



## Holzschutztechnischer Untersuchungsbericht

### Friedrich-Franz-Gymnasium Parchim- Sanierung und Erweiterung Turnhalle



---

<b>Auftrag:</b>	Holzschutz Gutachten für die Turnhalle des Friedrich-Franz-Gymnasiums in Parchim
<b>Auftraggeber:</b>	Landkreis Ludwigslust - Parchim FD10 - Gebäudemanagement Putlitzer Straße 25 19370 Parchim
<b>Auftragsdatum:</b>	18.06.2024
<b>Bearbeitungszeitraum:</b>	30.07.- 08.09.24
<b>Umfang des Berichtes:</b>	23 Seiten

Ingenieurbüro Holzschutz Grottker  
Sachkundiger für Holzschutz am Bau  
Geprüfter Forschungstaucher  
Philipp Grottker M.Eng.  
Maßlow 6, 23972 Lübow  
Tel.: (+49) 152/25626408  
E-Mail: [info@holzschutz-grottker.de](mailto:info@holzschutz-grottker.de)  
Web: [www.holzschutz-grottker.de](http://www.holzschutz-grottker.de)

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Holzschutztechnische Untersuchungen vor Ort.....	4
2.1	Untersuchungsmethoden.....	4
3	Ergebnisse der holzschutztechnischen Untersuchungen.....	6
3.1	Holzfeuchtigkeit.....	6
3.2	Bohrwiderstandsmessungen.....	7
3.3	Aufnahme der Risse.....	8
3.4	Bohrkernentnahme und Prüfung in der MPA Eberswalde.....	12
3.5	Visuelle Kontrolle der Binder.....	14
4	Diskussion und Einordnung der Ergebnisse .....	15
4.1	Vorliegende Belastung aus organischen Holzschutzmitteln - PCP .....	15
4.2	Rissbildungen im Brettschichtholz .....	16
5	Optionen der Sanierung .....	18
6	Ausblick / Zusammenfassung.....	22
7	Literaturverzeichnis.....	23

## Anlagen

1. Bohrwiderstandsmessungen
2. Prüfbericht zur Scherfestigkeit der Klebfugen Nr. 31/24/5570/01
3. Prüfbericht zur Untersuchung auf organische Holzschutzmittel Nr. 31/24/5570/02A

## 1 Einleitung

Die Sporthalle des Friedrich-Franz-Gymnasiums in Parchim soll umfassend instandgesetzt und modernisiert werden. Nähere Informationen zu den angedachten Baumaßnahmen können der vorliegenden Substanzerkundung der Kollegen von dem Ingenieurbüro panta:ingenieure entnommen werden [1].

Der Grundriss der Sporthalle hat die Abmessungen von circa 24 x 49 m und besitzt 9 Hauptbinder, die den Schwerpunkt der Begutachtung ausmachen. Durch die Substanzerkundung [1] fielen vereinzelte Risse und ein staubiger Belag in den Brettschichtholz-Bindern des Dachtragwerks ins Auge, der mit der Vermutung eines Insekten-/Pilz-Befalls in Verbindung gebracht wurde. Hierdurch entstand die Empfehlung einen Sachkundigen für Holzschutz zu Rate zu ziehen.

Dies wurde durch den Bauherrn durch eine Ausschreibung vorgenommen, der Zuschlag fiel am 18.06.2024 auf den Verfasser. Es wurde gefordert, dass die Konstruktion mittels Bohrwiderstandsmessungen (18 Stück) punktuell zu überprüfen sei, um zerstörungsmäßig den allg. guten Zustand des Holzes zu bestätigen.

Des Weiteren wurden 6 Kernbohrungen veranschlagt, um die Scherfestigkeit und Leimart der Klebefugen nachzuweisen. Diese Proben sollten in ein zertifiziertes Fachlabor zur Untersuchung weitergereicht werden. Ergänzend wurde je eine Probe für eine Laboruntersuchung auf Schadstoffe und holzerstörende Pilze bzw. Insekten veranschlagt.

Diese angedachten Leistungen wurden bereits nach der Vergabe durch Absprachen und einen E-Mail-Kontakt spezifiziert. Es stellte sich heraus, dass die Untersuchungen durch den Schwingboden der Sporthalle nur mit einem Personenlift erfolgen können. Dieser kann nicht von oben verfahren werden, sondern muss von Position zu Position verbracht, aufgestellt und ausgerichtet werden. Hierdurch ist eine flächige Untersuchung der Binder nicht bzw. nicht mit dem angedachten Aufwand möglich gewesen. Dies wurde auch vor Ort so kommuniziert.

Ebenfalls wurde durch Herrn Ehlers (Tragwerksplaner, panta:ingenieure) darum gebeten, dass nur ein Bohrkern (Probe 40mm Ø, Loch im Binder ca. 45mm Ø) aufgrund des schlanken Tragwerks entnommen werden sollte.

Der Ortstermin fand am 30.07.2024 statt. Anwesend waren zum Auftakt der Untersuchungen Herr Brodehl (Landkreis) und Herr Ehlers (panta:ingenieure) sowie ein Mitarbeiter der Schule. Der Verfasser war mit einem Kollegen (Herrn Sutter) vor Ort. Der besagte Personenlift wurde nach circa einer Stunde nach Eintreffen der Anwesenden angeliefert. Währenddessen wurde sich im Einvernehmen darauf geeinigt, dass vor allem die Untersuchungsbereiche aus der Substanzerkundung aufgegriffen werden sollten. Neben dem umständlichen Arbeiten mit dem Personenlift kam hinzu, dass Ballfangnetze den direkten Weg zu den Bindern deutlich erschwerten. Die Ballfangnetze waren tatsächlich die größte Herausforderung, da die Netze nicht nur eingehakt, sondern auch zusätzlich mit Kabelbindern gesichert waren.



## 2 Holzschutztechnische Untersuchungen vor Ort

Die holzschutztechnischen Untersuchungen begrenzen sich auf zwei Bereiche an den jeweiligen Giebelbindern (4F und 20N), einem mittigen Binder zur Entnahme des Bohrkerns (12K) und einem Binder, bei dem die ausgeprägte Rissbildung in dem Gutachten der panta:ingenieure [1] aufgefallen war (16F und G-I) – vgl. Abbildung 1.

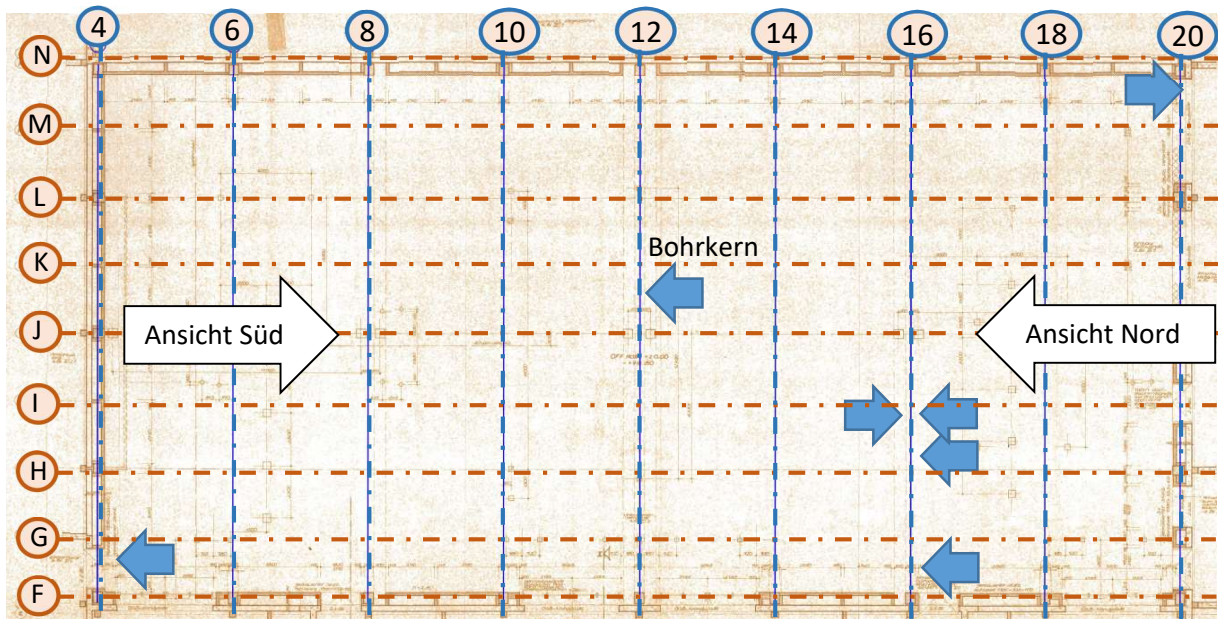


Abbildung 1 - Untersuchungsbereiche – Ehlers [1], bearbeitet Grottker

### 2.1 Untersuchungsmethoden

Mit der Hydromette Gann M4050 wurden vor Ort das Raumklima und die Holzfeuchten (**HF**) bestimmt (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2 - Hydromette Gann M4050 mit isolierten Spitzenelektroden - Grottker



Abbildung 3 - Resistograph PD500 Fa. IML (Bild eines anderen Bauvorhabens) - Grottker



Hierbei wird die **HF** mit isolierten Spitzenelektroden in ca. 4 cm Tiefe des Holzes gemessen. Die Messung erfolgt somit nicht oberflächlich im Holz, sondern die Ausgleichsfeuchte des Bauteils kann ermittelt werden.

