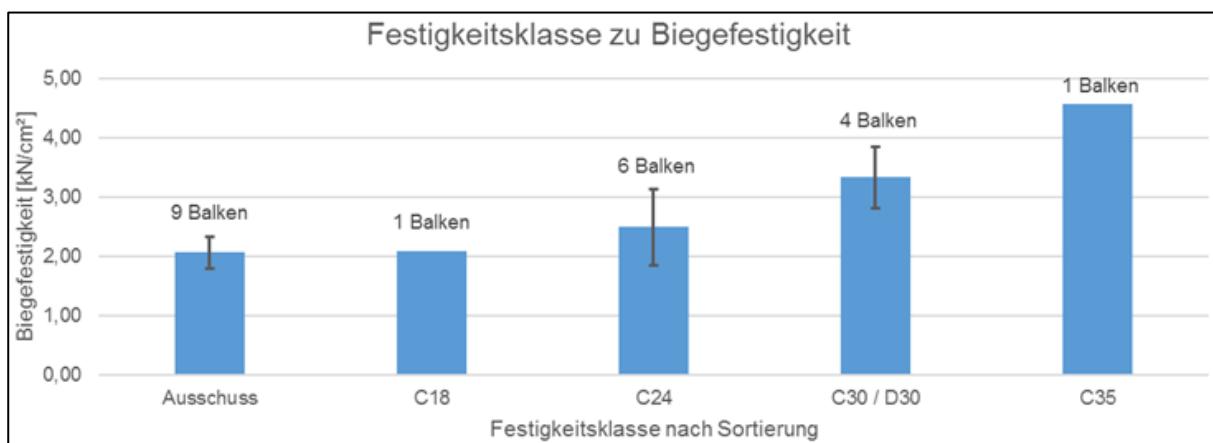


Abbildung 110: Balkendiagramm der mittleren Biegefestigkeit je Festigkeitsklassen nach der visuellen Sortierung mit Standardabweichung.

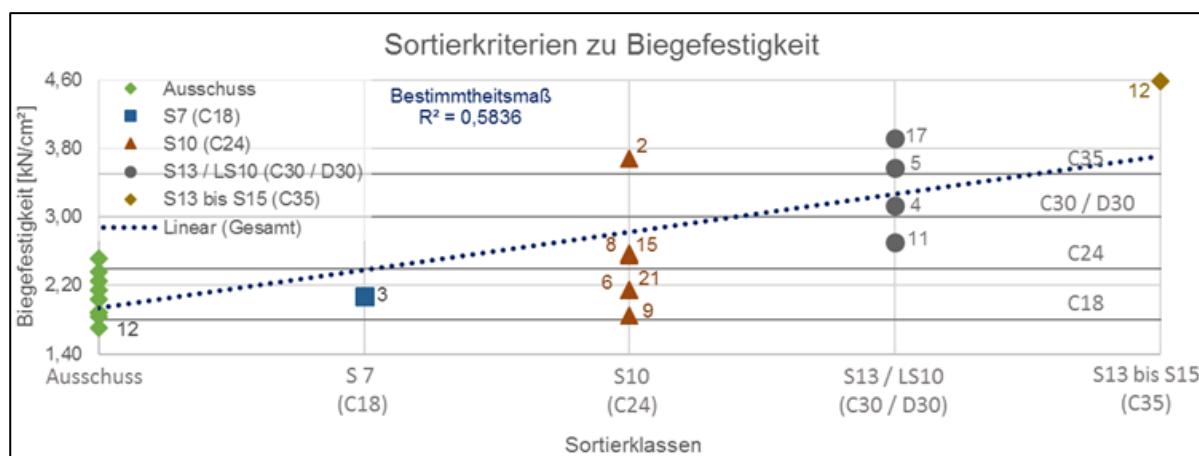


Abbildung 111: Sortierkriterien mit zugehöriger Biegefestigkeit der Balken.

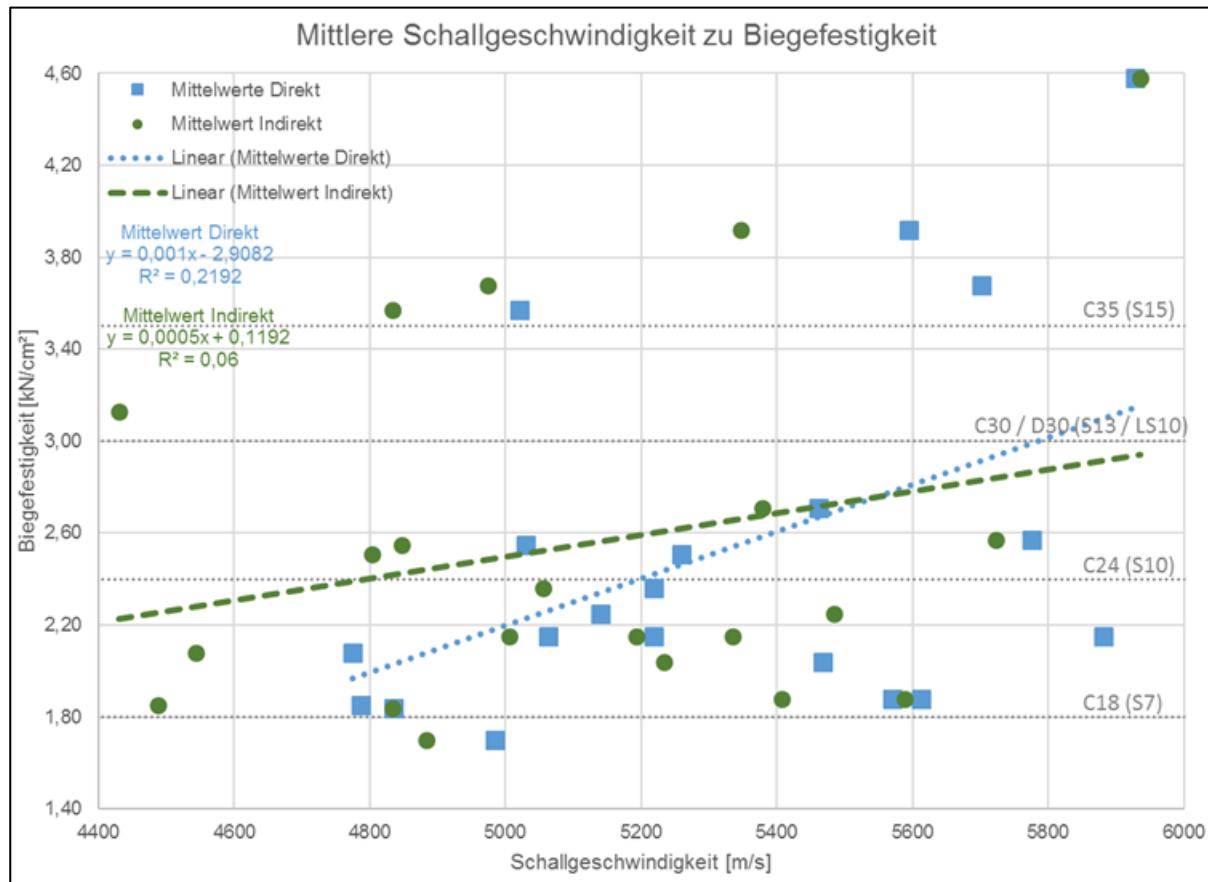


Abbildung 112: mittlere Schallgeschwindigkeit zu Biegefestigkeit mit Regressionsgeraden

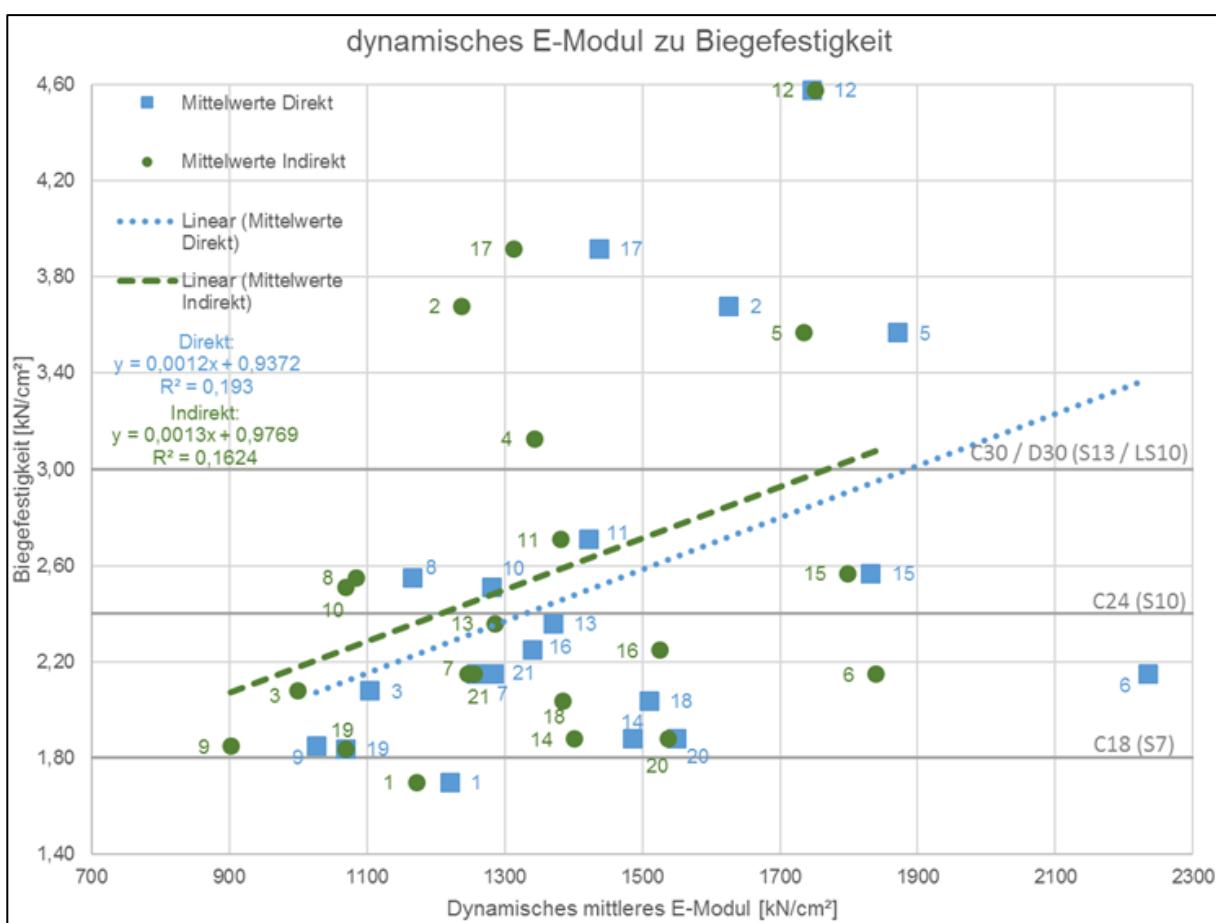


Abbildung 113: dynamisches E-Modul zur Biegefestigkeit mit Regressionsgeraden.

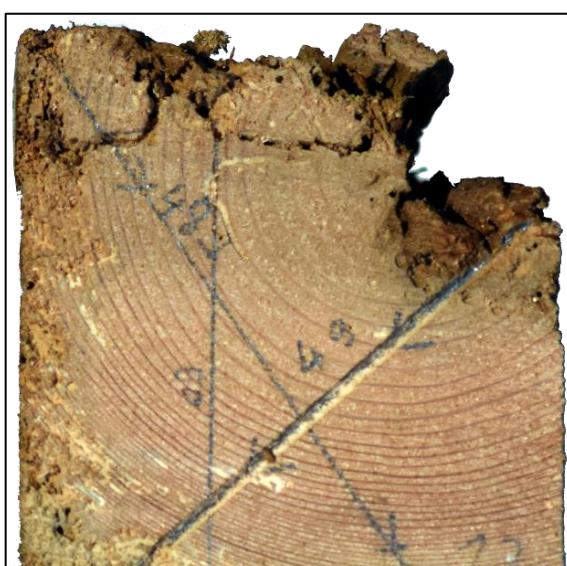


Abbildung 114: Querschnitt Balkenr. 1. Schädigungen durch Insektenbefall im Splint und fehlende Ecke. Die Bleistiftlinien bezeichnen die Bohrwiderstandsmessungen.

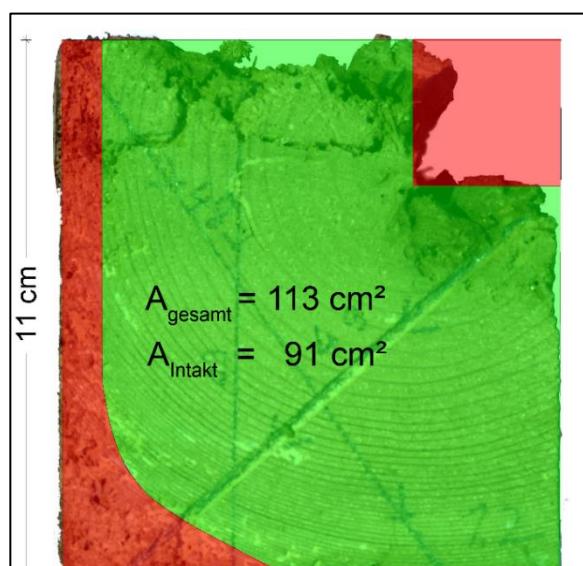


Abbildung 115: Querschnitt Balkenr. 1. Farbige Markierung des intakten Bereiches mit grün.



Abbildung 116: Eingesunkene Lasteinleitungsplatte. Bruchbild Balken 13 mit Braunfäule.

5 Anwendungsbeispiele

© INGENIEURBÜRO DIPLO.-PHYS. FRANK RINN, HEIDELBERG	
LEGENDE ZUM BESTANDSPLAN MIT FARBIGER ZUSTANDSKARTIERUNG	
- INGENIEURTECHNISCHE BAUWERKSUNTERSUCHUNG -	
<u>LAGE UND ORIENTIERUNG: RESISTOGRAPH®-, FEUCHTE UND IMPULS-MESSUNGEN, FOTOS</u>	
(24)	NUMMER DER RESISTOGRAPH®- MESSUNG (MIKRO-BOHRUNG)
⊗ ⊖	MESSUNG IN / AUS
→ ↑	MESSUNG HORIZONTAL /
12	FOTONUMMER
	⊗ → DIAGONAL IN / AUS ZEICHENEBENE
	17% (MATERIAL-) FEUCHTE [%]
	► 2900 → SCHALLGESCHWINDIGKEIT [M/S]
<u>ZUSTANDSDARSTELLUNG:</u>	
⊗ T	LEBENDER INSEKTEN-/PILZ-BEFALL
XXXXXX	UNSACHGEMÄSSE REPARATUR
~~~~~	VERFORMUNG / QUETSCHUNG
[ ]	KERNFÄULE / RANDSCHADEN
~~~~~	BRUCH, RISS
~~~~~	FASERABWEICHUNG (KRUMMSCHAFTIGKEIT, DREHWUCHS)
	_____ NICHT UNTERSUCHTER BEREICH
	/ \ \ \ \ \ 'FERN-DIAGNOSTISCH' OHNE BEFUND
	████████ KEIN SCHADENBEFUND
	██████ \ \ \ \ \ OBERFLÄCHENSCHADEN (BIS 1 CM)
	██████ \ \ \ \ \ QUERSCHNITT-VERLUST < ~ 30%
	██████ \ \ \ \ \ QUERSCHNITT-VERLUST > ~ 30%
	██████ \ \ \ \ \ HOHE ÄSTIGKEIT
<u>KONSTRUKTIVE UND ZEICHNERISCHE ASPEKTE / SYMBOLE:</u>	
— · —	VERMUTETER KONSTR.-VERLAUF
	NICHT KRAFTSCHLÜSSIG
○	GESCHÄDIGTER HOLZNAGEL
E NH	HOLZART: EICHE (E), NADELHOLZ (NH), BRETTSCHEICHTHOLZ (BS)
NICHT FARBIG ANGELEGT HÖLZER WAREN WÄHREND DER UNTERSUCHUNG NICHT VORHANDEN, NICHT ZUGÄNGLICH ODER SOLLTEN NICHT UNTERSUCHT WERDEN. IN FARBIG ANGELEGTEN, ALSO BEWERTETEN BEREICHEN OHNE ENTSPRECHENDE MESSUNGEN BASIERT DIE BEWERTUNG AUF HERKÖMMLICHEN UNTERSUCHUNGSMETHODEN (VISUELLE PRÜFUNG, KLOPPPROBE - JE NACH ERREICHBARKEIT), OHNE MESSTECHNISCH ABGESICHERTE AUSSAGE ÜBER DEN INNEREN ZUSTAND.	
10.05.2005	

Abbildung 117: Legende der Zustandskartierung.  
Aus: Rinn (2006), S. 32.

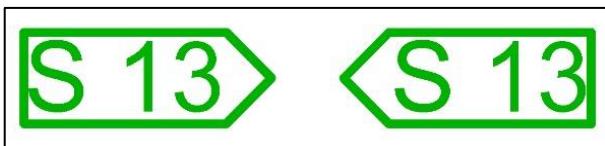


Abbildung 118: Symbol für visuell nach DIN 4074 sortierte Bauteilbereiche.