Zusätzlich kam der Resistograph PD500 der Firma IML zum Einsatz, um minimal invasive Bohrwidstandsmessungen durchzuführen.

Zur Ermittlung der Risstiefen wurde eine Fühlerlehre mit 0,1mm Dicke verwendet [2]. In Kombination mit der Fixierung einer Tischlerklemme, wenn die Lehre die maximale Einstichtiefe erreicht hat, konnte so die Tiefe des Risses abgelesen werden- vgl. Abb. 4 und 5.



Abbildung 4 und 5 - Fühlerlehre mit 0,1 mm Stärke mit Tischlerklemme - Grottker

Ebenfalls wurden Einstechproben mit einem Taschenmesser durchgeführt – vgl. Abb. 7.

Die Probennahme des Bohrkerns erfolgte über eine Vorrichtung aus einen an den Binder geschraubten Bohrständer und einer Tiefschnitt-Lochsäge – vgl. Abb. 6.

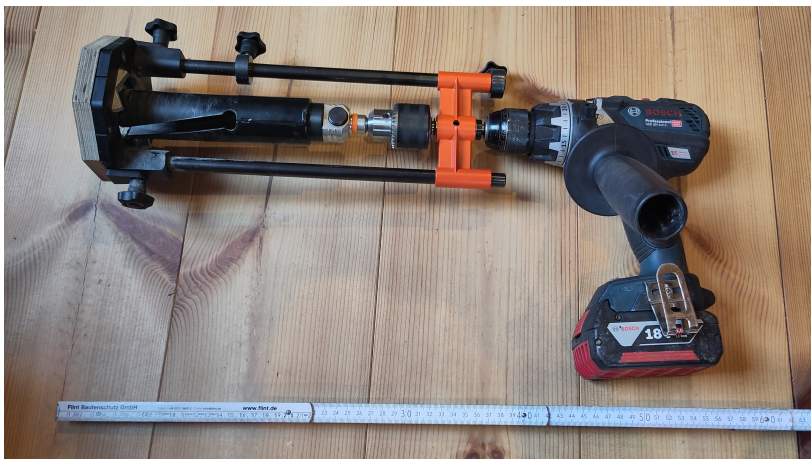


Abbildung 6 - Akkuschauber mit Bohrständer und Tiefschnitt-Lochsäge - Grottker

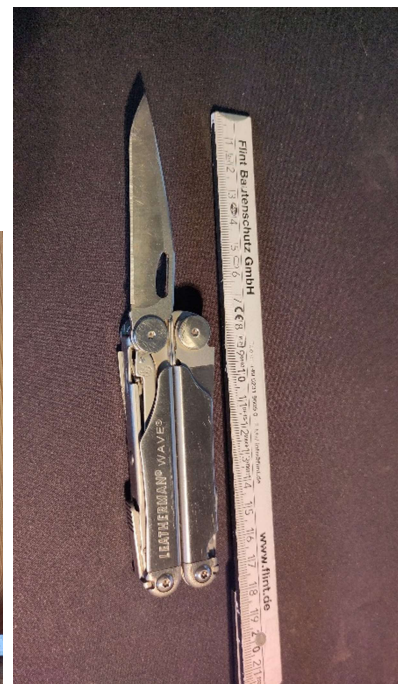


Abbildung 7 - Taschenmesser für die Einstechprobe - Grottker

### 3 Ergebnisse der holzschutztechnischen Untersuchungen

#### 3.1 Holzfeuchtigkeit

Holz ist als hygroskopischer Baustoff immer in einem Feuchtegleichgewicht mit dem Umgebungsklima. So folgt die **HF** immer der rel. Luftfeuchte – vgl. Abb. 8.

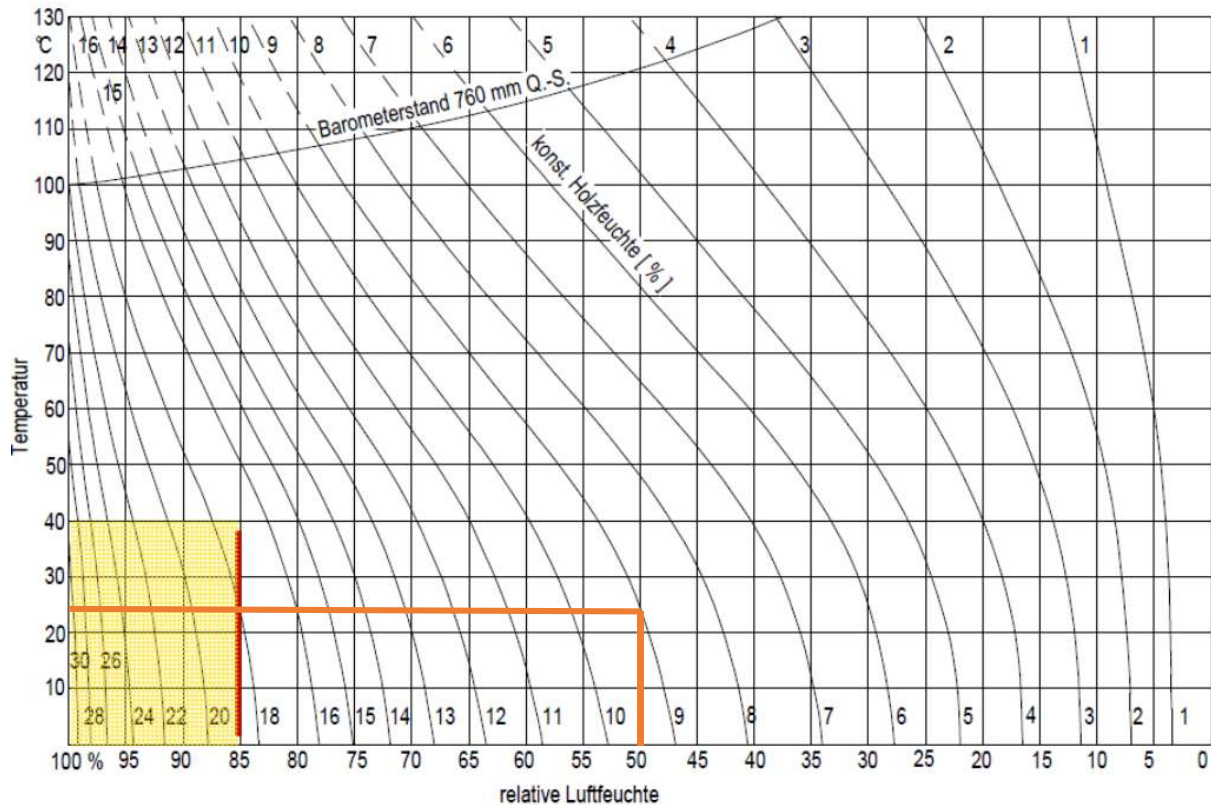


Abbildung 8 - Ausgleichsfeuchte Fichtenholz bei entsprechender rel. Luftfeuchte "Keylwerth Diagramm" [3]

Das Raumklima lag zu Beginn der Untersuchung am Vormittag bei 24° und 50% rel. Luftfeuchte. Dieses Klima kann annähernd als mittleres Umgebungsklima (Tag- und Nacht-Schwankungen am Vormittag im Mittel) angesehen werden. Es wurde somit an den Konstruktionshölzern eine **HF** von rund  $u = 9 \text{ M\%}$  erwartet und auch gemessen (Tabelle 1).

Untersuchungsstelle	Holzfeuchte $u$ [M%]
Giebel Bindern 4F	9,2
Giebel Bindern 20 N	10,0
Binder 12K	8,6
Binder 16 F	9,2
Binder 16 G-I	9,0
Binder 16 G-I gegenüberliegende Seite	-

Tabelle 1 - gemessene Holzfeuchten an den Untersuchungsstellen

### 3.2 Bohrwiderstandsmessungen

Die Bohrwiderstandsmessung ermöglicht Rückschlüsse auf die Vitalität und die anatomischen Eigenschaften des Holzes. So wird mit einer 3mm Bohrnadel in das Holz gebohrt und der sich ergebende Widerstand (Arbeit der Bohrspitze im Vorschub und Drehung) aufgezeichnet.

Diese Methode ist stark von der Erfahrung des Geräteführers abhängig. Es ist anzustreben, sowohl das Holz orthogonal zu den Jahrringen als auch möglichst durch das Mark zu bohren. Durch die feine Bohrnadel kann diese im Holz verlaufen, da die Nadel den Weg des geringsten Widerstandes wählt. So kann die Bohrung nicht immer als gerade Linie im Holz vorausgesetzt werden.

Ebenfalls ist die y-Achse (im Messschrieb die Amplitude in [%] – vgl. Diagramm 1) eine dimensionslose Einheit, die keine Rückschlüsse auf eine tatsächliche Festigkeit des Holzes zulässt. Diese ist stark von Drehzahl, Vorschub und dem Verschleißzustand der Bohrnadel abhängig.

In der vorliegenden Anwendung kam die zusätzliche Herausforderung hinzu, dass die Ausrichtung der einzelnen Lamellen aufgrund der lasierten Oberfläche nicht leicht zu erkennen war.

Insgesamt wurden 8 Bohrwiderstandsmessungen aufgeteilt auf die untersuchten Bereiche durchgeführt:

- 1x Achse 4 FG
- 3x Achse 12 JK
- 2x Achse 16FG
- 2x Achse 20N

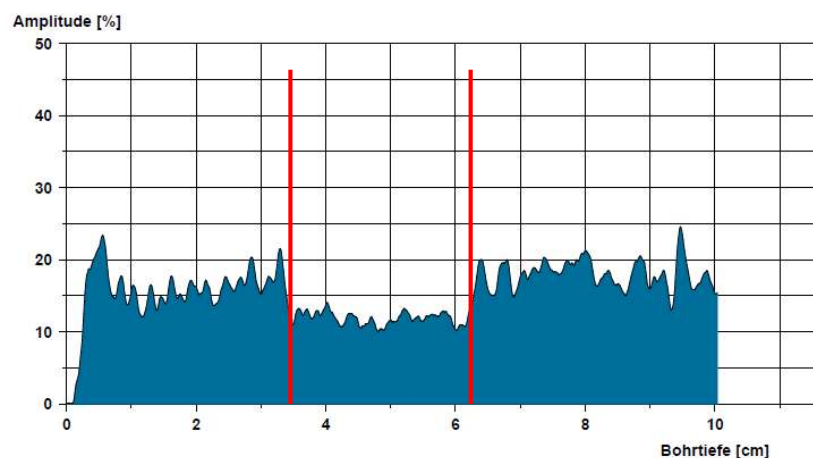


Diagramm 1: Bohrwiderstandsmessung an der Achse 16 Bereich FG -3 Lamellen (durch rote Striche getrennt) – vom Befund ohne Auffälligkeiten

Im Diagramm 1 ist beispielhaft das Bohrprofil der Achse 16 im Bereich FG dargestellt. Es wurde von unten in den Binder mit einer Neigung von 66° gebohrt, sodass ein Schnitt durch 3 Lamellen erfasst wurde. Hier ist kein eindeutiger Abfall der Festigkeit zu erkennen.

Die weiteren Bohrprofile können der Anlage 1 entnommen werden und sind ebenfalls ohne Auffälligkeiten.



### 3.3 Aufnahme der Risse

Bei der Aufnahme der Risse bzw. der offenen Leimfugen wurde sich an dem „Leitfaden zu einer ersten Begutachtung von Hallentragwerken aus Holz“ orientiert [2]. Wie bereits durch Abb. 4 und 5 angedeutet, wird hier vorgegeben die Tiefe der Risse im Holz mit einer 0,1 mm dicken Fühlerlehre zu messen. Folgende Bewertungskriterien sind als Grenzwerte für die Risttiefen definiert:

- einseitig  $b/6 = 16,7\text{mm}$
- oder beidseitig jeweils  $b/8 = 12,5\text{mm}$  ( $b$ = die Breite des Binders mit 100mm)

Es wurden in den untersuchten Bereichen nur an den Bindern 12 und 16 Risse festgestellt. Binder 4 und Binder 20 wiesen keine weiteren Auffälligkeiten an den einsehbaren Bereichen auf.

Bei der Kartierung kann grundsätzlich zwischen 2 Rissbildern unterschieden werden:

- Riss als offene Leimfuge
- Riss durch das Holz einer Lamelle.

Am **Binder 12** wurde ein Riss im Bereich J-K in einer Leimfuge mit einer Länge von circa 83cm und einer max. Tiefe von 25mm aufgenommen (siehe Tabelle 1). Der Riss ist in Abbildung 9 dargestellt. Hier ist außerdem über der Leimfuge 11 das Loch zu erkennen, wo der Bohrkern entnommen wurde.

Riss-Nr.	Lamelle-Nr.	Länge	max. Tiefe
	Oben/Unten	[cm]	[mm]
1	2/3	83	25

Tabelle 2 Achse 12- Ansicht Nord- Auflagerpunkt- Rissaufnahme (Binder 12 JK) – Überschreitung der Grenzwerte

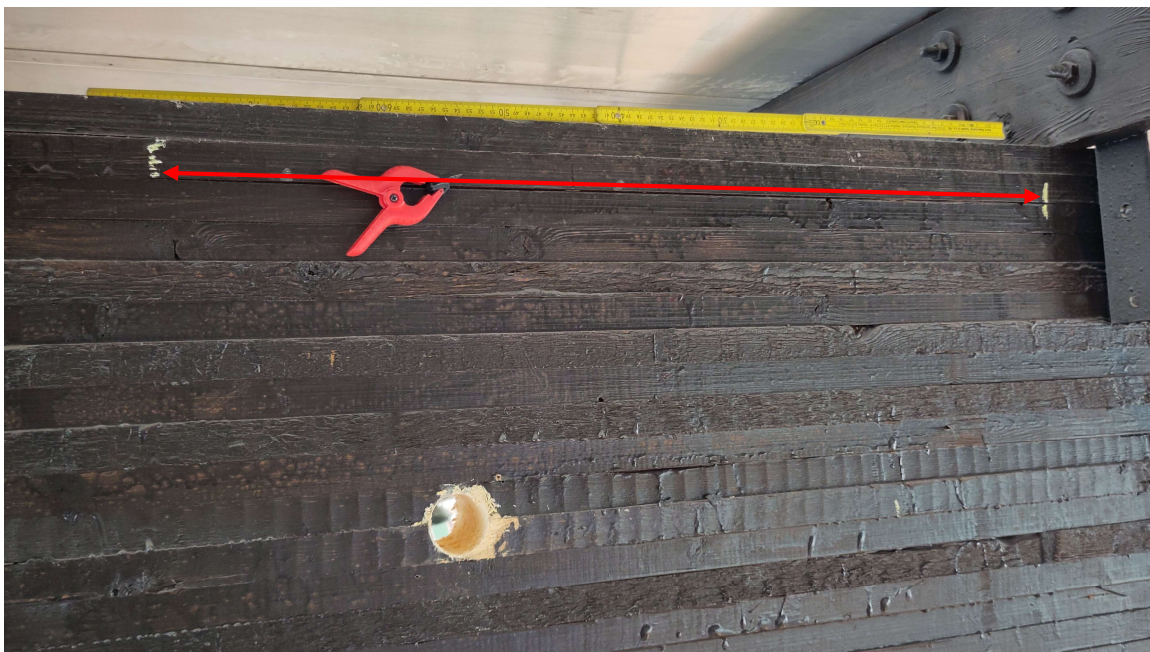
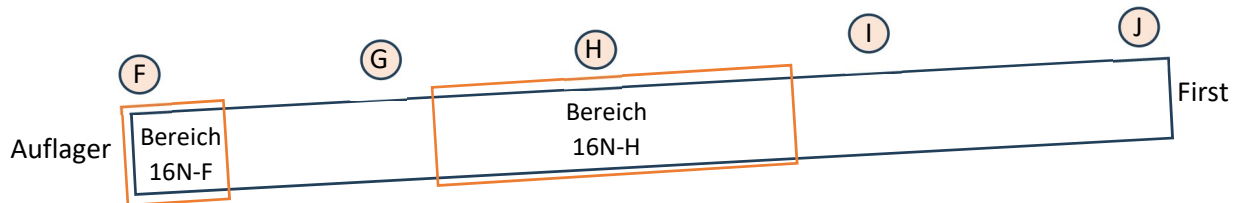


Abbildung 9 - Binder 12JK - Riss durch abgelöste Leimfuge, max. 25mm Tiefe und somit über dem Grenzwert – Grottker

Die Untersuchungen am **Binder 16 – Ansicht Nord** wurden in 2 Bereichen durchgeführt. Der erste Bereich liegt am Auflager **Bereich F** und der zweite Bereich mittig im **Bereich H**. Hier wurde auch auf der gegenüberliegenden Seite **Ansicht Süd – Bereich H** (folgt auf Seite 10) eine Risskartierung vorgenommen.



Die **Ansicht Nord – Bereich F** hat 4 offene Leimfugen (hier weiterhin auch als Risse bezeichnet) zu verzeichnen. Diese haben Längen von circa 50 bis 150 mm und Risstiefen zwischen 20 und 25 mm (siehe Abbildung 10 und Tabelle 3).