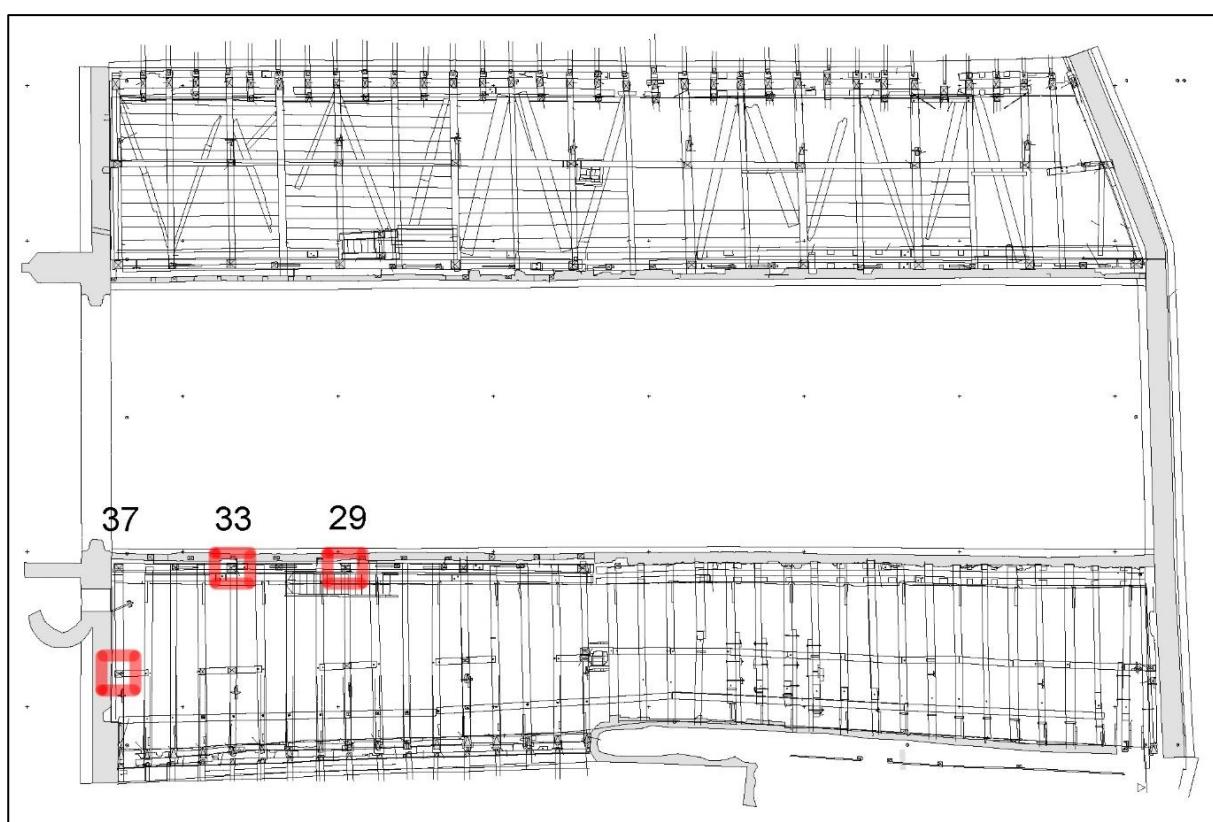


Abbildung 119: Grundriss Langhaus der Dominikanerkirche Bamberg, Rot markiert sind die untersuchten Ständer, Plan von Arbeitsgemeinschaft Benke, Kreisel, Schmidt (2008)

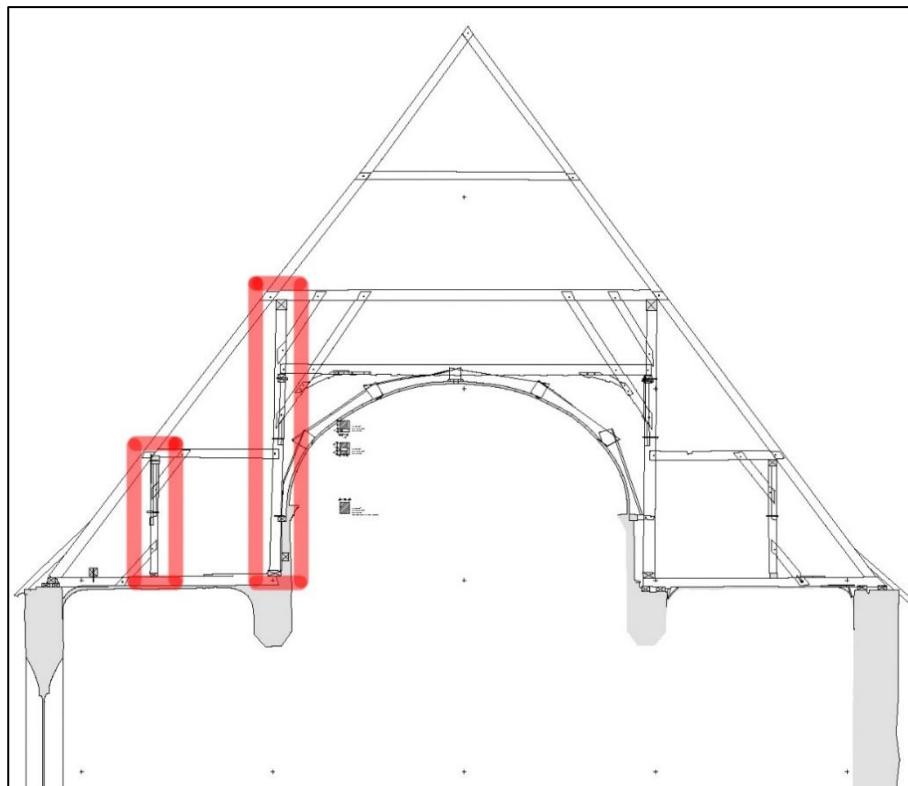


Abbildung 120: Querschnitt 37,33, 29 des Langhauses der Dominikanerkirche in Bamberg. Rot markiert sind die untersuchten Bauteile. Plan von Arbeitsgemeinschaft Benke, Kreisel, Schmidt (2008)

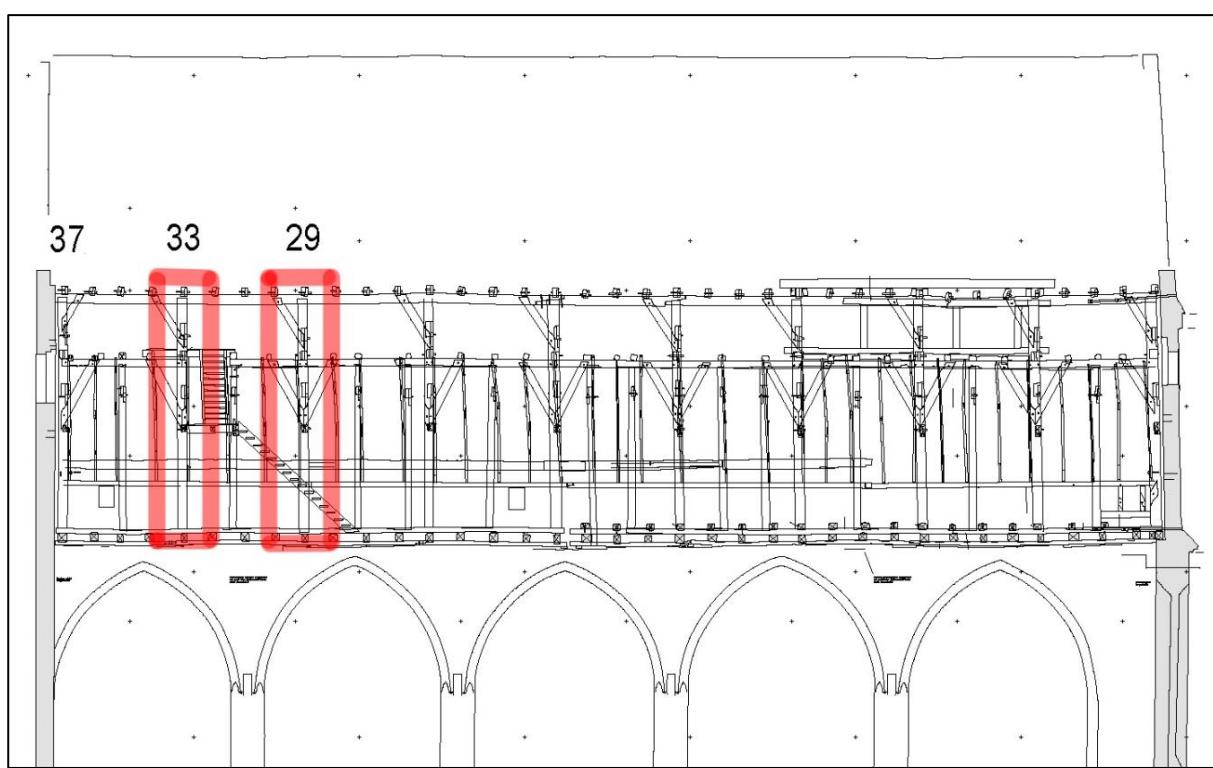


Abbildung 121: Längsschnitt des Langhauses der Dominikanerkirche in Bamberg, Blick nach Westen, Rot Markiert sind die untersuchten inneren Ständer. Plan von Arbeitsgemeinschaft Benke, Kreisel, Schmidt (2008)

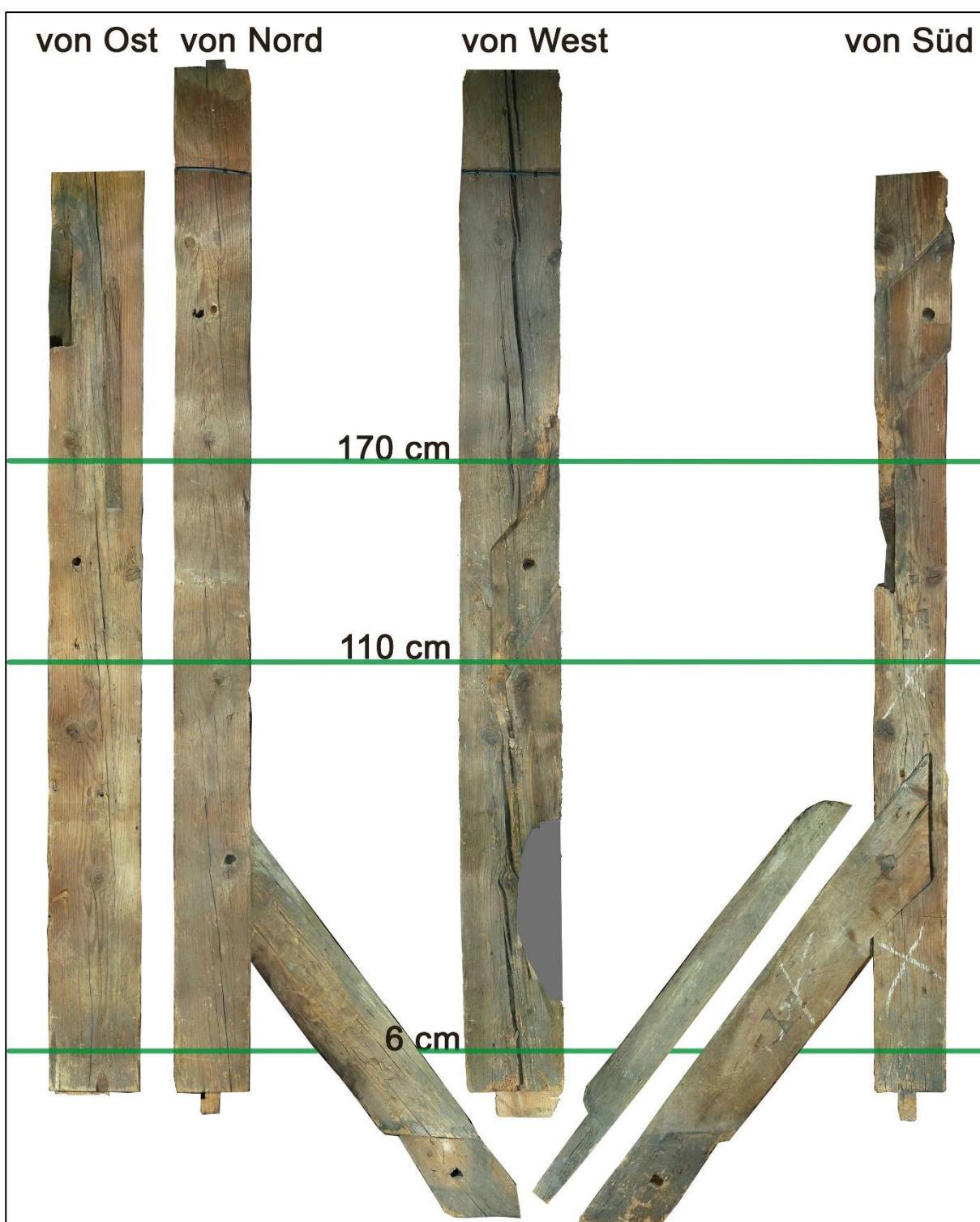


Abbildung 122: Orthofotos des westlichen äußeren Stuhlständers 37, Grün markiert sind die Schnittebenen

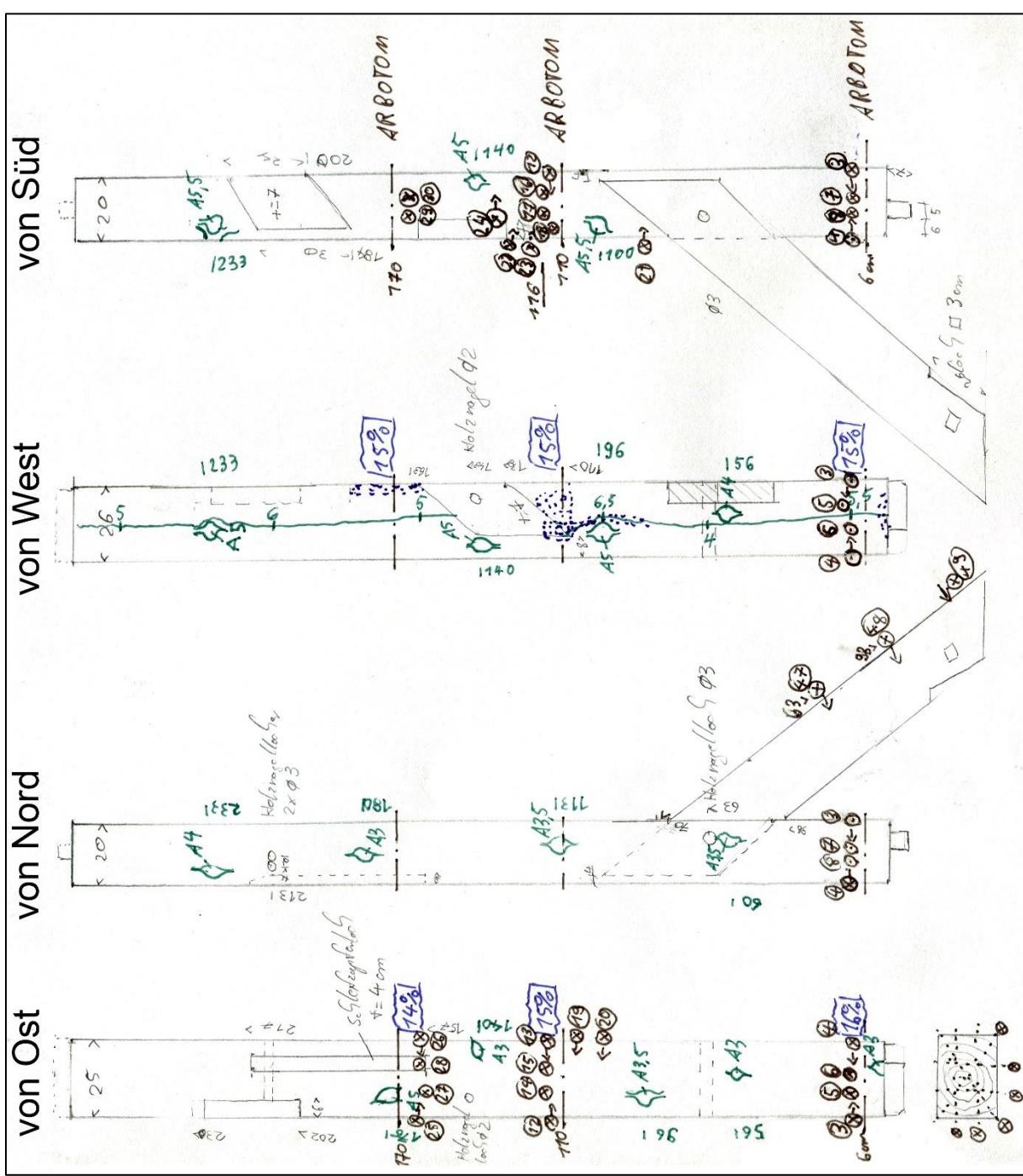


Abbildung 123: In-situ Pläne des Außenständers 37, eingetragen sind die Bohrungen, Sortiermerkmale und Schäden

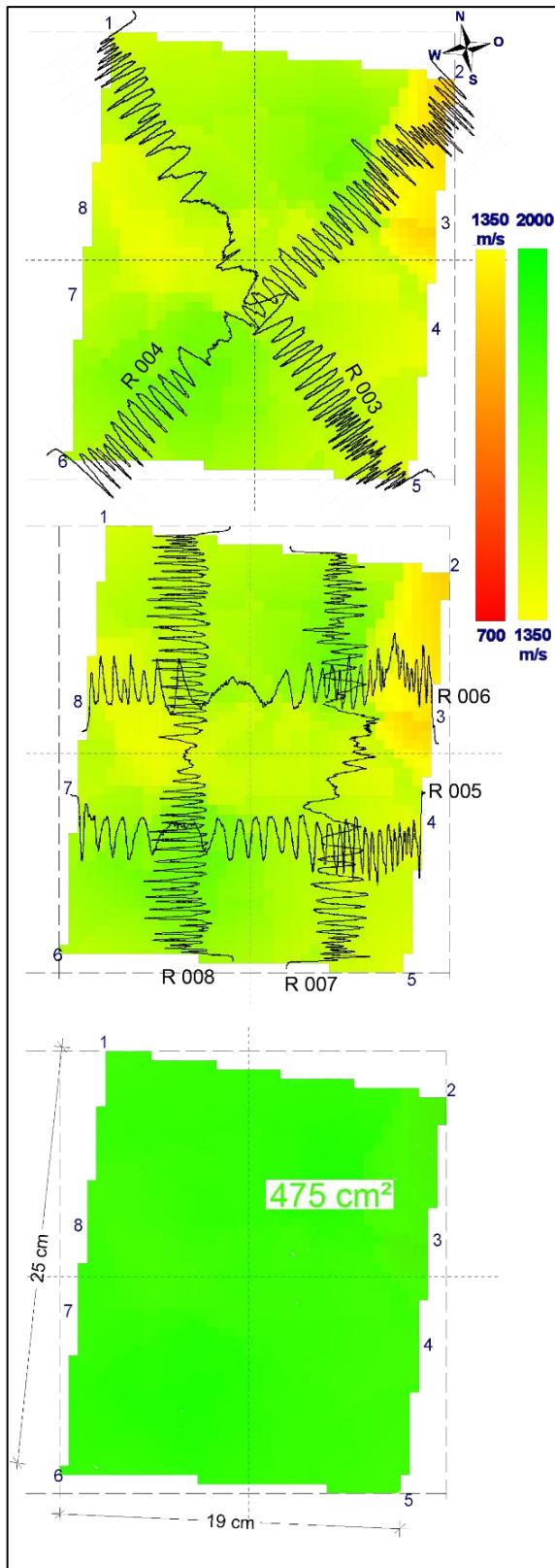


Abbildung 124: Schnitt auf 6 cm Höhe.  