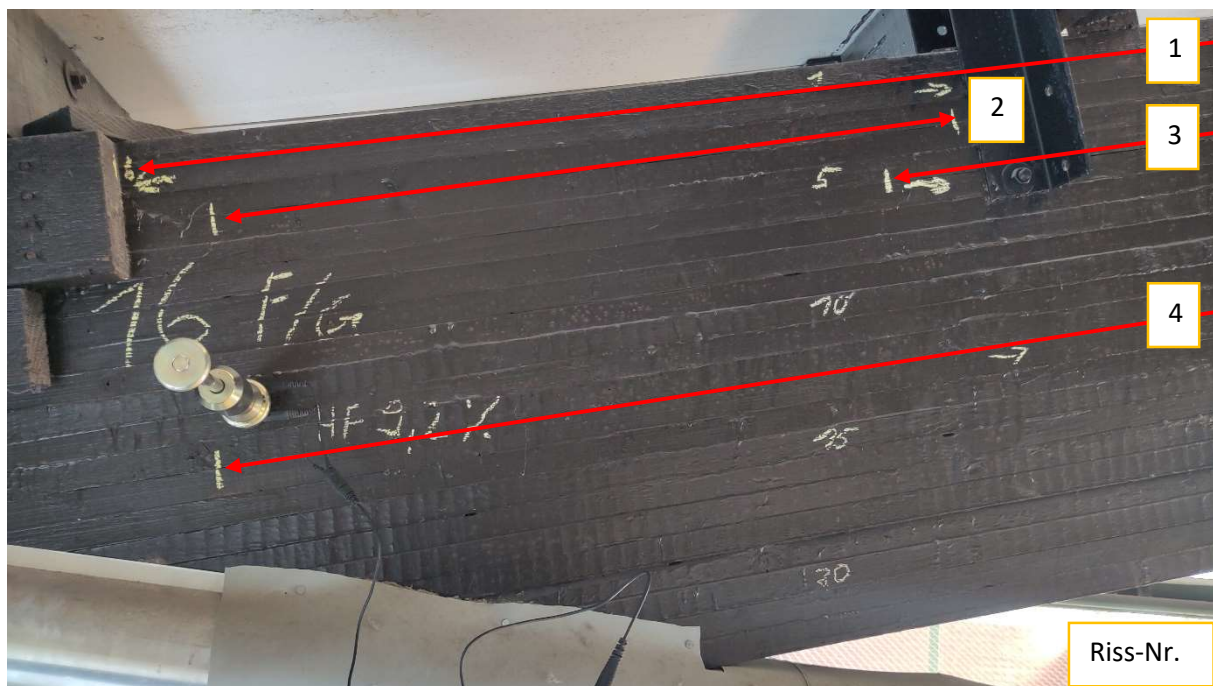


Abbildung 10: Achse 16- Ansicht Nord - Auflagerpunkt Bereich 16-F: 4 offene Leimfugen - Grottker

In der folgenden Tabelle 3 sind die Längen und maximalen Tiefen der offenen Leimfugen aufgeführt. Die rote Hinterlegung zeigt, welche Werte über den Grenzwerten der Bewertungskriterien liegen ( $b/6 = 16,7\text{mm}$ ).

Riss-Nr.	Lamelle-Nr.	Ca. Länge	max. Tiefe
	Oben/Unten	[cm]	[mm]
1	1/2	140	23
2	3/4	80	25
3	5/6	50	20
4	12/13	130	23

Tabelle 3 Achse 16- Ansicht Nord- Auflagerpunkt- Rissaufnahme (Bereich 16N-F)

Auf der **Ansicht Nord – Bereich H** (circa mittig) am **Binder 16** haben sich 5 Risse gezeigt. Diese haben Längen von circa 50 bis über 500 mm Länge und Risstiefen von 14 bis 34 mm (siehe Abbildung 11 und Tabelle 4). Hier liegt nur der Riss Nummer 4 nicht über den Grenzwerten. Der Riss Nr.2 ist zusätzlich in Abbildung 12 dargestellt und geht quer durch das Holz der Lamelle.

**Es ist wichtig anzumerken, dass die Risse Nr. 2,3 und 5 auch auf der anderen Seite des Binders (Ansicht Süd) sichtbar sind und somit beidseitig auftreten!**

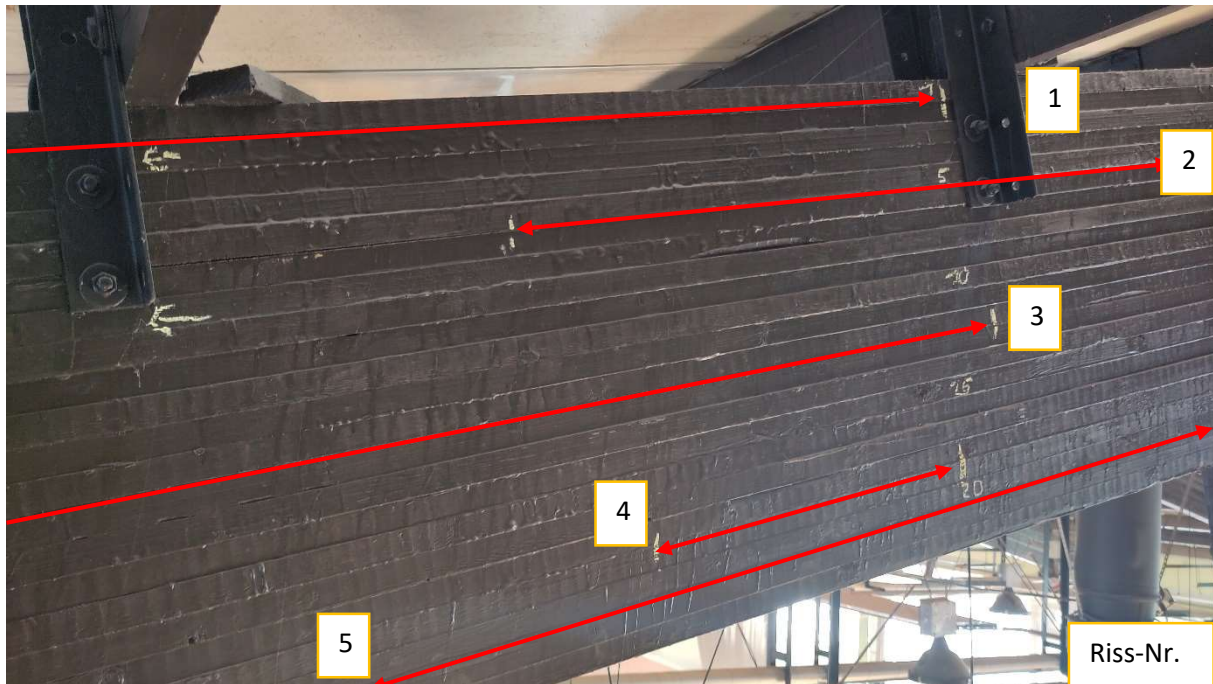


Abbildung 11: Achse 16-Ansicht Nord - Mitte Bereich 16N-H - Grottker

Riss-Nr.	Lamelle-Nr.	Ca. Länge [cm]	max. Tiefe [mm]	
	Oben/Unten			
1	1/2	240	34	
2	5/6	160	25	gegenüber von Ansicht Süd verläuft von 5/6 in die Lamelle 6 rein siehe Abbildung 12
3	12/13	335	30	gegenüber von Ansicht Süd
4	18/19	50	14	
5	20/21	> 500	20	gegenüber von Ansicht Süd

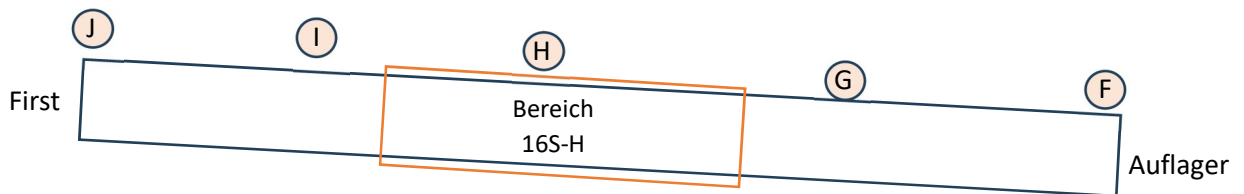
Tabelle 4 Achse 16- Ansicht Nord- Mitte- Rissaufnahme (Bereich 16N-H)





Abbildung 12 - Schwindriss am Binder 16 G/H Lamelle 6 – Achse 16 Ansicht Nord – Grottker

Die Risse im **Binder 16 - Bereich GH - Ansicht Süd** sind in der Tabelle 4 aufgeführt.



Riss-Nr.	Lamelle-Nr.	ca. Länge	max. Tiefe	$\Sigma$ in mm, Risstiefe von den sich gegenüberliegenden Rissen
	Oben/Unten	[cm]	[mm]	
1	5/6	> 180	24	25+24 = 49mm
2	12/13	120	16	30+16 = 46mm
3	20 – durch Lamelle und Fuge	140	13	20+13 = 33mm

Tabelle 5: Achse 16- Ansicht Süd- Bereich H - Rissaufnahme

Durch die festgestellten, beidseitigen Risse verbleiben lediglich ca. 50% der Klebefläche im benannten Bereich. Dies überschreitet deutlich die genannten Grenzwerte und mindert die Kraftübertragung in der Leimfuge erheblich. Es wird dringend angeraten diese Schwächung durch einen Tragwerksplaner zu beurteilen und ggf. sichernde Maßnahmen einzuleiten.

### 3.4 Bohrkernentnahme und Prüfung in der MPA Eberswalde

Die Bohrkernentnahme erfolgte an dem Binder Achse 12 ca. 2 m vom Knotenpunkt im First und ca. 2 m von der Strebe entfernt. Dies wurde mit Herrn Ehlers vor Ort so abgestimmt bzw. vorgegeben.



Abbildung 13 - Achse 12 JK - provisorisch verschlossene Bohrung, Holzfeuchtemessung bei 8,6 M% - Grottker

Die Bohrung ist mittig in der Trägerhöhe durchgeführt und anschließend entsprechend dem Leistungsverzeichnis provisorisch verschlossen (siehe Abb. 13). Der Träger wurde wie abgesprochen durchbohrt, sodass ein 10cm langer Bohrkern mit einem Durchmesser von 40mm Bohrkern herausgenommen werden konnte (siehe Abbildung 14).