(oben und mitte) Schalltomogramm mit Bohrwider-  
standsprofilen.  
(unten) geschätzter Restquerschnitt

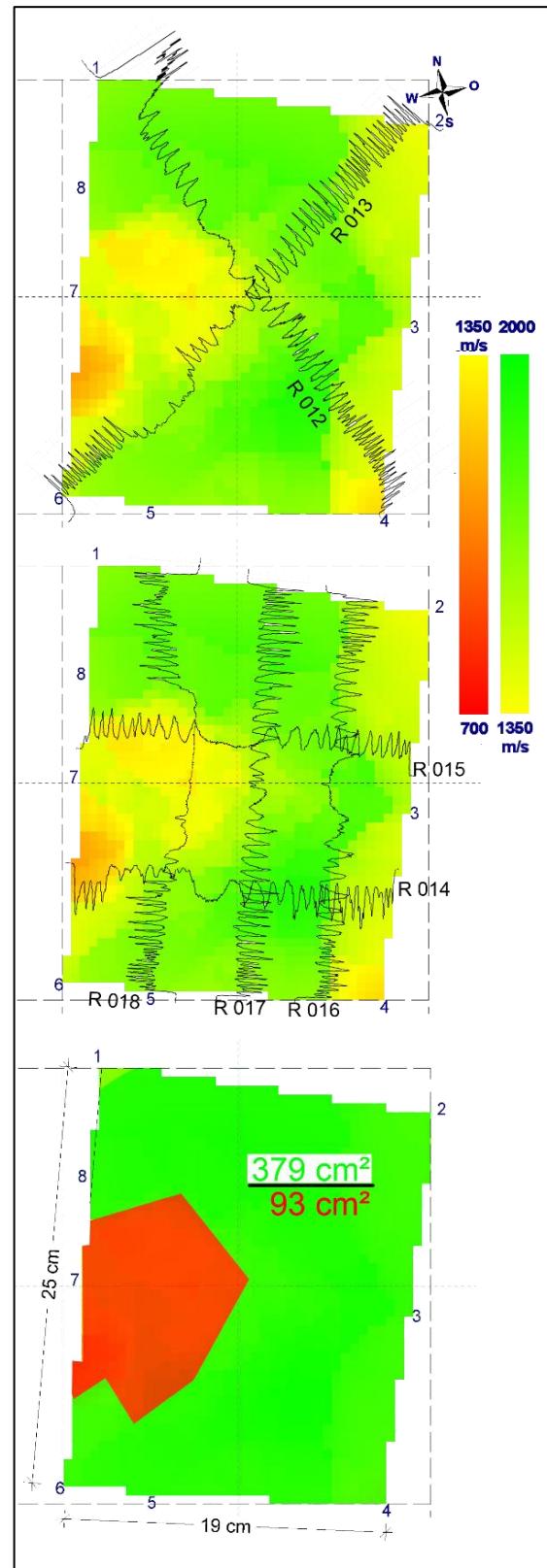


Abbildung 125: Schnitt auf 110 cm Höhe.  
(oben und mitte) Schalltomogramm mit Bohrwider-  
standsprofilen.  
(unten) geschätzter Restquerschnitt

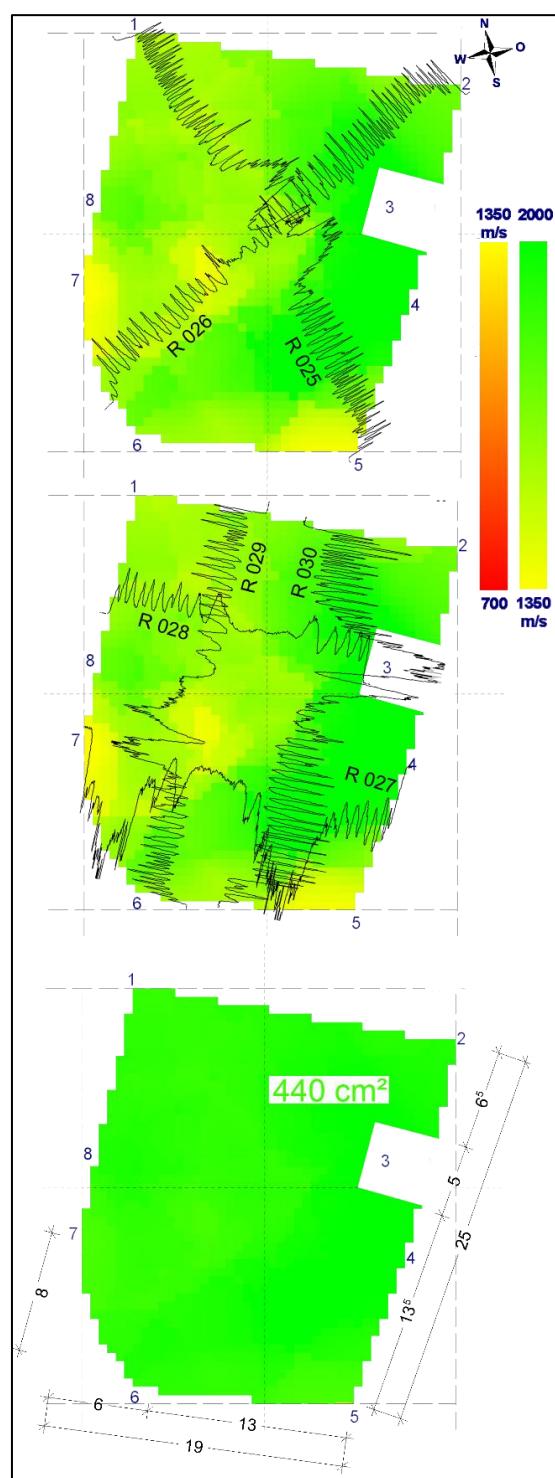
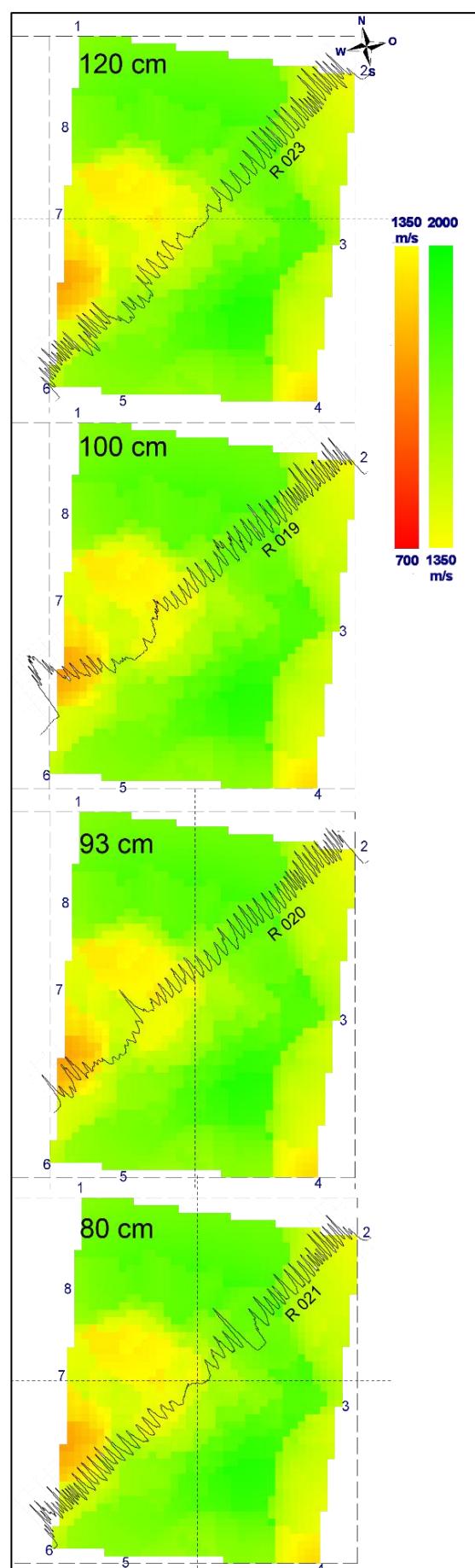


Abbildung 126: (links) Bohrprofile über und unter der Schnittebene 110 cm

Abbildung 127: (rechts) Schnitt auf 170 cm Höhe.  
(oben und mitte) Schalltomogramm mit Bohrwiderstandsprofilen.  
(unten) geschätzter Restquerschnitt

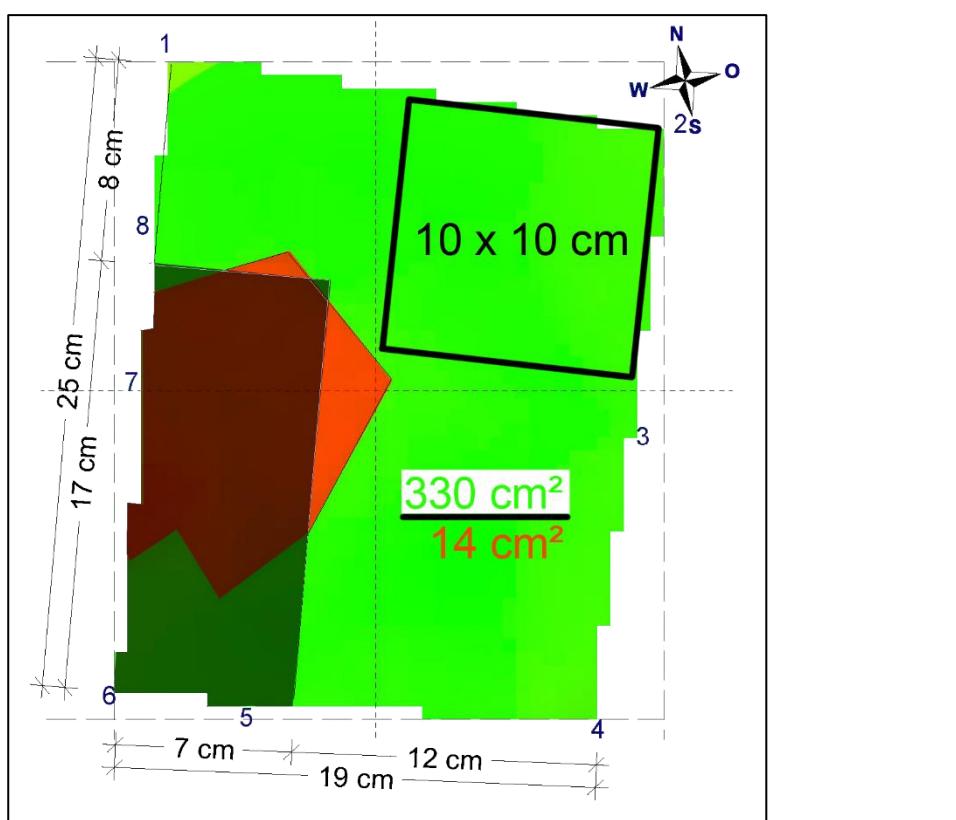


Abbildung 128: Restquerschnitt auf 115 cm Höhe. Der Schaden liegt größtenteils direkt unter der Blattsasse.  
Oben rechts ist der angesetzte Querschnitt eingezeichnet.

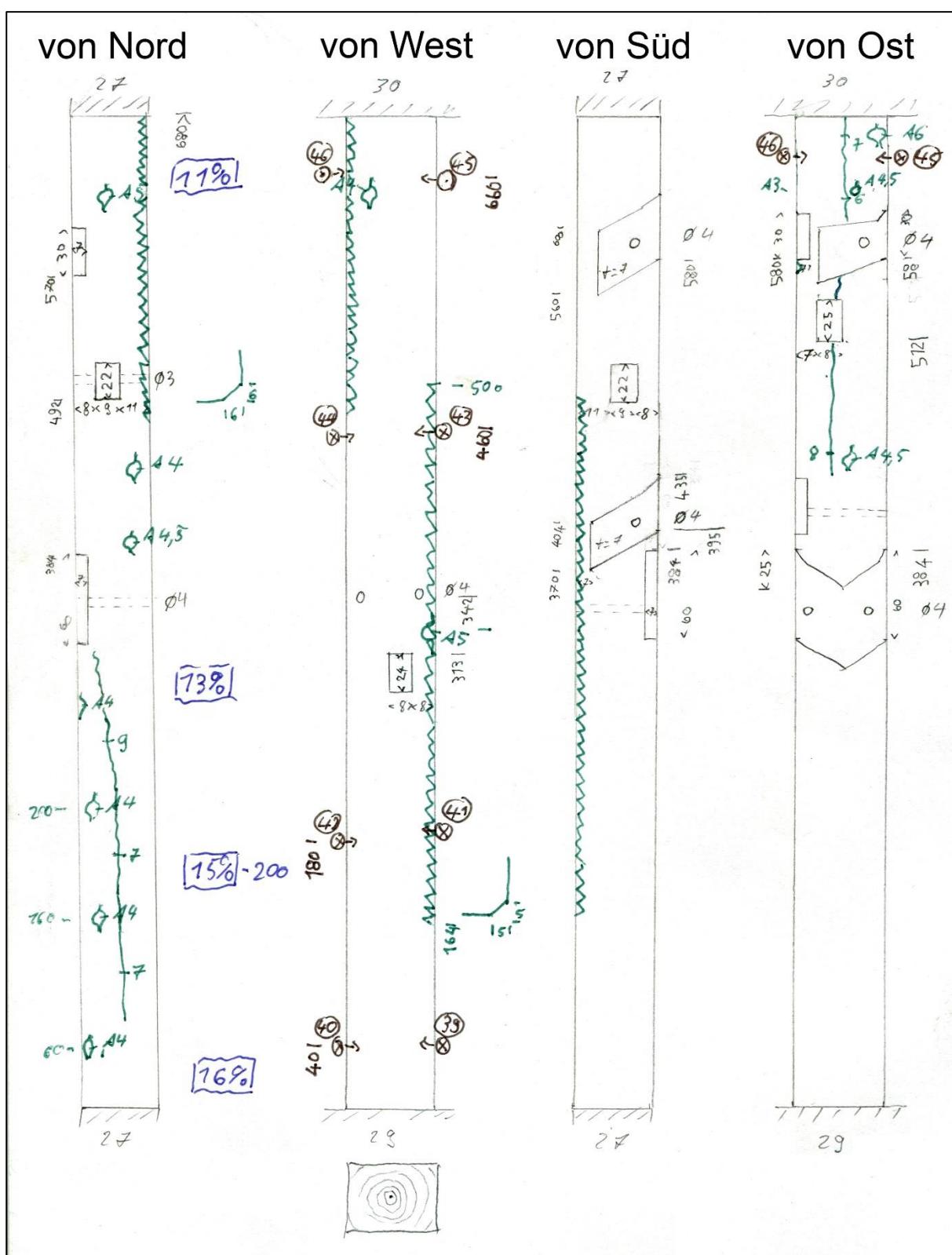


Abbildung 129: Westlicher innerer Ständer 29 – in situ Plan, Sortiermerkmale und Bohrungen sind eingezeichnet.  
Die Schallmessung war zwischen 40 und 660 cm.

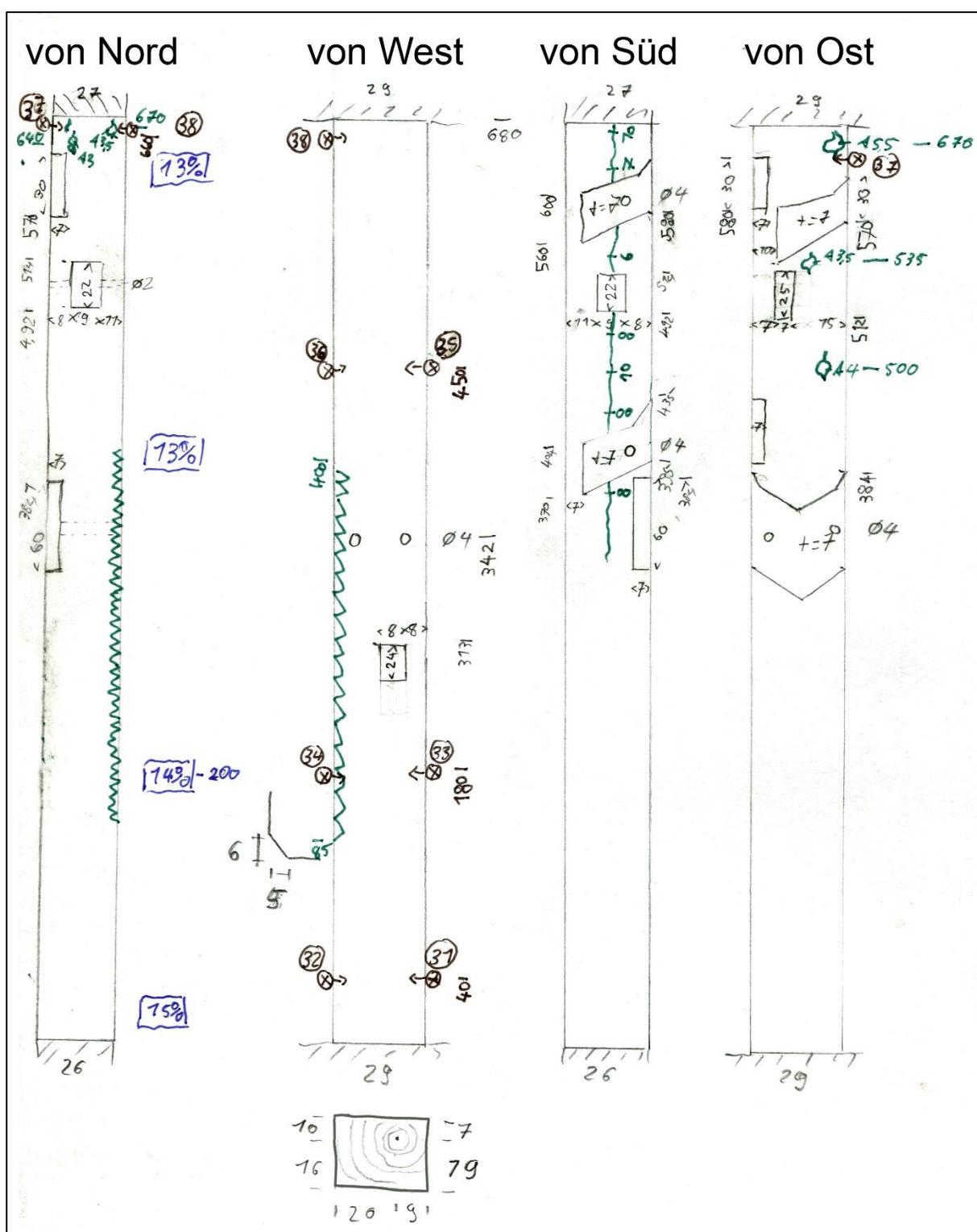


Abbildung 130: Westlicher innerer Ständer 33 – in situ Plan, Sortiermerkmale und Bohrungen sind eingezeichnet. Die Schallmessung war zwischen 40 und 660 cm.

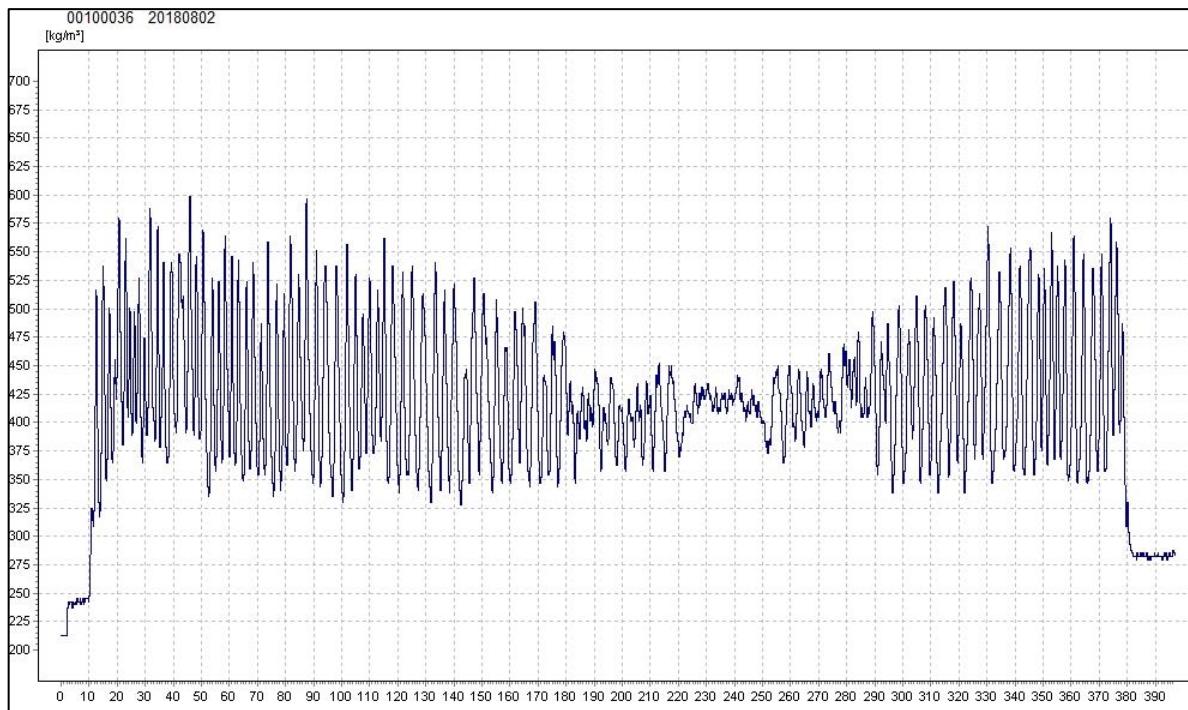


Abbildung 131: Bohrprofil R 036, des westlichen Tonnenständers 33 auf einer Höhe von 6,60 m. Der Rohdichteanstieg nach außen ist deutlich zu erkennen.

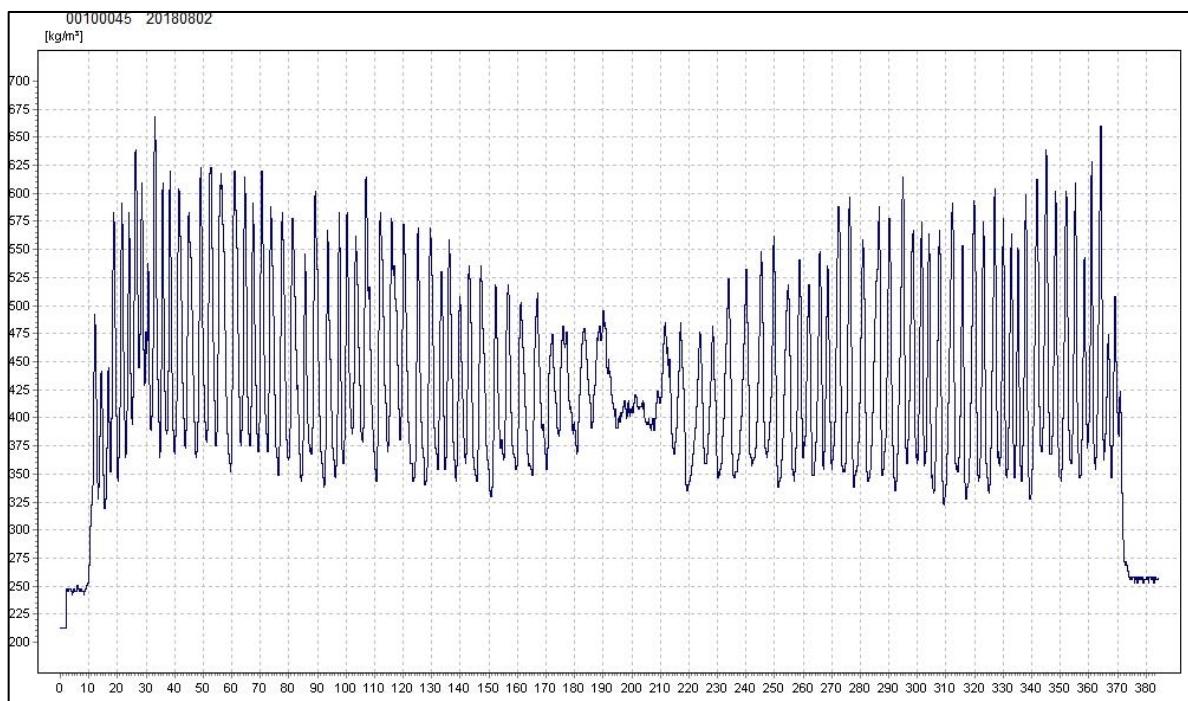


Abbildung 132: Bohrprofil R 045, des westlichen Tonnenständers 29 auf einer Höhe von 6,60 m. Der Rohdichteanstieg nach außen ist deutlich zu erkennen.



Abbildung 133: Tonnenständer 33, Sensoren oben



Abbildung 134: Tonnenständer 33, Sensoren unten

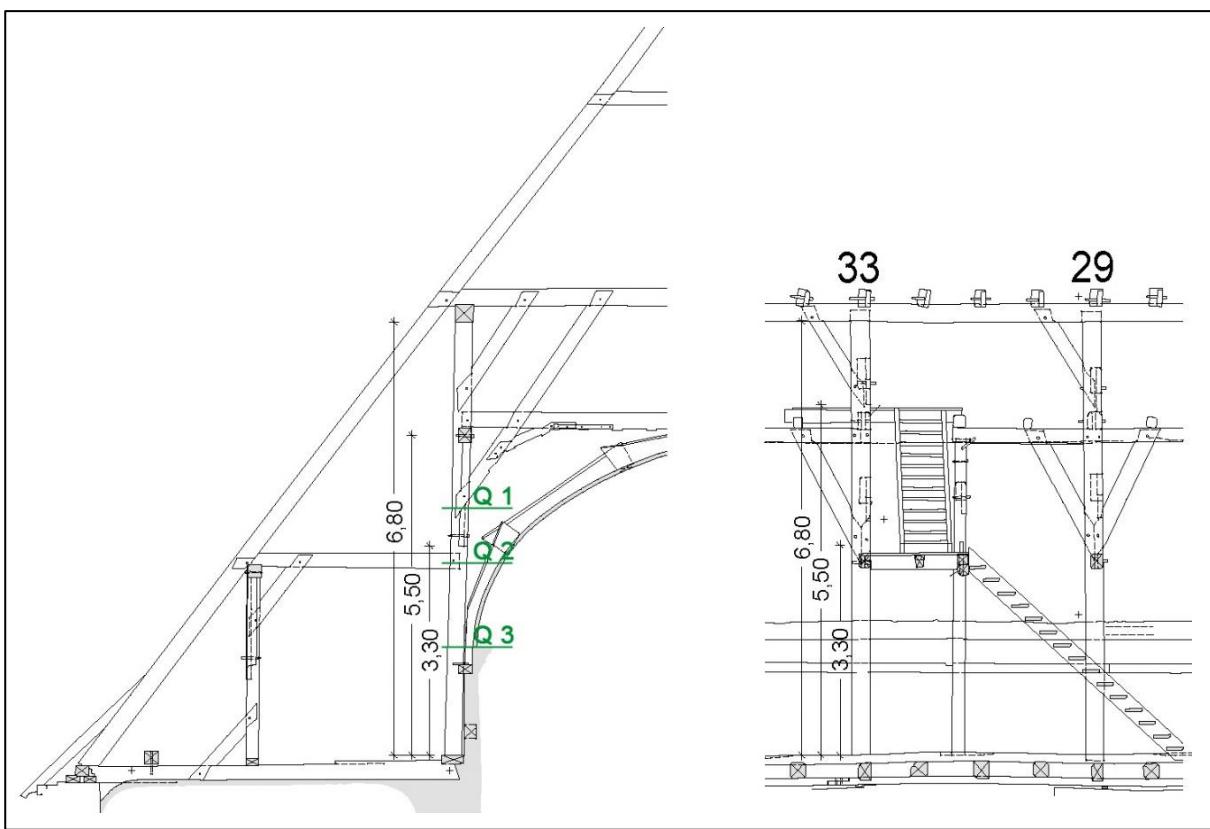


Abbildung 135: Knicklängen der inneren Stahlständer mit Querschnittsschnitten

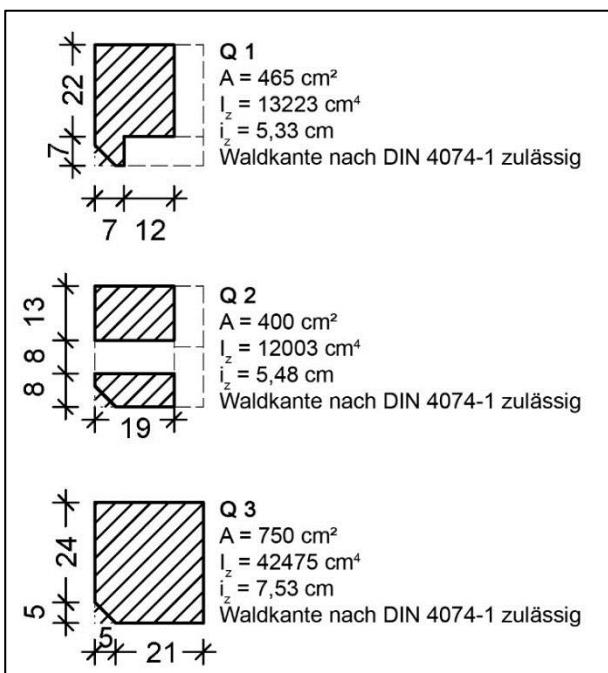


Abbildung 136: Innerer Ständer, Querschnittswerte je nach Knicklänge

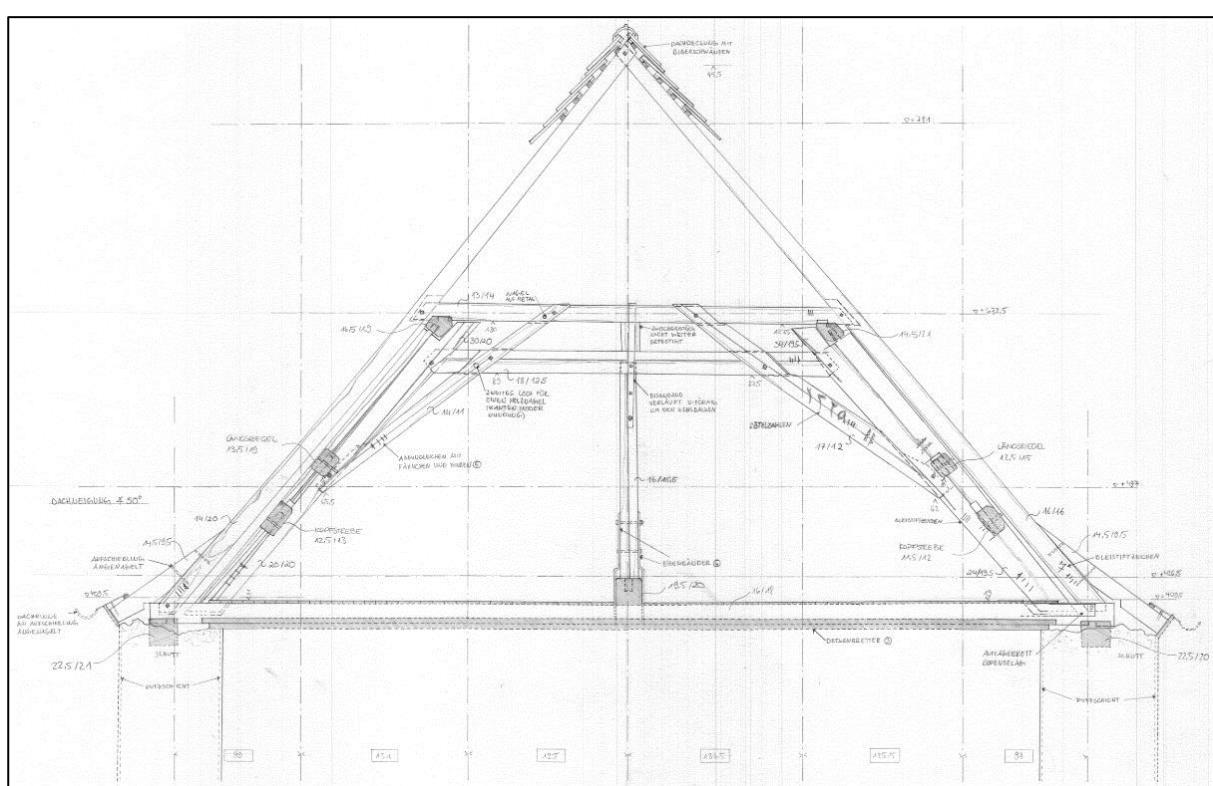


Abbildung 137: Kapelle St. Walburga, Querschnitt 7. Von Bischof und Hassen (2018)

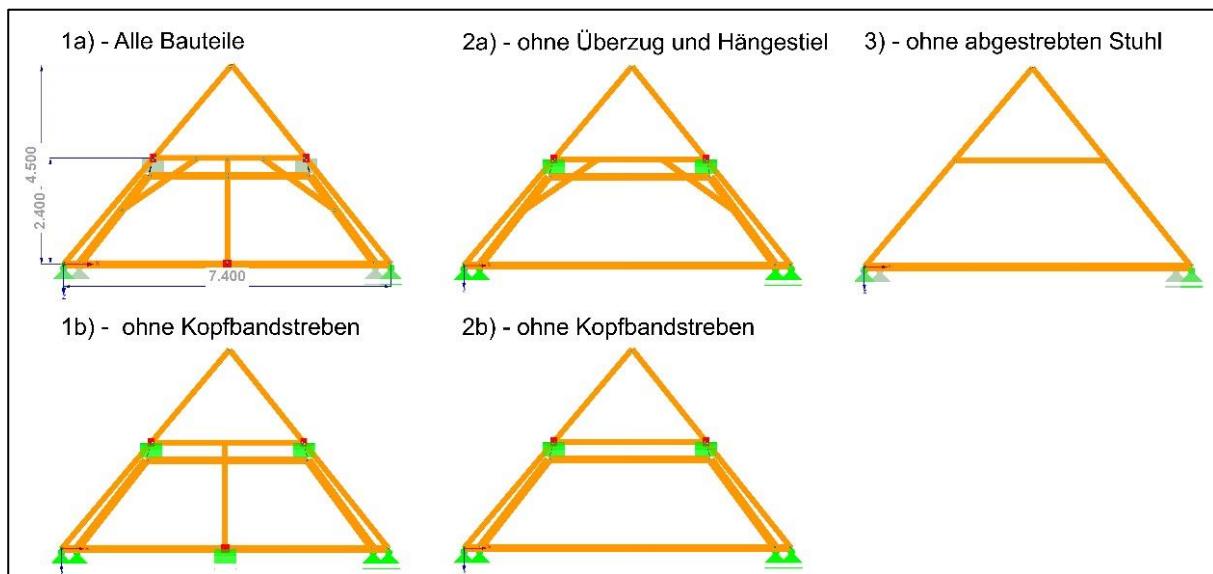


Abbildung 138: Übersicht über die Verschiedenen Varianten

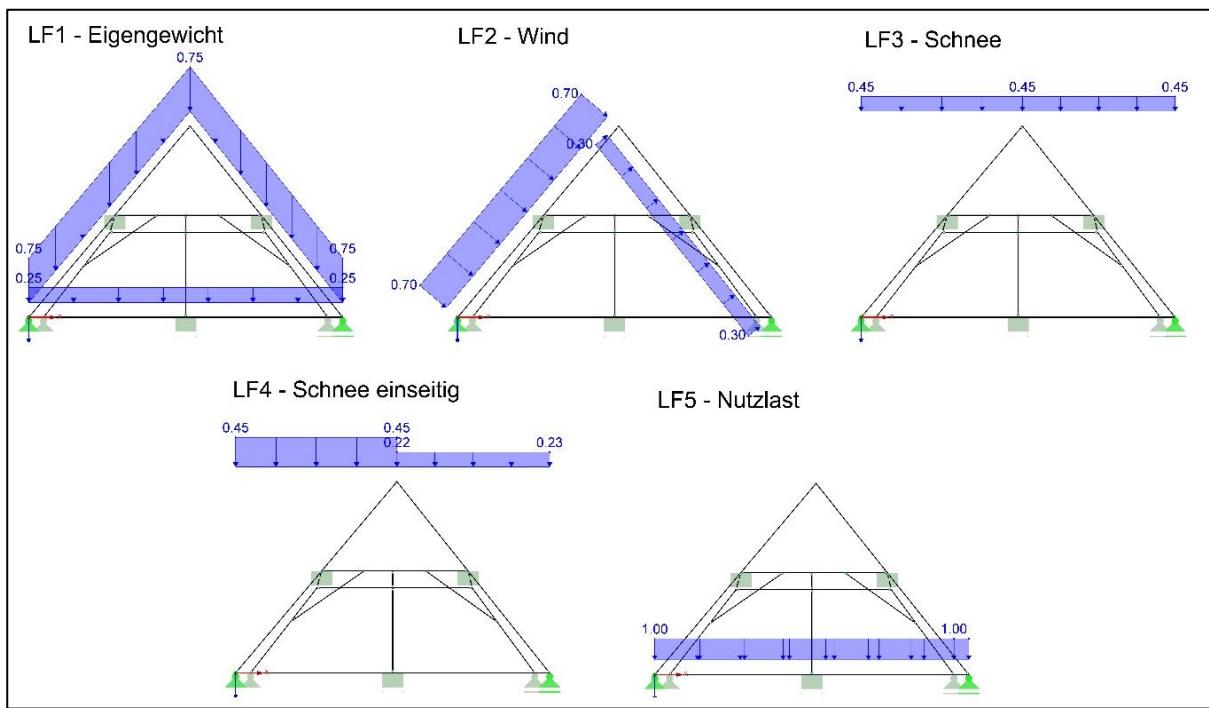


Abbildung 139: Lastfälle für die statische Berechnung, für alle Modelle gleich

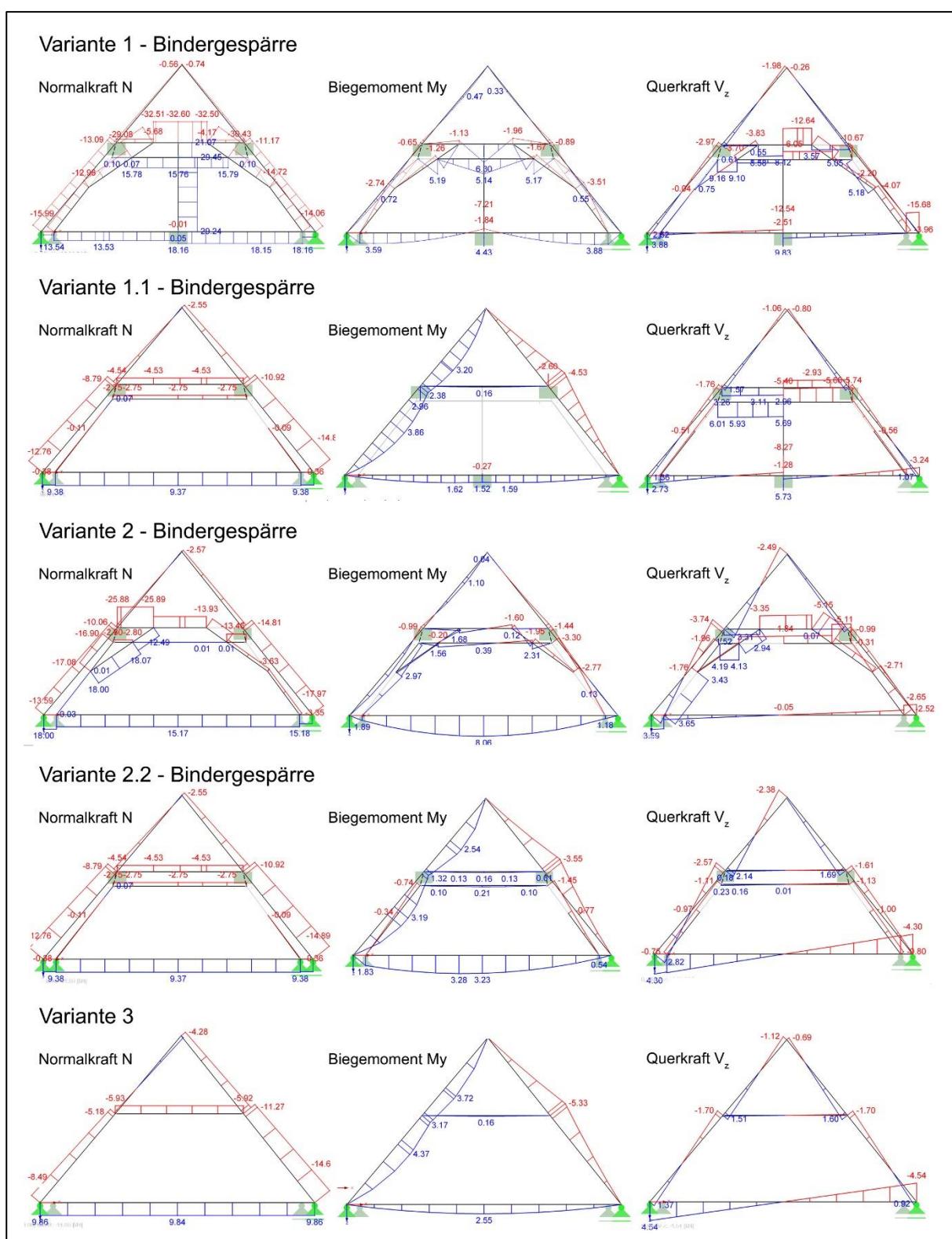


Abbildung 140: Lastfälle für die statische Berechnung, für alle Modelle gleich

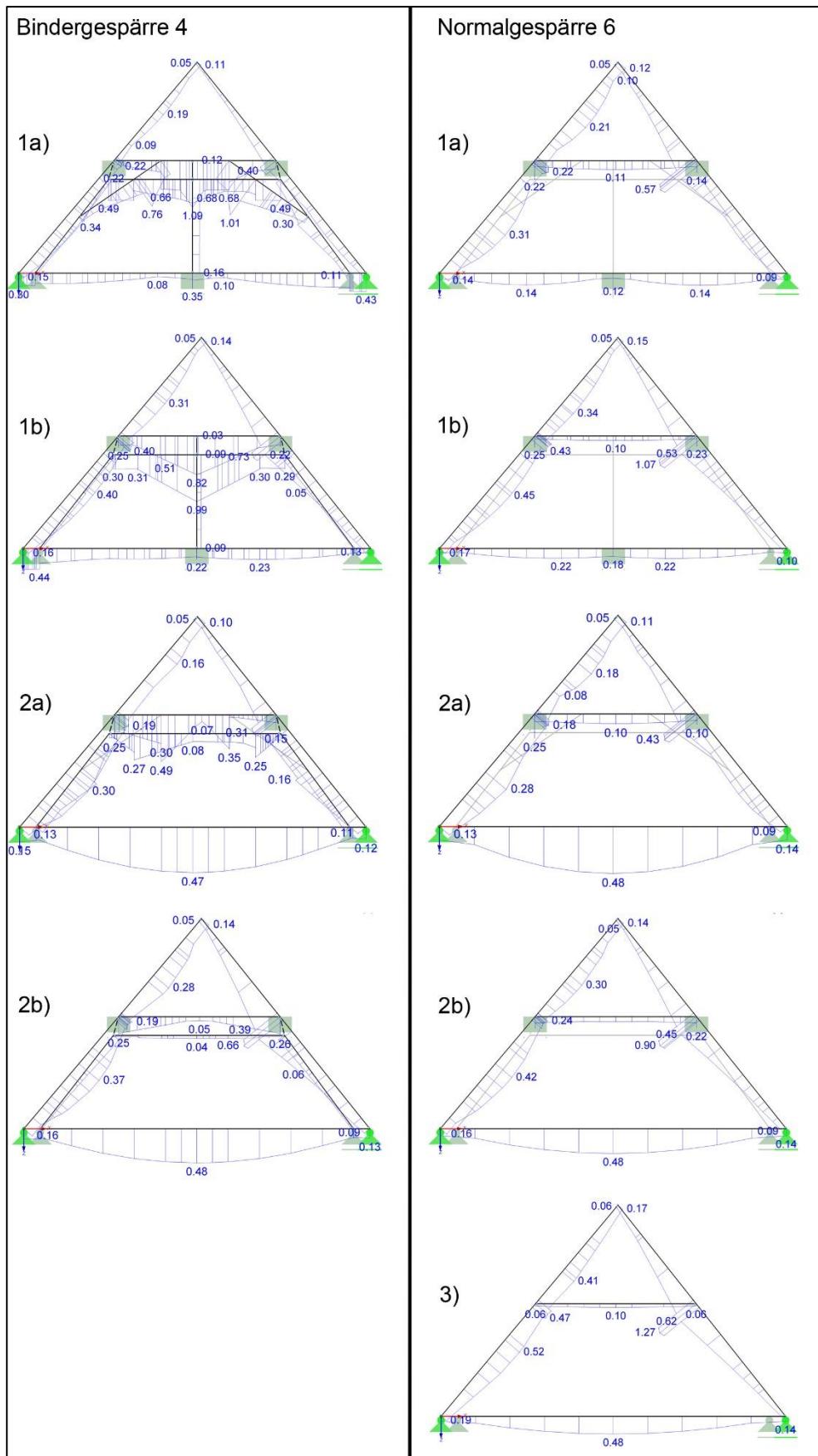


Abbildung 141: Ausnutzungsgrade der Holzquerschnitte, Getrennt nach Normal- und Bindergespärre



Abbildung 142: Kapelle St. Walburga, Normalgespärre 6, Sparren Süd (links) von West, (rechts) von Ost



Abbildung 143: Kapelle St. Walburga, Dachlatten der Südseite

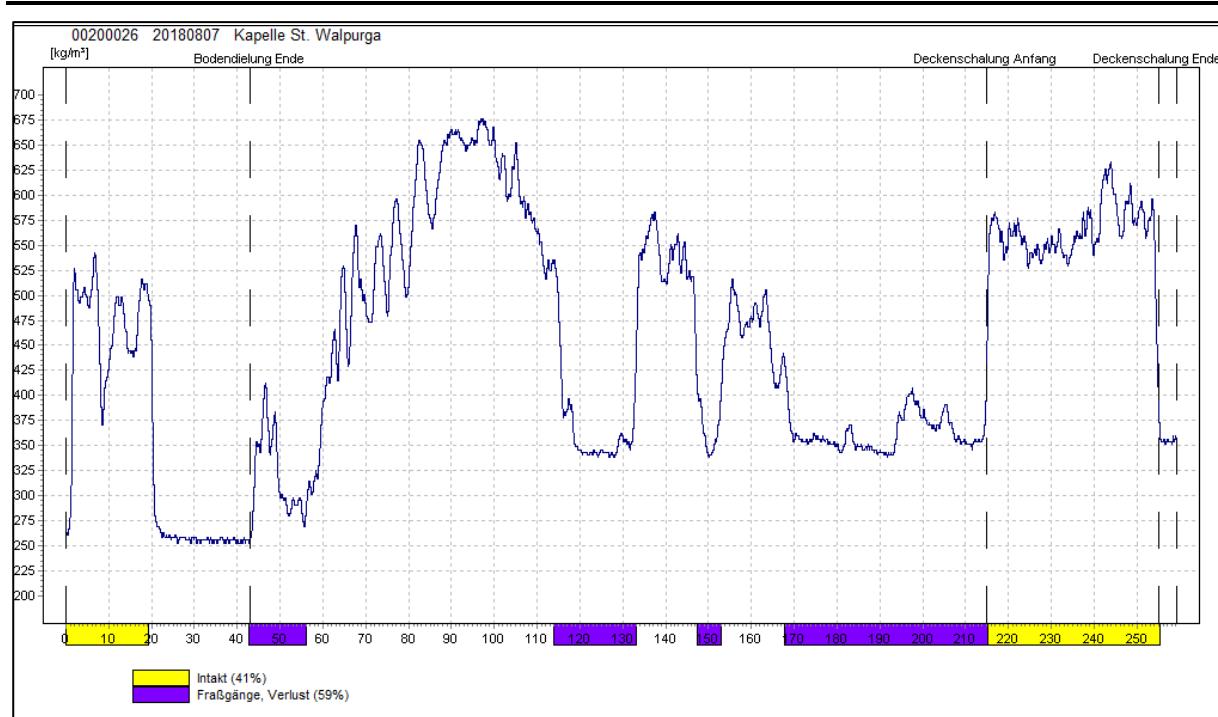


Abbildung 144: Bohrwiderstandsprofil R 026, Dachbalken 1, mit Fraßgängen

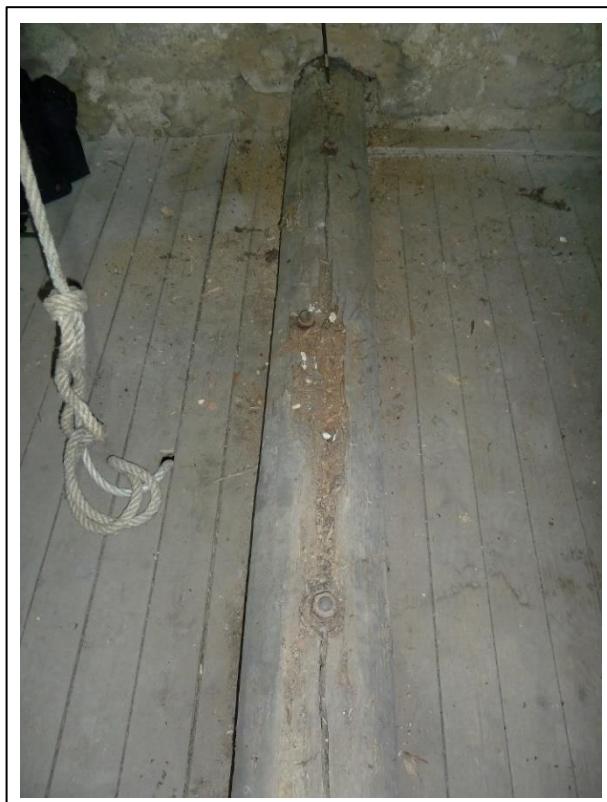


Abbildung 145: Überzug westliche Seite mit Innenfäule unter dem Dachreiter

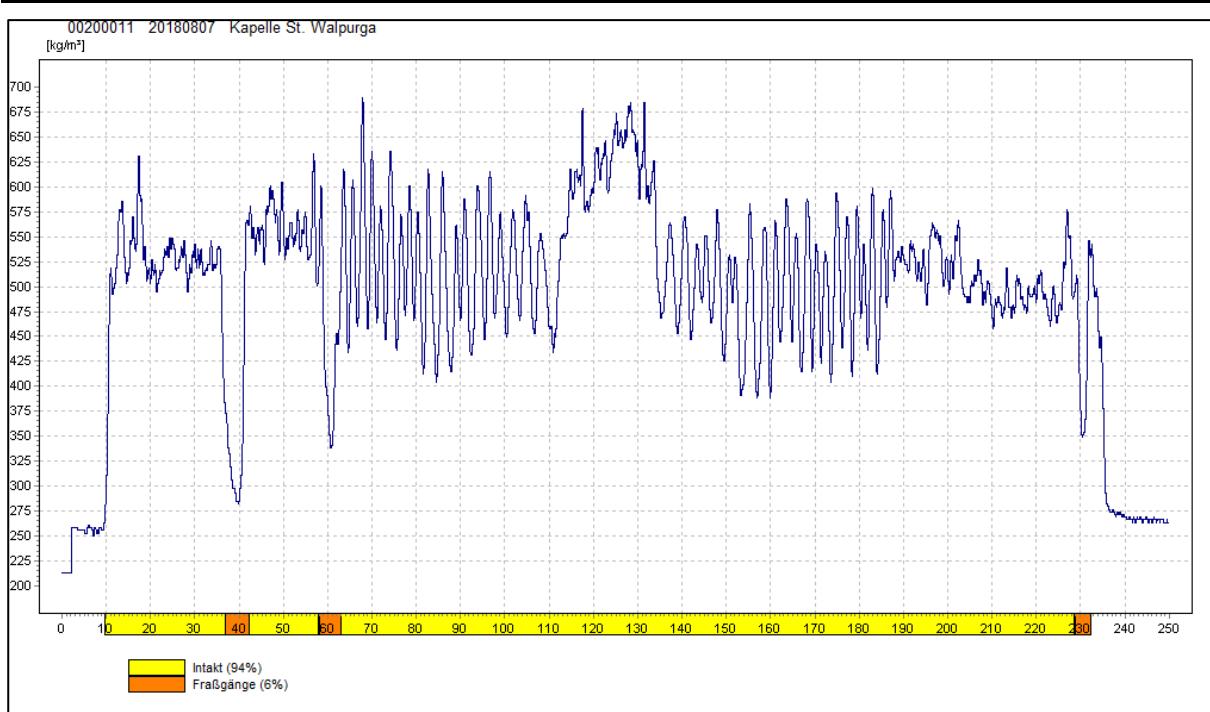


Abbildung 146: Bohrprofil R 011 aus Insektenbefallenem Überzug

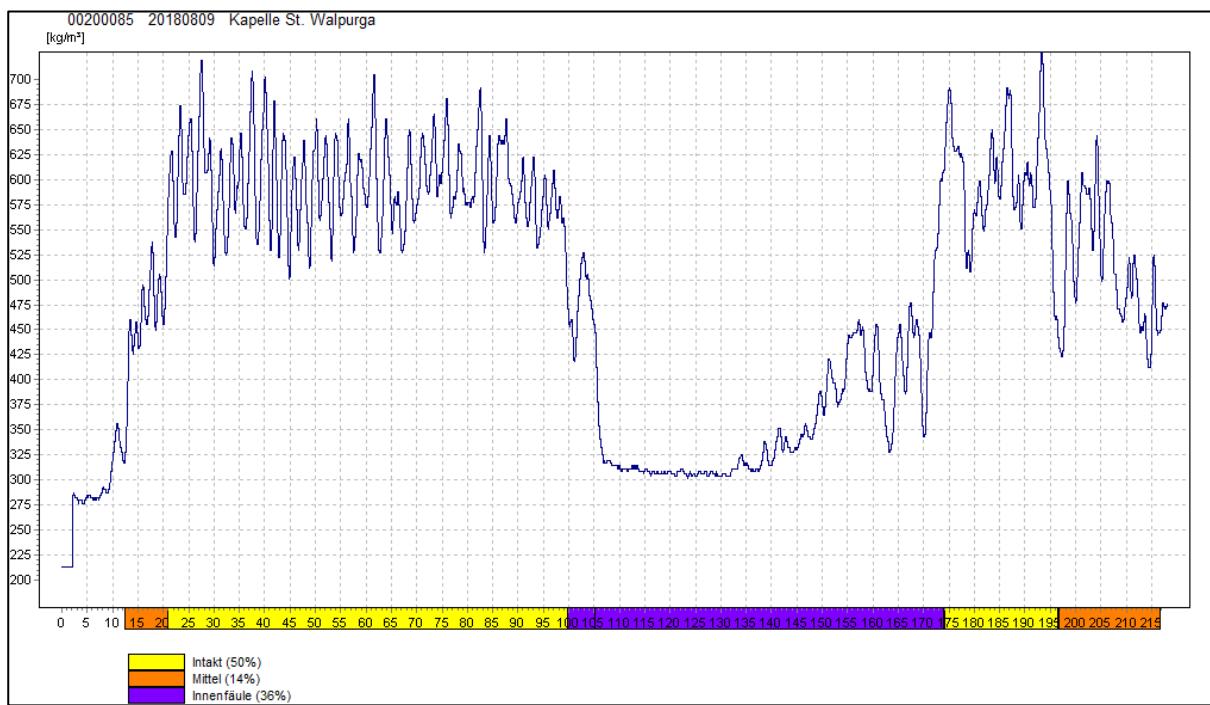


Abbildung 147: Bohrprofil R 085, aus der nördlichen Mauerschwelle mit Innenfäule



Abbildung 148: Ausknickende Kopfstrebe zwischen Gesparre 4 und 5 auf der Südseite



Abbildung 149: Ausklinkung am Sparren des 1. Gespärres wegen dem Dachreiter



Abbildung 150: Gespärre 3, südlicher Sparren mit massiven Schaden im Kehlbalkenanschluss



Abbildung 151: Gespärre 4, Hängestiel mit starkem Insektenbefall



Abbildung 152: Gespärre 4, Kopfbandstreben- Anschluss an Kehlbalken abgebrochen



Abbildung 153: Gespärre 9, nördlicher Sparren mit hoher Ästigkeit, Sortierung in S7

## Anhang 1 – Sortierkriterien nach DIN 4074

**Tabelle 2 — Sortierkriterien für Kanthölzer und vorwiegend hochkant (K) biegebeanspruchte Bretter und Bohlen bei der visuellen Sortierung**

<b>Sortiermerkmale</b>	<b>Sortierklasse</b>		
	<b>S 7, S 7K</b>	<b>S 10, S 10K</b>	<b>S 13, S 13K</b>
1. Äste	bis 3/5	bis 2/5	bis 1/5
2. Faserneigung	bis 12 %	bis 12 %	bis 7 %
3. Markröhre	zulässig	zulässig	nicht zulässig ^a
4. Jahrringbreite			
— im Allgemeinen	bis 6 mm	bis 6 mm	bis 4 mm
— bei Douglasie	bis 8 mm	bis 8 mm	bis 6 mm
5. Risse			
— Schwindrisse ^b	bis 1/2	bis 1/2	bis 2/5
— Blitzrisse Ringschale	nicht zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig
6. Baumkante	bis 1/4	bis 1/4	bis 1/5
7. Krümmung ^b			
— Längskrümmung	bis 8 mm	bis 8 mm	bis 8 mm