Abbildung 14 - entnommener Bohrkern aus dem Binder 12 [2]

Zur Untersuchung der Scherfestigkeit der Fuge wurde die entnommene Bohrkernprobe an die Materialprüfanstalt (MPA) Eberswalde zur Untersuchung eingereicht. Es wurde eine Prüfung nach EN 14080:2013 [4] (Prüfbericht Nr. 31/24/5570/01) und eine Untersuchung auf typische organische Holzschutzmittelwirkstoffe [PB2] [5] (Prüfbericht Nr. 31/24/5570/02A) durchgeführt.

Aus dem entnommenen Bohrkern konnten zwei Prüfkörper zur Untersuchung der Scherfestigkeit des Leimes hergestellt werden. Es wird auf die geringe Aussagekraft eines solch geringen Probenumfangs hingewiesen. Die ermittelten Werte können lediglich als erste Orientierung dienen.

Die Proben wurden nach der Prüfung an ein weiteres Labor weitergereicht. Die Art-Bestimmung des Leims liegt zum Zeitpunkt der Erstellung des Gutachtens noch nicht vor und wird nachgereicht. Die Untersuchungsberichte der MPA liegen in den Anlagen 2 & 3 vor. [4] [5]

Zentrale Erkenntnisse aus den Untersuchungen im Labor:

- Fichtenholz
- „Die Aussagen können nicht als statistisch gesichert angesehen werden, da die Untersuchungen nur an einer sehr geringen Anzahl von Prüfkörpern erfolgten.“ [5, Seite 7]
- „Für die Holzprobe 1 wurde durch gaschromatographische Untersuchungen ein deutlicher Gehalt an dem früher eingesetzten Fungizid PCP (19mg/kg) bestimmt.“ [4, Seite 3]
- Die Prüfwerte der 1. Probe erreichen ebenso und der 2. Probe ebenso nicht die Vorgaben eines nach EN301 klassifizierten A1 Leims mit einer min. Zugscherfestigkeit von 10N/mm<sup>2</sup>.  
(Diese Festigkeit bezieht sich auf Buchenholz. Fichte/ Kiefer haben geringere Scherfestigkeiten im Holz, so kann die Prüfung mit Leim max. an die Holzfestigkeit herankommen. Deswegen ist der Holzbruchanteil relevant (100% Holzbruch = Leim hält Holzfestigkeit))
- In Bereichen von Scherfestigkeiten zwischen 4 bis 6 N/mm<sup>2</sup> sollte nach Tabelle 6 der Faserbruchanteil bei 100% liegen, damit der Leim einem nach EN301 klassifizierten A1 Leim zugeschrieben werden kann.  
Bei ermittelten Scherfestigkeiten von 6 N/mm<sup>2</sup> sollte dabei der Faserbruchanteil bei mindestens 74% liegen, bei Festigkeiten ab 10 N/mm<sup>2</sup> bei über 20 %.

**Tabelle 1: Mindestanforderung (für Einzelwerte) des Faserbruchanteils, bezogen auf die Scherfestigkeit  $f_v$  \***

	Einzelwerte		
Scherfestigkeit $f_v$ in N/mm <sup>2</sup>	$4 \leq f_v < 6$	6	$f_v \geq 10$
Mindestwert des Faserbruchanteils, in %	100	74	20

\* EN 14080:2013, Tabelle 10

Tabelle 6 Mindestanforderungen des Faserbruchanteils, in % nach EN 14080, [4]

Die Ergebnisse der Prüfungen zur Scherfestigkeit ergaben Festigkeiten von 6,0 und 7,3 N/mm<sup>2</sup> bei Faserbruchanteilen von 70 und 75 % (vgl. Tab. 7 [4]).



**Tabelle 4: Ergebnisse der Prüfung nach EN 14080, Anhang D – Scherprüfung der Klebfugen**

Pk-Nr	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Bruchkraft F [N]	Scherfestigkeit $f_v \times k_v^*$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Holzbruchanteil [%]
1	451	8647	7,3	75
2	454	7046	6,0	70

\* Der Faktor  $k_v$  modifiziert die Scherfestigkeit der Prüfkörper, bei denen die Höhe der Scherfläche ( $h_s$ ) in Faserrichtung weniger als 50 mm beträgt ( $k_v = 0,78 + 0,0044 h_s$ )

*Tabelle 7 - Ergebnisse der Scherfestigkeit der Prüfkörper [4]*

Die ermittelten Prüfwerte bewegen sich nahe der Grenzen aus den benannten Anforderungen. Der Prüfkörper Nr. 1 erfüllt die Anforderungswerte gerade so, wobei der Prüfkörper Nr. 2 die Anforderungen hinsichtlich des Mindestwertes des Faserbruchanteils leicht unterschreitet. Für eine statistische Aussagekraft genügt die Anzahl der Bohrkerne nicht.

Hervorzuheben ist erneut, dass beide Prüfwürfel aus ein und derselben Probe gefertigt wurden.

### 3.5 Visuelle Kontrolle der Binder

Die visuelle Kontrolle der Binder ergab aus holzschutztechnischer Sicht keine Auffälligkeiten. Die in der Substanzerkundung beschriebenen überstehenden Lamellen sowie der ehemals ausgetretene Leim prägten das Bild [1, Seite 3]. Dies weist nicht unbedingt auf eine Fertigung per Hand hin, sondern dass der Arbeitsschritt des Hobelns auf eine einheitliche Dicke nicht durchgeführt wurde.

Die durch die Substanzerkundung angesprochenen Verunreinigungen konnten keinem Insekten-Befall zugeordnet werden, da keine Ausflughöhlen vorhanden waren und zudem die **HF** zu gering für einen Insekten-Befall war [6]. Die **HF** war zu gering bzw. das Raumklima zu trocken, als dass die Verunreinigungen einem Schimmelpilzbefall zuzuordnen waren [7].

Außerdem waren alle Einstichproben unauffällig.

Was allerdings auffiel, war ein Geruch, der den Verfasser an ein vorheriges Projekt mit organischen Holzschutzmitteln erinnerte. Folglich wurden alle Untersuchungen mit Handschuhen und FFP3 Maske durchgeführt.

## 4 Diskussion und Einordnung der Ergebnisse

Vorwegzunehmen ist, dass die untersuchten Bereiche sowie die genommene Probe keine repräsentative Aussage über das gesamte Tragwerk geben können. Dennoch können durch die Untersuchungen vor Ort Problemstellungen benannt und exemplarisch ein Sanierungsvorschlag unterbreitet werden. Dessen Umfang ist durch eine umfassende Schadenskartierung im Vorhinein abzuschätzen, um adäquat ausschreiben zu können.

### 4.1 Vorliegende Belastung aus organischen Holzschutzmitteln - PCP

Die Laboruntersuchungen stellten fest, dass eine PCP-Belastung von 19 mg/kg vorliegt. Nach dem folgenden Ablaufschema (Abbildung 15) wäre keine Sanierung hinsichtlich einer PCP-Belastung notwendig (weniger als 50mg/kg und  $\gg 0,2 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ).

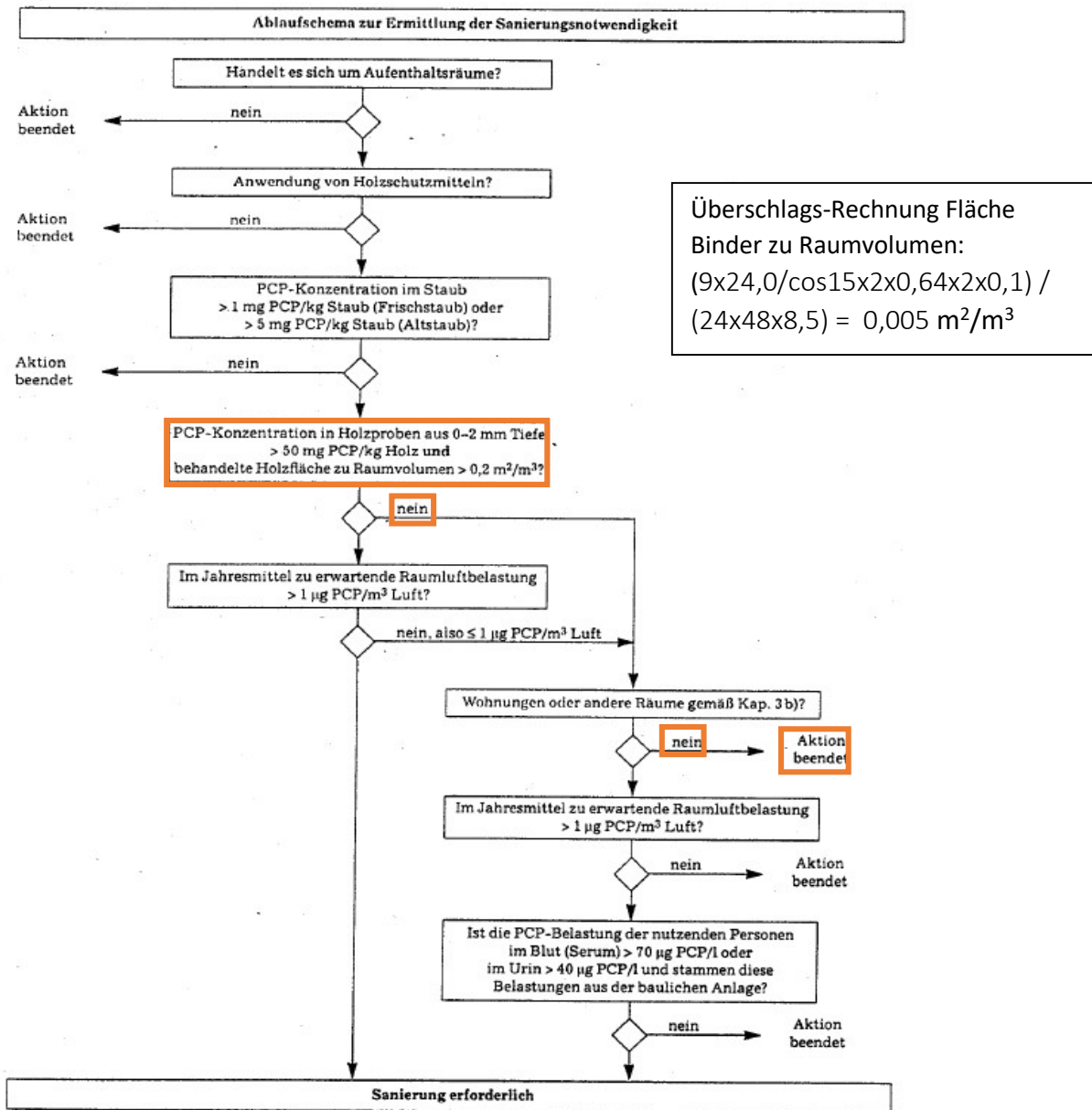


Abbildung 15 - Ablaufschema zur Ermittlung der Sanierungsnotwendigkeit [8]

Hierfür wird eine Überschlagsrechnung erstellt, bei der die behandelte Holzoberfläche, die mit der Innenraumluft in Kontakt steht, zu dem Raumvolumen in ein Verhältnis gesetzt wird. Dieses Verhältnis liegt mit  $0,005 \text{ m}^2/\text{m}^3$  deutlich unter der Grenze von  $0,2 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

Es sollte dennoch sensibel mit der Thematik umgegangen werden, auch wenn die Grenzwerte vom Verhältnis der behandelten Holzoberfläche zu dem Raumvolumen bei weitem nicht erreicht wurden. Hier gilt es insbesondere während der Baumaßnahmen, einen Kontakt mit den kontaminierten Stäuben und Oberflächen zu verhindern. Es wird empfohlen die Liegestäube – die bereits bei den Untersuchungen thematisiert wurden - durch einen Schadstoffgutachter einschätzen zu lassen. Beim Arbeiten oder Aufenthalt im oder nahe dem Dachtragwerk wird eine FFP3 Maske und Handschuhe empfohlen. Auf Arbeiten, die Staub produzieren, sollte in jedem Fall verzichtet werden!

## 4.2 Rissbildungen im Brettschichtholz

Der fachgerechte Einsatz und die Verleimung des Werkstoffs Holz erfordert aufgrund der organischen, inhomogenen, anisotropen und hygroskopischen Eigenschaften eine hohe Kenntnis in Fertigung, Planung und Ausführung. Die Verleimung zu einem Gesamtquerschnitt wird beeinflusst durch z.B. die Holzsortierung, den Einschnitt, die Holzfeuchte und die Qualität der Verarbeitung. Gründe für offene Leimfugen oder Risse im Holz können sein [9]:

1. Leimqualität
2. Verarbeitungsfehler
3. Unzulässige Auffeuchtung beim Transport oder Bauzustand
4. Unzulässige Querkzugspannungen

Die Festigkeiten eines Holzleimes sind in der Regel höher als die des Holzes. Natürliche Rissbildungen treten somit in der Regel innerhalb der Holzlamellen auf. Bei dem vorliegenden Rissbild offener Leimfugen kann von einer minderen Qualität des Leims oder Fehler bei der Verarbeitung ausgegangen werden. Es könnte auch eine unzulässige Einbringfeuchte (Punkt 3) ursächlich sein aber nur in Zusammenhang mit den Punkte 1. und 2..

Unzulässige Querkzugspannungen können durch Befestigungen mit einer Lastrichtung quer zur Faserorientierung eingetragen werden oder entstehen durch vom gleichförmigen als geraden Stab ausgebildeten Binder abweichende Geometrien. Beides liegt aus Sicht des Verfassers hier nicht vor.

Als Sachkundiger im Holzschutz kann nur die Auffeuchtung durch Fehler bei der Trocknung, Lagerung oder dem Transport eingeschätzt werden. Ob durch Querkzugbeanspruchung oder generelle Schnittkräfte eine offene Fuge entstehen kann, ist durch den Tragwerksplaner zu beurteilen.

Ebenfalls können nur Vermutungen hinsichtlich einer durch die **HF** indizierten Öffnung der Fuge gegeben werden. Denkbar ist hier:



Das angestrebte Klima unter der Nutzung ruft eine **HF** hervor, auf die das Holz beim Errichten des Tragwerks noch nicht heruntergetrocknet war bzw. es vom Werk bis zur Nutzung eine Auffeuchtung gegeben hat.

Üblich ist, dass **HF**-Bereiche für Holzprodukte je nach Einsatz-Klima ausgegeben werden. So sollen z.B. nach heutigem Stand Brettschichtholz-Binder für den Innenbereich eine **HF** von 11-13 M% vor dem Verbau aufweisen [10]. Selbst bei dieser Einbaufeuchte entstehen Spannungen im Holz, wenn die Ausgleichsfeuchte (bei ca. 9M% - siehe oben) gegenübergestellt wird.

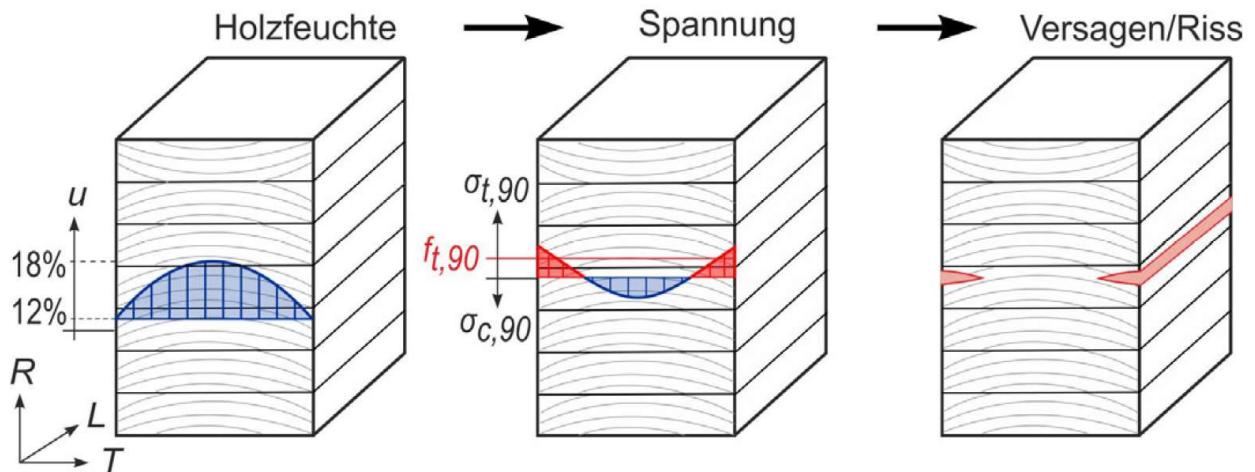


Abbildung 2 - Auftretende Spannungen im Holzquerschnitt durch das Schwinden

Das Schwindmaß wird tangential nach [6] mit 0,27-0,36% und radial mit 0,15-0,19% je  $\Delta 1\%$  **HF** bei Fichtenholz angegeben. Dies entspricht je nach Ausrichtung der Jahrringe bei  $\Delta 4$  M% einer Verformung der Lamellenstärke von 27 mm bis zu einer der Höhe von 0,39mm. Diese Verformungen treten in der Lamelle je nach Verlauf des Jahrrings auf. Es entstehen somit Spannungen im Holz und in den Leimfugen, dessen Größe abhängig von der Ausrichtung der Lamellen ist.

Das hier angefundene Klima ist im Sommer aufgenommen worden. Je nach Heiz-Verhalten können auch noch geringere **HF** und somit Spannungen entstehen (z.B. 7M% Ausgleichsfeuchte -  $\Delta 4$  M% - bis zu 0,58mm). Eine ganz andere Situation ergibt sich, wenn im Bauzustand der Binder über längere Zeit einer erhöhten Feuchtigkeit ausgesetzt war. Hierdurch könnten  $\Delta > 10$  M% entstehen [11]. Ebenfalls entscheidend ist, wie schnell die **HF** heruntergetrocknet wird. Bei langsamer Trocknung können sich die Spannungen im Holz durch Relaxation ausgleichen, ein starkes Heizen im ersten Winter kann somit zu großen Spannungen führen [9].

Es bleibt dabei zu beachten, dass dies nur bei einer verminderten Leimqualität und bzw. oder mit einem Verarbeitungsfehler einhergehen kann. Selbst wenn hohe Spannungen durch eine signifikante Abtrocknung entstehen würden, so wäre das Holz vor der Leimfuge gerissen.