— Verdrehung	1 mm / 25 mm Höhe	1 mm / 25 mm Höhe	1 mm / 25 mm Höhe
8. Verfärbungen, Fäule			
— Bläue	zulässig	zulässig	zulässig
— nagelfeste braune und rote Streifen	bis 2/5	bis 2/5	bis 1/5
— Braunfäule, Weißfäule	nicht zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig
9. Druckholz	bis 2/5	bis 2/5	bis 1/5
10. Insektenfraß durch Frischholz-Insekten	Fraßgänge bis 2 mm Durchmesser: zulässig		
11. sonstige Merkmale	sind in Anlehnung an die übrigen Sortiermerkmale sinngemäß zu berücksichtigen		

^a Bei Kantholz mit einer Breite > 120 mm zulässig.

^b Diese Sortiermerkmale bleiben bei nicht trocken sortierten Hölzern unberücksichtigt.

Abbildung A1- 1: Sortierkriterien für Nadelhölzer nach DIN 4074-1:2012-06, S. 20

**Tabelle 2 — Sortierkriterien für Kanthölzer und vorwiegend hochkant (K) biegebeanspruchte Bretter und Bohlen bei der visuellen Sortierung**

<b>Sortiermerkmale</b>	<b>Sortierklassen</b>		
	<b>LS 7, LS 7K</b>	<b>LS 10, LS 10K</b>	<b>LS 13, LS 13K</b>
1. Äste			
— im Allgemeinen	bis 3/5	bis 2/5	bis 1/5
— bei Eiche	bis 3/5	bis 2/5	bis 1/6
2. Faserneigung ^a	bis 16 %	bis 12 %	bis 7 %
3. Markröhre	nicht zulässig ^b	nicht zulässig ^c	nicht zulässig
4. Jahrringbreite	—	—	—
5. Risse			
— Schwindrisse ^d	bis 3/5	bis 1/2	bis 2/5
— Blitzrisse, Frostrisse, Ringschäle	nicht zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig
6. Baumkante	bis 1/3	bis 1/3	bis 1/4
7. Krümmung ^d			
— Längskrümmung	bis 12 mm	bis 8 mm	bis 8 mm
— Verdrehung	2 mm / 25 mm Höhe	1 mm / 25 mm Höhe	1 mm / 25 mm Höhe
8. Verfärbungen, Fäule			
— nagelfeste braune und rote Streifen	bis 3/5	bis 2/5	bis 1/5
— Fäule	nicht zulässig	nicht zulässig	nicht zulässig
9. Insektenfraß durch Frischholzinsekten	nicht zulässig		
10. sonstige Merkmale	sind in Anlehnung an die übrigen Sortiermerkmale sinngemäß zu berücksichtigen		

^a Dieses Sortiermerkmal bleibt bei Buche unberücksichtigt.

^b Bei Eichenkantholz zulässig.

^c Bei Eichenkantholz mit einer Breite > 100 mm zulässig.

^d Diese Sortiermerkmale bleiben bei nicht trockensortiertem Holz unberücksichtigt.

Abbildung A1- 2: Sortierkriterien für Laubholz nach DIN 4074-5:2008-12, S. 17

## Anhang 2 – Biegeversuch Messwerte

Nr.	Holzart	Herkunft	Datierung nach Archivalien	Länge des Bauteils [cm]	Querschnitt h/b [cm]	Biegefestigkeit [kN/cm ² ]	Bruchlast [kN]	I/h	E-Modul [kN/cm ² ]		Holzfeuchte [%]
									Zeit bis zum Bruch [s]	Verbessert nach Gl. 21	
1	Fichte	Riegelhof Terrasse Deckenbalken		220	180 / 110	1,80	12,13 167	16,36	510 541	24	
2	Kiefer	Unterneuses Sparren	1756	177 160	10,5 / 10, 5	3,68	26,01 161	15,24	800 824	15	
3	Kiefer	Unterneuses Sparren	1756	176 160	10,5 / 11	2,08	15,79 137	14,54	580 609	17	
4	Eiche	Donnersdorf Scheune Sparren		186 160	11 / 11	3,13	26,05 202	16,00	580 615	20	
5	Eiche	Donnersdorf Scheune Sparren		170 160	10,5 / 10, 5	3,57	25,83 143	16,00	900 945	17	
6	Kiefer	Unterneuses Sparren	1756	200 170	11 / 11	2,15	16,90 124	17,14	774 805	16	
7	Kiefer	Unterneuses Sparren		180 170	10 / 11	2,15	13,92 166	17,00	768 791	15	
8	Kiefer	Unterneuses Sparren	1756	190 180	10 / 10,5	2,55	14,89	17,14	836 869	16	
9	Kiefer	Riegelhof Terasse Deckenbalken		217 200	16 / 16,5	1,85	39,00 89	11,76	484 513	19	