Auffällig ist, dass die Untersuchungsbereiche an den Bindern 4 und 20 gänzlich frei von offenen Fugen oder Rissen im Holz waren. Auch an der Achse 12 war nur eine offene Leimfuge festzustellen, somit sticht der Binder 16 deutlich hervor. In einer umfassenden Risskartierung muss eingeordnet werden, welchem Zustand die weiteren Binder zuzuordnen sind.

## 5 Optionen der Sanierung

Vorwegzunehmen ist, dass bei allen Sanierungsarbeiten auf die PCP-Belastung zu achten ist. Sobald das Holz mechanisch bearbeitet wird, muss die umfassende persönliche Schutzausrüstung (**PSA**) genutzt werden – staubdichter Anzug, P3 Maske, Korbbrille und Handschuhe [12]. Anschließend ist die Reinigung durch eine Fachfirma für Dekontamination nach den Arbeiten zu berücksichtigen.

Außerdem kann der Sanierungsvorschlag nur für untersuchte Bereiche gegeben werden, bei denen die Randbedingungen bekannt sind. Für einen Sanierungsvorschlag für die gesamten Binder des Dachtragwerks wird eine umfassende Risskartierung sowie weitere Untersuchungen des Leimes notwendig werden – 12 Bohrkerne sind für Hallentragwerke üblicher Größe repräsentativ [13]. Diese weiteren Untersuchungen sollten durchgeführt werden, wenn alle Haustechnik sowie Netze zurückgebaut sind, um eine lückenlose Dokumentation zu erlauben. Außerdem ist die Untersuchung von einem Gerüst oder einer von oben verfahrbaren Hebebühne sinnvoll.

An dieser Stelle sollen die üblichen Sanierungsmöglichkeiten für derartige Schadensbilder aufgezeigt werden. Welches für die anstehende Sanierungs- und Bauaufgabe am besten geeignet ist, kann erst nach Erfassung des Gesamten eingeschätzt werden.

Für die Sanierung von Rissen in Brettschichtholz können im Wesentlichen die nachfolgend aufgeführten Methoden angewandt werden.

1. Leimfugensanierung mit 2K Epoxidharzen
2. Verkleben von Platten oder Streifen aus Holzwerkstoffen oder von Vollholzlammellen
3. CFK-Manschetten
4. Eingeklebte Stahlstangen/Vollgewindeschrauben
5. Austausch des Binders

Die Sanierungsmethoden 1. und 2. sind nach dem „Merkblatt zur Sanierung von BS-Holz-Bauteilen“ gängige Sanierungsmethoden. Sie bewirken nach der Sanierung die Wiederherstellung der vollen Tragfähigkeit des Binders. Eingeklebte Gewindestangen bzw. Vollgewindeschrauben könnten zur Fixierung der Lammellen genutzt werden oder auch zur Verstärkung von durch Rissen getrennter Binder-Teilquerschnitten. Diese Maßnahmen müssten tragwerksplanerisch nachgewiesen werden.

## **1. Leimfugensanierung mit 2K Epoxidharzen - Regelsanierung**

Der Umstand der PCP-Belastung macht die Regelsanierung, die Leimfugensanierung mit 2K-Kunsthharzen, zusätzlich herausfordernd. Ebenso weisen die Brettschichtholzbinder keine glatte Oberfläche auf, was folglich zu Problemen bei der Ausführung führen kann.

Vor der Sanierung ist durch den Tragwerksplaner einzuschätzen, ob vor oder durch die Sanierungsmaßnahmen die Standsicherheit gefährdet ist. Falls dieser Fall eintritt, müssten dementsprechend Sicherungsmaßnahmen getroffen werden.

Die Leimfugensanierung sieht vor, offene Leimfugen mit einer Fräse oder einer Handkreissäge der Länge nach aufzuschneiden. Die Einschnitttiefe orientiert sich hierbei an der max. Risstiefe. Falls noch lose Bestandteile in der Fuge bestehen bleiben, sollte min. 4cm tief eingeschnitten werden [14].

Hier besteht die Herausforderung bei den vorliegenden ungehobelten Bindern, die Schnitte bzw. Fräsungen in der Fuge und somit orthogonal zur Oberfläche durchzuführen.

Der bestehende Riss durch die Lamelle (Binder 16- Ansicht Nord- Bereich H) sollte von losen Holz-Teilen durch Auskratzen entledigt werden.

Dann werden je nach Zulassung des 2K- Produkts alle 10-25 cm ein 7,5 mm Loch gebohrt. Dies muss groß genug sein, dass die Tülle der Handpresse aufgenommen werden kann oder es kann mit Einfüllnippeln mit Rückschlagventil gearbeitet werden.

Daraufhin wird der Riss oder die offen eingeschnittene Fuge mit ölfreier Druckluft gereinigt und anschließend mit durchsichtigem Klebeband verschlossen. Es besteht auch die Möglichkeit den Riss zu verspachteln und weiter zu hinterfüllen (anstatt dem Abkleben), wobei sich die zuerst genannte Variante als praktikabler herausgestellt hat. Die Oberflächenvorbereitung darf frühestens 3 Tage vor der Verfüllung des Risses erfolgen [15].

An den Bohrungen muss das Klebeband aufgestochen bzw. beim Spachteln dieser Bereich ausgelassen werden und ggf. mit dem Einfüllnippel verschlossen werden. Mit einer Handpresse wird nun von einer Seite kommend so viel Leim in den Riss gegeben, bis dieser am nächsten Bohrloch erscheint. So wird sichergestellt, dass die Fuge bzw. der Riss vollständig mit dem Kleber verfüllt ist [16]. Abschließend müssen die Löcher mit Dübeln verschlossen werden, um das Ausfließen von dem dünnflüssigen Leim zu verhindern. Die Oberflächenbehandlung kann nach optischen Gesichtspunkten erfolgen.

Anzumerken sind zwei weitere Randbedingungen:

### **1. Leim- Berechtigung:**

„Betriebe, die gerissene tragende Holzbauteile unter Verwendung des Klebstoffs "WEVOPOX 32 S mit WEVODUR B 24 TS" nach diesem Bescheid Instand setzen, müssen im Besitz einer Bescheinigung über die Eignung zur Instandsetzung von tragenden Holzbauteilen mittels Klebung gemäß DIN 1052-10, Abschnitt 5, sein.“ [14, Seite 6]



## 2. Abschließend muss eine Qualitätskontrolle stattfinden:

„Zur Sicherstellung einer ausreichenden Klebstofffugenfestigkeit sind neben einer visuellen Kontrolle der Klebfugen aus den instandgesetzten Holzbauteilen an statisch unbedenklichen Stellen Bohrkerne im Bereich der Klebfugen zu entnehmen. Die Bohrkerne müssen einen Durchmesser von 25 mm bis 35 mm haben und mittig die instandgesetzte Klebstofffuge enthalten. Bei Instandsetzungsmaßnahmen, bei denen maximal vier gerissene tragende Holzbauteile ertüchtigt werden, ist mindestens ein Bohrkern aus jedem Holzbauteil zu entnehmen. Werden mehr als vier Holzbauteile instandgesetzt, ist mindestens aus jedem zweiten Holzbauteil ein Bohrkern und sind mindestens insgesamt vier Bohrkerne zu entnehmen. Die Bohrlöcher sind durch geeignete Maßnahmen dauerhaft zu verschließen, z.B. durch passgenau eingeklebte Holzstopfen. Die Bohrkerne sind gemäß DIN EN 14080:2013-09, Anhang D.3.1 zu Prüfkörpern mit angeschnittenen parallelen und ebenen Flächen zu bearbeiten. Vor der Prüfung der Scherfestigkeit sind der Verfüllungsgrad der instandgesetzten Klebstofffuge (Prozentsatz der verfüllten Fugentiefe bezüglich der Gesamtristtiefe), ein eventuell vorhandener Luftporeneinschluss und gegebenenfalls andere Auffälligkeiten festzustellen und zu dokumentieren. Die Scherfestigkeit der Klebstofffuge der Bohrkerne ist nach DIN EN 14080:2013-09, Anhang D zu ermitteln.“[17, Seite 5]

## 2. Verkleben von Platten oder Streifen aus Holzwerkstoffen oder von Vollholzlamellen - Regelsanierung

Durch seitlich an die Binder angebrachte Laschen aus Vollholz- oder Holzwerkstoffplatten kann die Schubtragfähigkeit des Trägers verbessert bzw. wiederhergestellt werden. Dazu werden die Platten mit dem Schraub-Press-Verfahren angebracht. Dabei ist zu beachten, dass die meisten Klebstoffe nur geringe maximale Klebstoffdicken (0,3 mm) aufweisen [18]. Selbst zugelassene Produkte für dicke Klebstoffdicken begrenzen diese in der Regel auf 1,5mm. Daher kann es in dieser Sanierungsform notwendig werden, die Unebenheit der Binderseitenflächen durch Hobelarbeiten zu beheben. Dies stellt einen sehr hohen Aufwand dar und ist angesichts der PCP Belastung genau abzuwägen.

## 3. CFK-Manschetten

Die Schubverstärkung mit CFK Umschnürungen ist aus dem Stahlbetonbau entnommen und wird in Sonderfällen auch im Holzbau angewandt. Das Verfahren ist durch Produktzulassungen geregelt und durch besonders fachkundiges Personal durchzuführen.