10	Kiefer	Riegelhof Terasse Deckenbalken		175 170	10 / 10,5	2,51	15,49 182	16,19	730 774	20	

Tabelle A2- 1: Messdaten Teil 1

Nr.	Holzart	Herkunft	Datierung nach Archivalien	Länge des Bauteils [cm]	Querschnitt h/b [cm]	Biegefestigkeit [kN/cm ² ]	Bruchlast [kN]	E-Modul [kN/cm ² ]	Holzfeuchte [%]
11	Fichte	Riegelhof Dachbalken		348 280	17/13	2,71	36,37	17,50	700 742
12	Fichte	Riegelhof Sparren		280 260	15/17	4,58	67,38	17,30	957 1014
13	Fichte	Riegelhof Dachbalken		328 300	17,5/16	2,36	38,59 274	16,67	502 532
14	Fichte	Riegelhof Dachbalken		320 300	16,5/15	1,88	25,63 234	18,75	544 577
15	Fichte	Riegelhof Sparren		345 300	14/13,5	2,57	22,67	21,43	744 789
16	Fichte	Riegelhof Dachbalken		250 200	17/17	2,25	55,37 167	11,76	420 445
17	Fichte	Riegelhof Terrasse Deckenbalken		180 170	11/11	3,92	21,77	16,36	870 922
18	Fichte	SW, Deutschhöfer Str. Ständer	ca. 1900	197 180	10/10	2,04	11,32	18,00	689 730
19	Kiefer	Riegelhof Terrasse Deckenbalken	ca. 1900	323 280	17/16	1,84	30,40	16,97	495 525
20	Fichte	Riegelhof Terrasse Deckenbalken		282 250	15/15	1,88	25,38 140	17,86	621 658
21	Fichte	Weipoltshausen Fachwerkständer	ca. 1800	196 180	10/10	2,15	11,97 146	18,00	714 743

Tabelle A2- 2: Messdaten Teil 2

Nr.	Rohdichte aus Bohrwiderstand [kg/m ³ ]	Sortier-klasse	Schallgeschwindigkeit [m/s] auf 12 % Feuchte nach Gl. 12				Dynamisches E-modul [kN/cm ² ]				Anmerkung		
			Direkt		Indirekt		Variations-koefizient	Direkt		Indirekt			
			Niedrigst-wert	Mittel-wert	Höchst-wert			Niedrigst-wert	Mittel-wert	Höchst-wert			
1	491	Ausschuss /	4636 4523	4984 4884	5348 5431	3,4 4,6	1055 1004	1220 1171	1404 1448	Oberseitig Faul			
2	500	S10 C24	5247 4538	5702 4974	6149 5879	3,2 5,5	1377 1030	1626 1237	1891 1728	Plötzlicher Bruch			
3	484	S7 C18	4463 4098	4775 4544	5088 4955	3,5 4,7	964 813	1104 999	1253 1188				
4	684	LS 13 D30	4241	4430	4676		3,0	1230	1342	1496	Fäulnis außerhalb Prüfbereich		
5	742	LS 10 D30	4449 4346	5021 4834	5611 5115	5,8 3,6	1469 1401	1871 1734	2336 1941				
6	646	S10 C24	5352 4840	5881 5335	6465 6037	4,0 3,9	1850 1513	2234 1839	2700 2354				
7	462	Ausschuss /	5046 4962	5218 5193	5660 5571	2,5 2,4	1176 1138	1258 1246	1480 1434	Hausbockbefall			
8	461	S10 C24	4831 4583	5030 4847	5321 5130	2,2 2,6	1076 968	1166 1083	1305 1213				
9	448	S10 C24	4578 3960	4787 4488	5285 4957	3,5 7,2	939 703	1027 902	1251 1101	Insekten 1 mm			
10	463	Ausschuss /	4731 4336	5259 4803	6225 5293	7,4 4,6	1036 870	1281 1068	1794 1297	Oberseitig Faul			

Tabelle A2- 3: Messdaten Teil 3

Nr.	Rohdichte aus Bohr widerstand [kg/m³]	Sortierklasse	Schallgeschwindigkeit [m/s] auf 12 % Feuchte nach Gl. 12						Dynamisches E-modul [kN/cm²]					
			Direkt Indirekt		Direkt Indirekt		Variationskoeffizient		Direkt Indirekt		Direkt Indirekt		Höchstwert	
			Niedrigstwert	Mittelwert	Höchstwert		Niedrigstwert		Mittelwert		Niedrigstwert		Höchstwert	
11	477	S13 C30	5232 5161	5461 5379	5767 5697		2,1 2,8		1306 1271		1423 1380		1586 1548	optisch gut, aber schnelles Versagen
12	497	S13 bis S 15 C35	5030 5265	5928 5935	6480 6664		4,7 4,3		1257 1378		1747 1751		2087 2207	
13	503	Ausschuss /	4976 4752	5218 5055	5439 5516		2,7 3,5		1245 1136		1370 1285		1488 1530	Fäulnis mittig