#### **4. Eingeklebte Gewindestangen bzw. Vollgewindeschrauben**

Eingeklebte Gewindestangen bzw. Vollgewindeschrauben sind übliche Verstärkungsmethoden zur Aufnahme von kritischen Querkzugbeanspruchungen in gewissen Bindergeometrien oder Anschlussbereichen mit Lasten quer zur Faserorientierung.

Darüber hinaus können sie als Verbindungsmittel zur Schubkraftübertragung eingesetzt werden. Dabei wird üblicherweise aus mehreren Teilquerschnitten ein Gesamtquerschnitt gefügt. Dies kommt z.B. bei der nachträglichen Verstärkung von Biegebauteilen durch unter- oder oberseitiges Anbringen eines Holzquerschnittes zum Einsatz. Dabei wird ein Ansatz als nachgiebig verbundener Biegestab gewählt (DIN EN 1995-1-1, Abs. 9.1.3 und. Anhang B). Der Einsatz von unter 45° geneigten Vollgewindeschrauben begünstigt dabei die Höhe der Schubkraftübertragung erheblich. Die Anordnung und Nachgiebigkeit müssen statisch berücksichtigt werden.

Unter Berücksichtigung der tatsächlich auftretenden Beanspruchungen der geschädigten Bereiche des Binders im vorliegenden Tragsystem, kann ggf. bei einzelnen Rissen diese Sanierungsform den geringsten Aufwand bedeuten. Dabei sollte durch einen Tragwerksplaner abgeschätzt werden, ob die durch Risse erzeugten Teilquerschnitte mittels Verbindung mit Gewindestangen oder Vollgewindeschrauben zu einem Verbundquerschnitt gefügt werden können, der ausreichend Tragfähigkeit aufweist.

Die genaue Ursache der Ablösungen in den Leimfugen konnte bisher nicht ausgemacht werden. Um die Wahrscheinlichkeit weiterer Ablösungen nach einer Bindersanierung zu reduzieren, könnten quer zu der Binderachse (durch die Lamellen) in regelmäßigen Abständen angeordnete eingeklebte Gewindestangen oder Vollgewindestangen einen Beitrag zur Lagesicherung der Lamellen leisten. Dabei ist aus statischer Sicht die Reduzierung der Querschnittsfläche durch die Bohrung zu beurteilen.

#### **5. Austausch des Binders**

Es bleibt abzuwägen (nach der Risskartierung und einer Beratung/Angeboten von Fachfirmen) welche Sanierungsform sich in diesem Fall aus den verschiedenen Gesichtspunkten – finanziell, Machbarkeit und Bauablauf - anbietet. Es bleibt ebenfalls zu prüfen, ob der Bestandsschutz bestehen bleiben würde, wenn es zum Austausch des Binders kommen würde. Dies würde sich insbesondere anbieten, wenn sich das verstärkte Schadbild auf den Binder 16 beschränkt.

## 6 Ausblick / Zusammenfassung

Zusammenfassend ist zu sagen, dass an den untersuchten Stellen aus holzschutztechnischer Sicht ein Hallentragwerk vorliegt, welches keine Hinweise auf einen Befall von holzerstörenden Organismen gibt.

Wie in Kapitel 3.3 aufgenommen und 4.2 erörtert, ist es nötig, durch eine umfassende Risskartierung und weitere Entnahme von Bohrkernen, den tatsächlichen Zustand des gesamten Tragwerks festzustellen. Es liegen somit vermehrt Risse vor, die die Grenzwerte überschreiten. Weitere Untersuchungen können genutzt werden, um die Ursache weiter einzugrenzen und ein belastbares Sanierungskonzept zu formulieren.

Wie in Kapitel 3.4 aufgenommen und 4.1 erörtert sind bei Untersuchungen und ggf. allen Sanierungsmaßnahmen auf die Gegebenheit zu achten, dass eine PCP-Belastung vorliegt. Es ist somit die PCP-Richtlinie zu berücksichtigen. Eine Sanierung aufgrund der PCP-Belastung ist jedoch durch diese PCP-Richtlinie nicht gefordert [8].

Wie in Kapitel 5. dargelegt, kann ein umfassendes Sanierungskonzept nur nach diesen Untersuchungen stattfinden, um alle erforderlichen Maßnahmen aufeinander abzustimmen oder ggf. die Wirtschaftlichkeit gegenüber einem neuen Tragwerk abzuwägen.

Die genaue Ursache der sich ablösenden Leimfugen konnte nicht eindeutig ausgemacht werden. Wenn die Ablösungen zeitnah zur Bauzeit entstanden sind, spricht dies auf ein abgeschlossenes Schadensbild, dass rissorientiert behoben werden kann. Sollten die Ablösungen über die Nutzungszeit bzw. in jüngster Vergangenheit entstanden sein, ist es wahrscheinlich, dass sich diese Entwicklung fortsetzt. Es wird empfohlen, bei den nach [19] seit 2006 empfohlenen Prüfungsintervalle für Bauwerke die Inaugenscheinnahme der Brettschichtholzbinder bei den Begehungen nach Abs. 4.2.1 [19] (alle 2-3 Jahre), mindestens jedoch bei den Sichtkontrollen nach Abs. 4.2.3.[19] (alle 4-5 Jahre) aufzunehmen.



---

Maßlow den 09.09.2024

Philipp Grottker M.Eng.

**Ingenieurbüro Holzschutz Grottker**  
Sachkundiger für Holzschutz am Bau  
Geprüfter Forschungstaucher  
Philipp Grottker M.Eng. - Bauing.  
Maßlow 6, 23972 Lübow  
Tel.: (+49) 152/25626408  
E-Mail: [info@holzschutz-grottker.de](mailto:info@holzschutz-grottker.de)  
Web: [www.holzschutz-grottker.de](http://www.holzschutz-grottker.de)



## 7 Literaturverzeichnis

- [1] V. Ehlers, „Technische Substanzerkundung des Hallendaches /Stichprobenartige Prüfung auf Schäden“. Dezember 2022.
- [2] BS Holz, „Leitfaden zu einer ersten Begutachtung von Hallentragwerken aus Holz“. Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., April 2018.
- [3] Mohrmann, „Holzschutz“. Februar 2013.
- [4] Murr, „Prüfbericht Nr. 31/24/5570/01 - Prüfung der Qualität der Verklebung von Brettschichtholzträgern. Scherprüfung der Klebfugen gemäß EN 14080:2013, Anhang D“. MPA Eberswalde, August 2024.
- [5] Klose, „Prüfbericht Nr.31/24/5570/02A - Untersuchung von Materialproben auf typische organische Holzschutzmittelwirkstoffe“. MPA Eberswalde, August 2024.
- [6] G. Binker u. a., Hrsg., *Praxis-Handbuch Holzschutz: Beurteilen, Vorbereiten, Ausführen*. Köln: R. Müller, 2014.
- [7] Bayrisches Landesamt für Umwelt, „Schimmel: Physikalische Hintergründe“. 2016. [Online]. Verfügbar unter:  
[https://www.energieatlas.bayern.de/sites/default/files/Physikalische\\_Hintergruende\\_Schimmel.pdf](https://www.energieatlas.bayern.de/sites/default/files/Physikalische_Hintergruende_Schimmel.pdf)
- [8] Projektgruppe „Schadstoffe“, „Richtlinie für die Bewertung und Sanierung Pentachlorphenol (PCP)-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCP-Richtlinie)“. Februar 1997.
- [9] H. Biel, „Ertüchtigung von Holztragwerken – Beispiele aus der Praxis“, 2008.
- [10] Informationsdienst Holz, „Holzschutz bei Ingenieurbauten“. März 2015.
- [11] *Beurteilung der Holzfeuchte für Tragwerke und Brücken für die Planung, Errichtung und Nutzung Praxisleitfaden*, 1. Auflage. Biel: Berner Fachhochschule, 2019.
- [12] Gefahrenstoffinformationssystem der BG Bau, „Arbeiten an und in Dachstühlen, die mit Lindan, PCP und/oder DDT belastet sind Tätigkeiten mit krebserzeugenden Stoffen!“
- [13] BS Holz-Verband, „Merkblatt zur Bewertung von Klebfugen in Brettschichtholzbauteilen im Bestand“. August 2021.
- [14] DIBt, „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung/Allgemeine Bauartgenehmigung“. Januar 2024.
- [15] WEVO, „WEVO-Spezialharz EP 20 VP 1 (WEVOPOX 20/VP 1) mit WEVO-Härter B 20/1 (WEVODUR B 20/1) zur Instandsetzung tragender, gerissener Holz-und Brettschichtholzbauteile mittels Klebung“. März 2015.
- [16] Venzmer, „Feuchteschutz - 18. Hanseatische Sanierungstage“. Beuth, November 2007.
- [17] W.-S. Ep, „zur Instandsetzung gerissener tragende Holzbauteile mittels Klebung“, Apr. 2020.
- [18] Debrunner Acifer, „Schraubenpressverklebung - Ein stabiles System für den Holzbau, das Sorgfalt verlangt“. 9. September 2024. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.d-a.ch/da/kunden-referenzen/aktuelles/blog/schraubenpressverklebung.html>
- [19] „Hinweise für die Überprüfung der Standsicherheit von baulichen Anlagen durch den Eigentümer/Verfügungsberechtigten. Fassung September 2006“, *DIBt Mitteilungen*, Bd. 37, Nr. 6, S. 222–226, Dez. 2006, doi: 10.1002/dibt.200630062.