14	479	Ausschuss /	5411 5158	5570 5407	5759 5633		1,4 2,3		1402 1274		1486 1400		1589 1520	Oberseitig Faul
15	549	S10 C24	5619 5536	5776 5722	5971 5990		1,9 1,9		1733 1683		1832 1797		1957 1970	
16	507	Ausschuss /	4492 5057	5140 5484	5701 5889		8,4 4,0		1023 1297		1339 1525		1648 1758	Kopf Faul
17	459	S13 C30	5289 5118	5594 5347	5993 5607		2,9 2,7		1284 1202		1436 1312		1649 1443	
18	505	Ausschuss /	5194 4966	5467 5234	6205 5759		6,3 3,8		1362 1245		1509 1383		1944 1675	Sehr Wurmstichig
19	457	Ausschuss /	4629 4312	4835 4834	5167 5066		2,8 3,6		979 850		1068 1068		1220 1173	Oberseitig Faul
20	492	Ausschuss /	5389 5281	5612 5588	5919 6123		2,9 4,3		1429 1372		1550 1536		1724 1845	Kopf Faul
21	501	S10 C24	4717 4599	5063 5006	5545 5503		4,3 4,0		1115 1060		1284 1256		1540 1517	

Tabelle A2- 4: Messdaten Teil 4

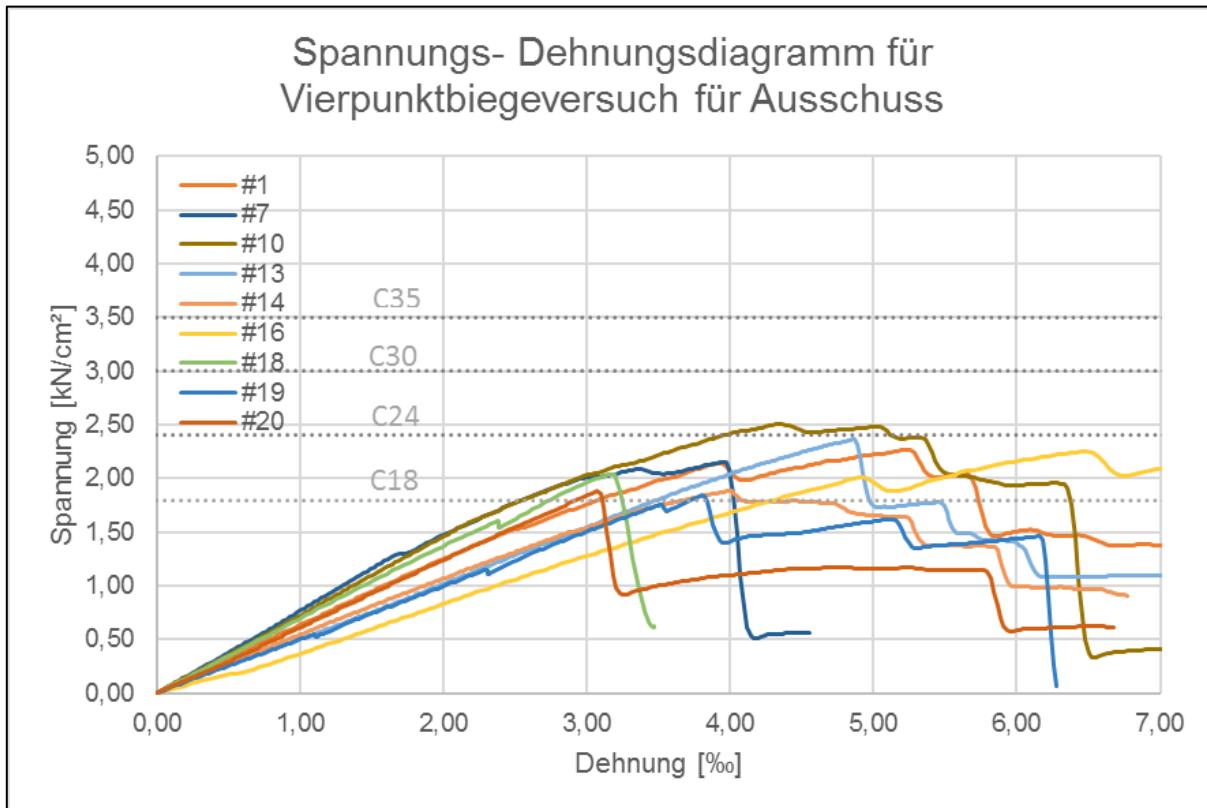


Abbildung A2- 5: Spannungs- Dehnungsdiagramm für den Vierpunktbiegeversuch bei visuell nicht einsortierbaren Balken

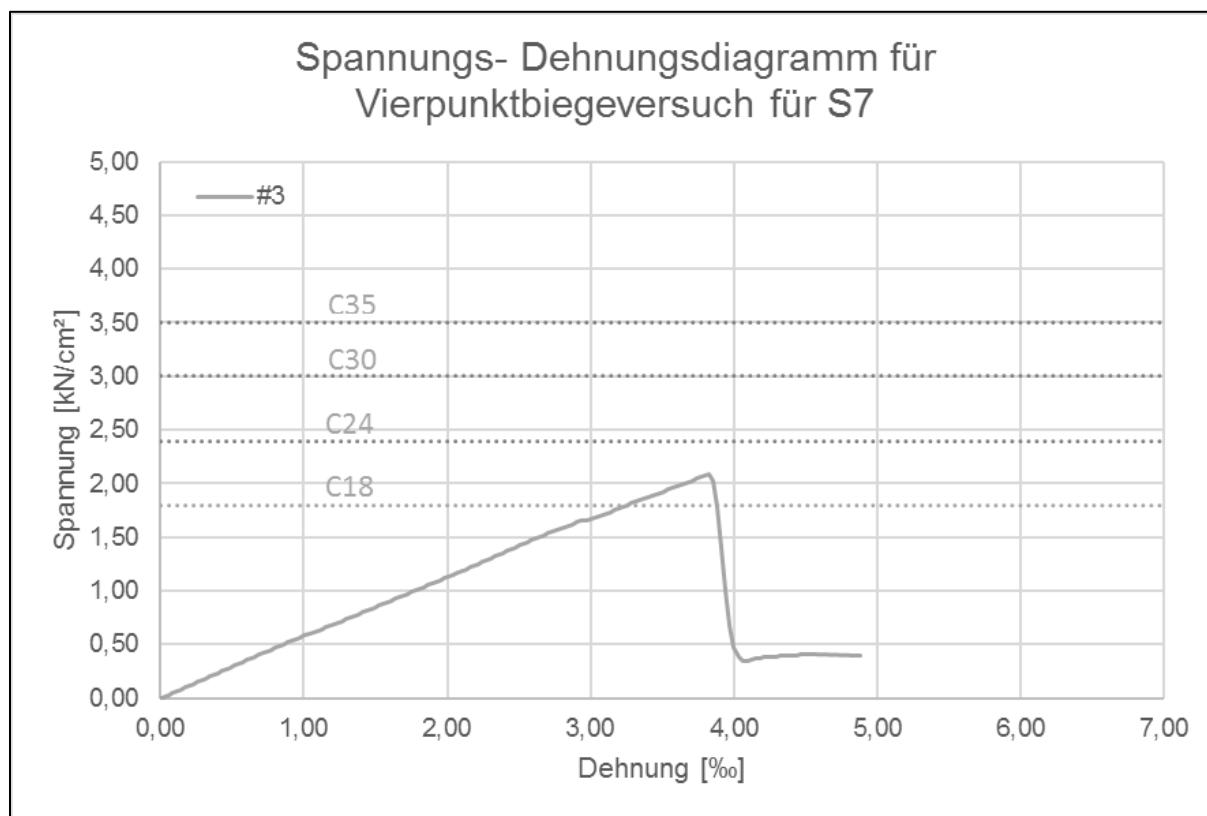


Abbildung A2- 6: Spannungs- Dehnungsdiagramm für den Vierpunktbiegeversuch, Sortierklasse S7 (C18)

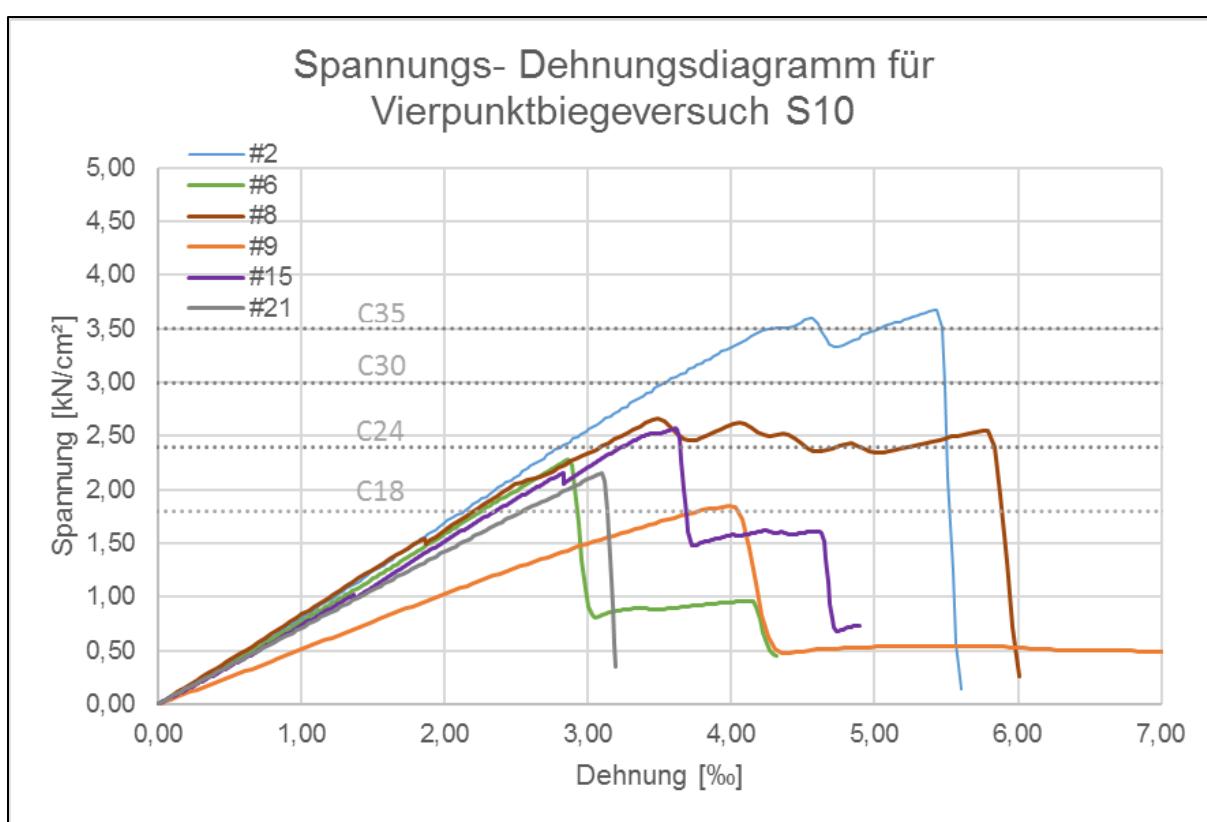


Abbildung A2- 7: Spannungs- Dehnungsdiagramm für den Vierpunktbiegeversuch, Sortierklasse S10 (C24)

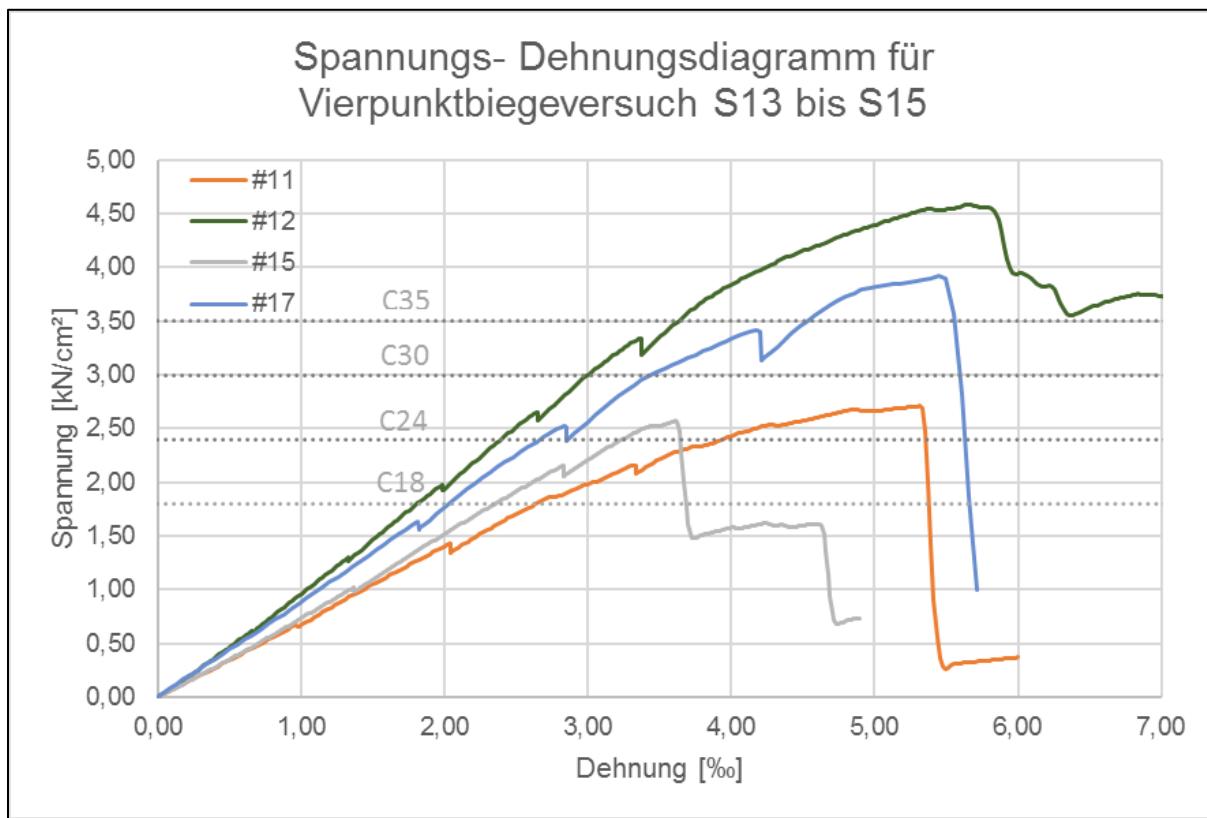


Abbildung A2- 8: Spannungs- Dehnungsdiagramm für den Vierpunktbiegeversuch, Sortierklasse S13 (C30) bis S15 (C35)

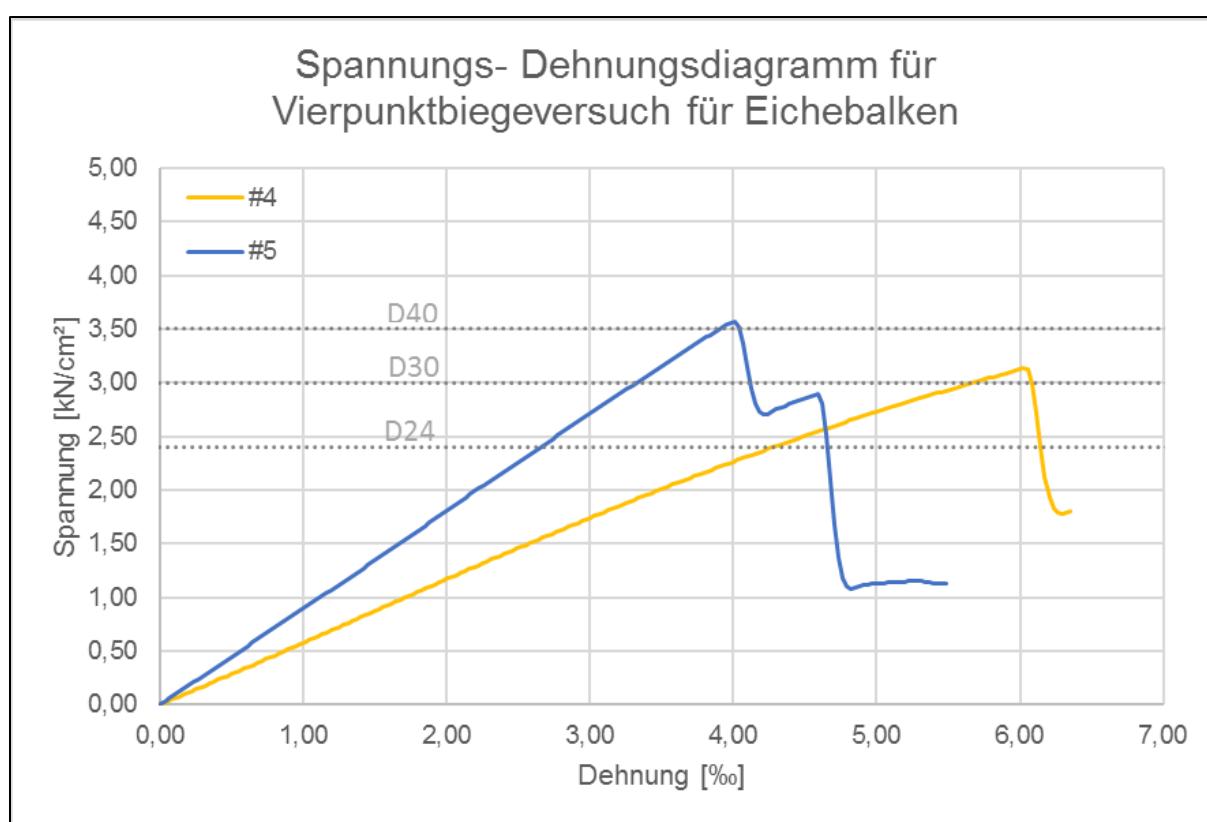


Abbildung A2- 9:: Spannungs- Dehnungsdiagramm für den Vierpunktbiegeversuch, Sortierklasse S10 (C24)

	<b>Belastung [kN]</b>	<b>Ausnutzung [%]</b>	<b>Mittelwert [m/s]</b>	in %	<b>Höchstwert [m/s]</b>	in %	<b>Niedrigstwert [m/s]</b>	in %	<b>Variantenkoeffizient [%]</b>
<b>Balken 8</b> (Bruchlast 14,89 kN)	1	6,7	4902	100	5282	100	4431	100	3,7
	10	67,2	4931	101	5907	112	4568	103	4,6
<b>Balken 11</b> (Bruchlast 36,37 kN)	1	2,7	5071	100	5541	100	4696	100	4,3
	10	27,5	5167	102	5668	102	4787	102	3,7
	20	55,0	5114	101	5677	102	4728	101	4,3
	30	82,5	5137	101	6770	122	4761	101	5,9
<b>Balken 12</b> (Bruchlast 67,38 kN)	1	1,5	5840	100	7015	100	5371	100	5,0
	10	14,8	5845	100	6098	87	5361	100	3,1
	20	29,7	5975	102	8283	118	5446	101	6,9
	30	44,5	5925	101	7069	101	5489	102	5,1
	40	59,4	5901	101	6517	93	5511	103	3,7
	50	74,2	5831	100	6322	90	5500	102	3,7
<b>Balken 15</b> (Bruchlast 22,67 kN)	1	4,4	5308	100	5838	100	4786	100	4,8
	10	44,1	5402	102	6585	113	4807	100	5,9
	20	88,2	5390	102	5902	101	4902	102	4,6
<b>Balken 17</b> (Bruchlast 21,77 kN)	1	4,6	5380	100	5941	100	4918	100	4,2
	10	45,9	5490	102	6020	101	5028	102	4,7
	15	68,9	5506	102	6122	103	5000	102	5,0
	20	91,9	5378	100	6020	101	5014	102	5,3
<b>Balken 18</b> (Bruchlast 11,32 kN)	1	8,8	5093	100	5794	100	4273	100	5,9
	10	88,3	5081	100	5727	99	4770	112	4,4
<b>Balken 19</b> (Bruchlast 30,40 kN)	1	3,3	4732	100	5252	100	4377	100	4,6
	10	32,9	4758	101	5493	105	4043	92	5,1
	20	65,8	4800	101	5235	100	4284	98	4,0
	30	98,7	4802	101	5820	111	4383	100	4,9

Tabelle A2- 10: Schallgeschwindigkeiten unter Belastung, für sieben Nadelholzbalken im Vierpunktbiegeversuch.

## Anhang 3 – Kapelle St. Walburga Zustandskartierung

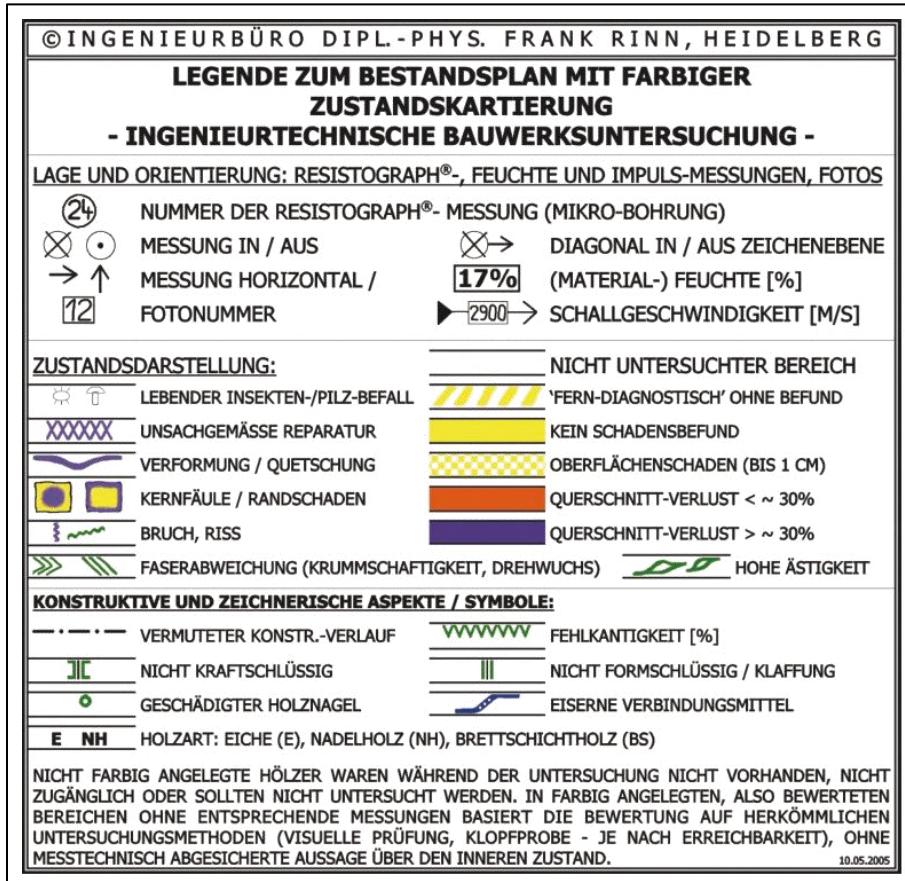


Abbildung A3- 1: Legende der Zustandskartierung. Aus: Rinn (2006), S. 32.

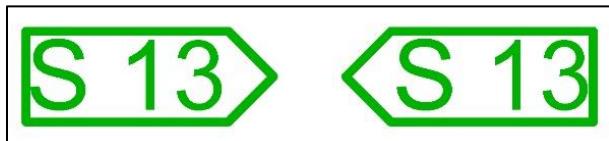
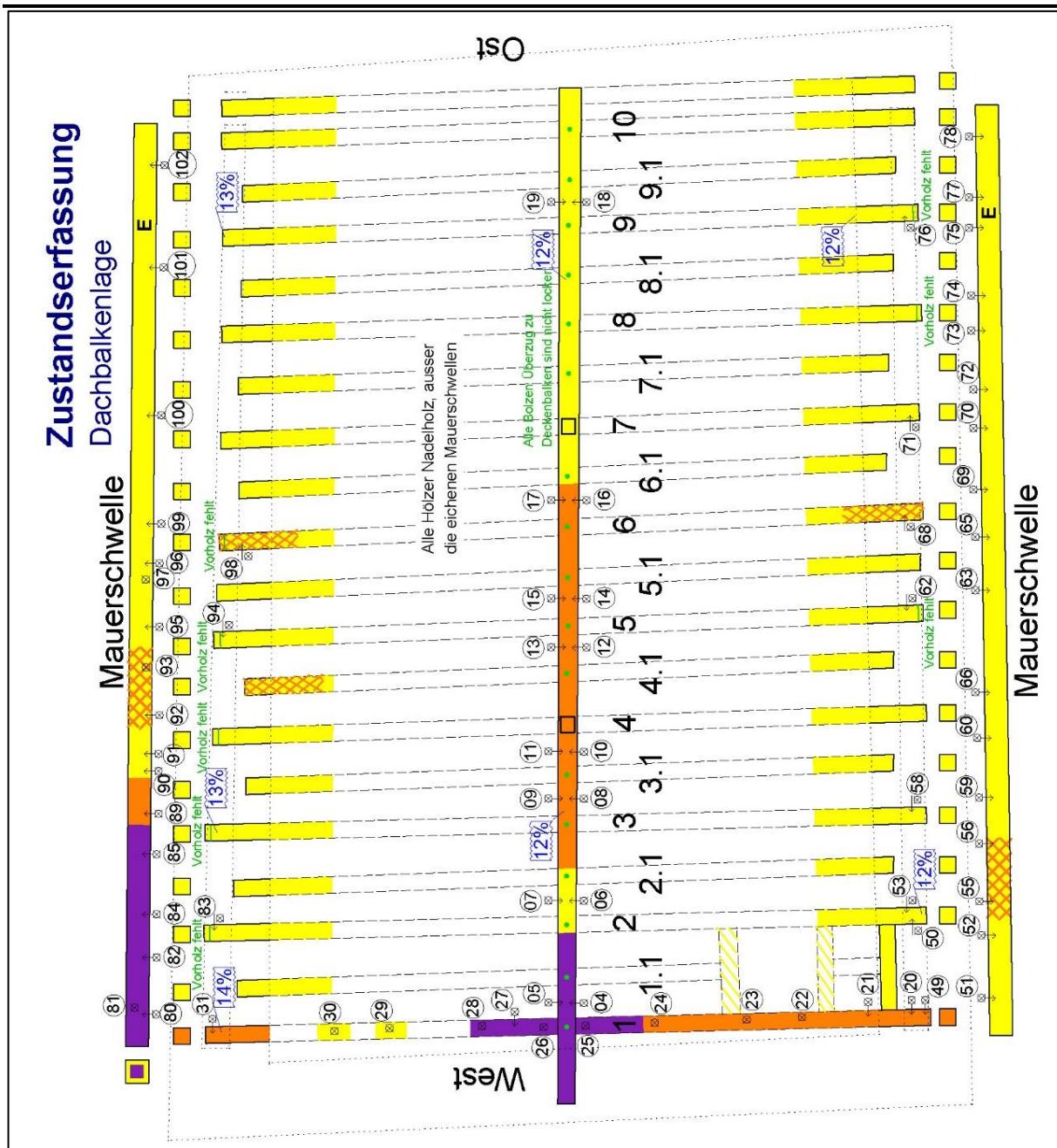
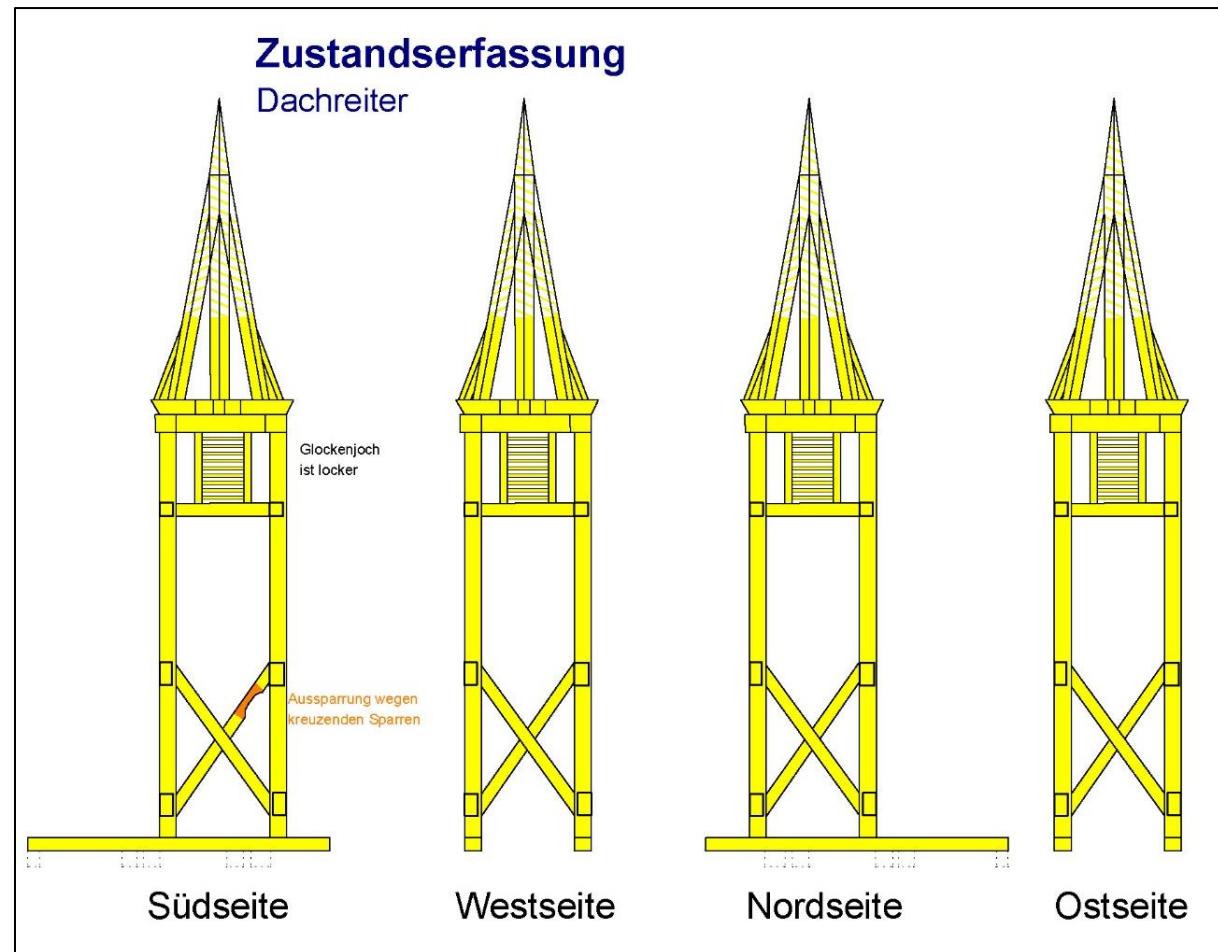
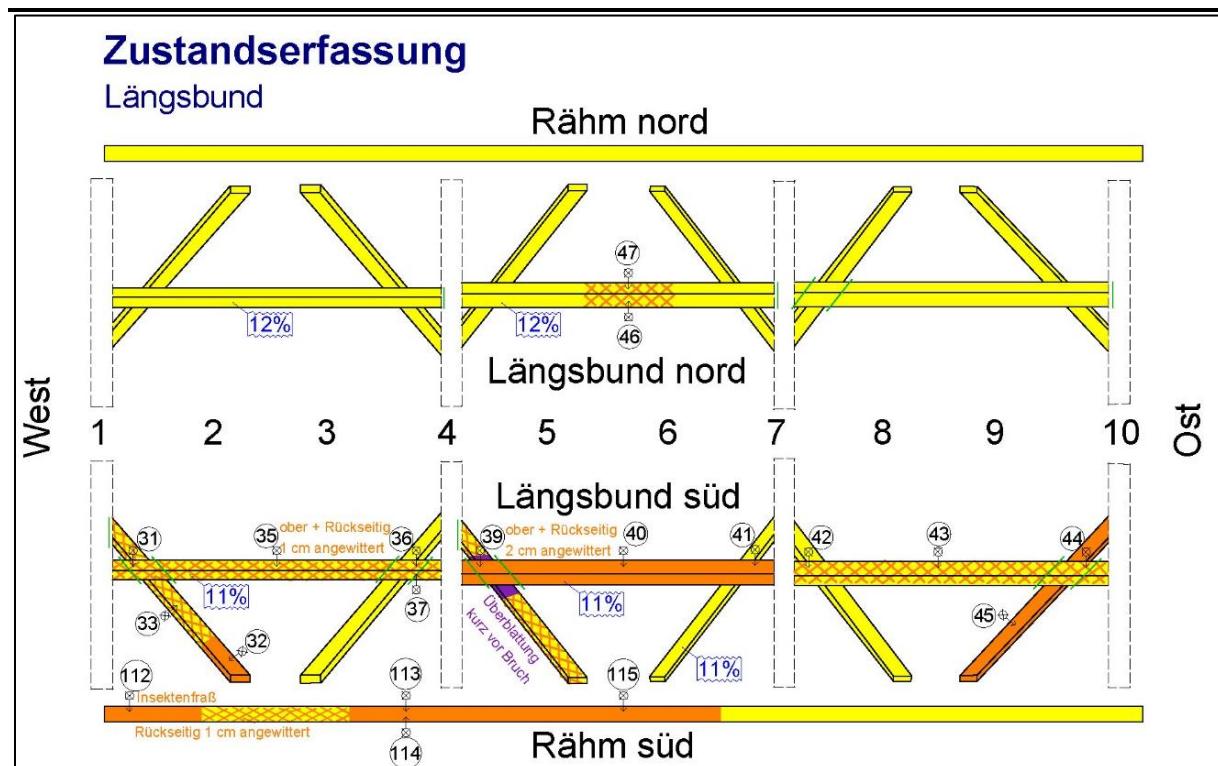
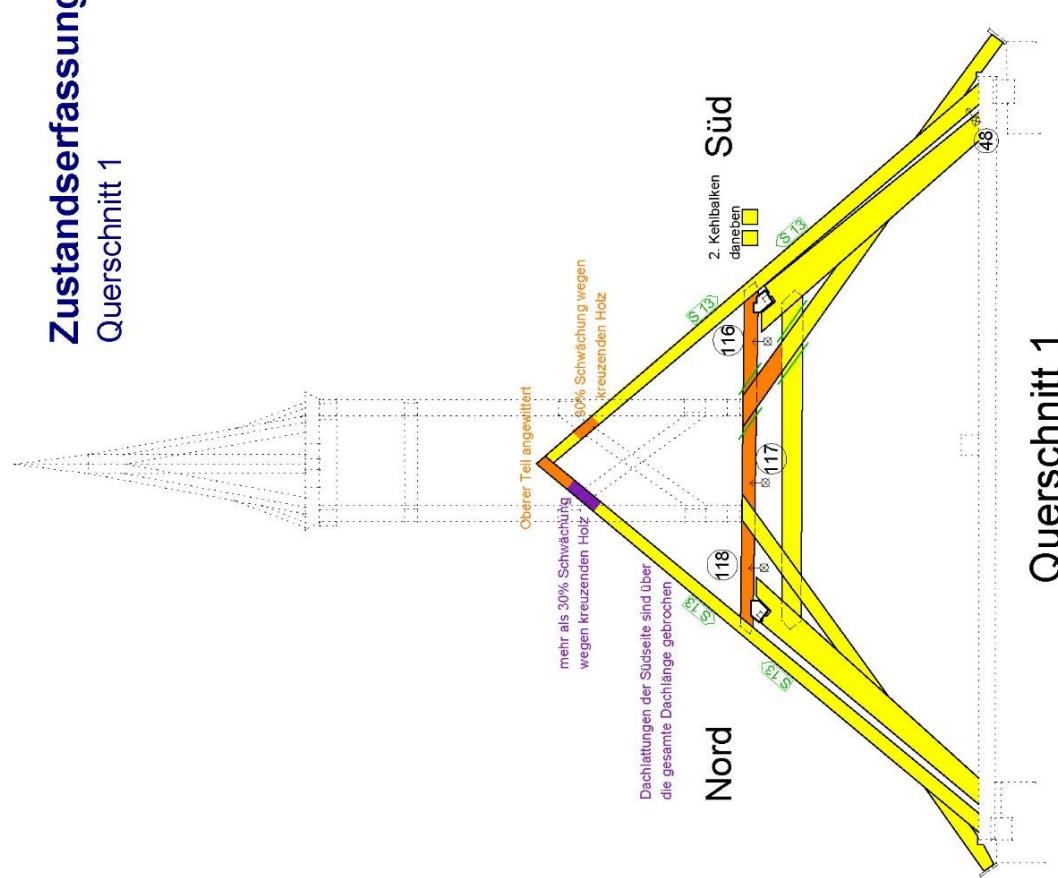


Abbildung A3- 2: Symbol für visuell nach DIN 4074 sortierte Bauteilbereiche.

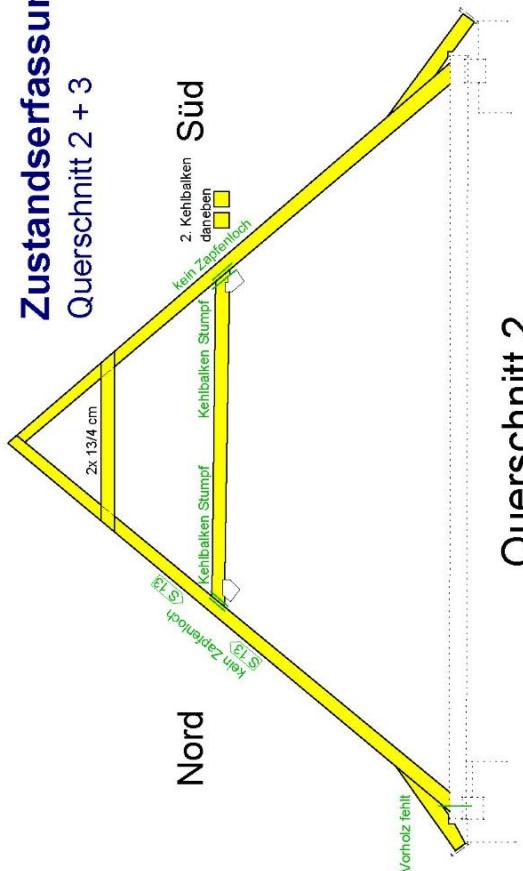




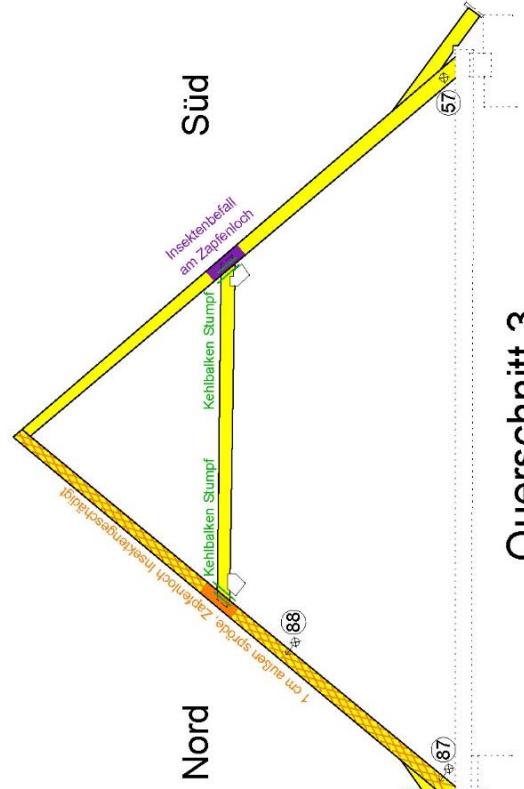
**Zustandserfassung**  
Querschnitt 1



**Zustandserfassung**  
Querschnitt 2 + 3



Querschnitt 2



Querschnitt 3

