

# Vordimensionierung von Holzwerkstoffplatten

Master-Thesis von Jonas Müller

Fakultät für Architektur  
Arbeitsgebiet Tragwerksentwurf  
Prof. Dr.-Ing. M. Staffa

Hamburg, Dezember 2017

Master-Thesis eingereicht am: 19. Dezember 2017

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Februar 2018

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. M. Staffa, HafenCity Universität Hamburg

Zweitprüfer:

M.Sc. K. Schramme, HafenCity Universität Hamburg

Vielen Dank für die hervorragende Betreuung an:

Dipl.-Ing. W. Brahms, HafenCity Universität Hamburg



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Kurzfassung und Zielsetzung	1
1.2	Abkürzungsverzeichnis	2
1.3	Vordimensionierungswerkzeuge und Stand der Forschung	3
<b>2</b>	<b>Erläuterung des Verfahrens zum Anlegen der Nachweisserien</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Flache Dacheindeckungen im Hallen- und Wohnungsbau</b>	<b>9</b>
3.1	Definition des Flachdachs über dessen Neigung	9
3.2	Nutzung des Dachs	9
3.3	Feuchteschutz	10
3.4	Hinterlüftete Dächer	10
3.5	Wärmeschutz	11
3.6	Schallschutz	12
3.7	Brandschutz	12
3.8	Sonstige Anforderungen	13
<b>4</b>	<b>Geschossdecken im Wohnungsbau</b>	<b>14</b>
4.1	Schallschutz	14
4.2	Brandschutz	15
4.3	Vermeiden von Schwingungen	16
<b>5</b>	<b>Holzwerkstoffplatten und deren Nachweisformate</b>	<b>17</b>
5.1	Holzwerkstoffe	18
5.2	Bemessungskonzept im Holzbau	19
5.3	Brettsperrholz	21
5.4	OSB	36

<b>6</b>	<b>Parameter und Variationsfaktoren</b>	<b>42</b>
6.1	Stützweite	43
6.2	Statisches System	43
6.3	Einwirkungen auf das Tragwerk	44
6.4	Nutzungsklassen und äußere Anforderungen	48
6.5	Querschnittsaufbau und technische Klassen	49
6.6	Höhe der Holzwerkstoffplatte	49
6.7	Untersuchte Systeme	50
6.8	Kosten der Holzwerkstoffe	52
<b>7</b>	<b>Ergebnisse der Nachweiserien</b>	<b>54</b>
7.1	Ergebnisse der Nachweiserien für Brettsper Holz	60
7.2	Ergebnisse der Nachweiserien für OSB	71
7.3	Zusammenführen zu einer Plattenvordimensionierung	80
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Fazit</b>	<b>84</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>86</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>90</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>92</b>
	<b>Anhang</b>	<b>93</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Kurzfassung und Zielsetzung

In der vorliegenden Arbeit werden Vordimensionierungszusammenhänge bei Holzwerkstoffen untersucht. Der Fokus liegt dabei auf Plattenbauteilen aus Brettspertholz und OSB in der Anwendung als Dacheindeckung und Geschossdecke.

Beide Holzwerkstoffe werden anhand ihrer Eigenschaften und Bemessungskonzepte beschrieben. Die Anwendungsgebiete – Dacheindeckung und Geschossdecke – und deren Charakteristika und Herausforderungen werden umrissen. Auf Basis dieser Informationen werden beispielhafte Bemessungssysteme konzipiert, die realistische Bausituationen abbilden. Für jedes der Systeme wird eine stützweitenabhängige Nachweisserie durchgeführt, deren Ergebnis Rückschlüsse auf die zu untersuchenden Vordimensionierungszusammenhänge zulässt.

Ziel der Arbeit ist es, für beide Werkstoffe und Anwendungsgebiete Vordimensionierungswerkzeuge zu entwickeln, die sich möglichst allgemein und mit geringem rechnerischem Aufwand anwenden lassen. Dabei besteht die Herausforderung, dass eine möglichst universell anwendbare Formeln oder Diagramme anhand von spezieller Bemessungssituationen entwickelt werden müssen.



Abbildung 1: Fünfplagige Brettspertholzplatte [57]



Abbildung 2: OSB-Platte mit Nut und Feder [65]

## 1.2 Abkürzungsverzeichnis

a. b. Z.	allgemeine bauaufsichtliche Zulassung
b	Breite der Platte
BSPH	Brettsperholz
dB	Dezibel
DLT	Durchlaufträger
EC	Eurocode
E-Modul	Elastizitätsmodul
GKL	Gebäudeklasse
GzG	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
GzT	Grenzzustand der Tragfähigkeit
h	Bauhöhe der Platte
Hz	Hertz
KLED	Klasse der Lasteinwirkungsdauer
l	Stützweite der Platte
MBO	Musterbauordnung
NA	Nationaler Anhang
NKL	Nutzungsklasse
OSB	Oriented Strand Board

### 1.3 Vordimensionierungswerkzeuge und Stand der Forschung

Vordimensionierungswerkzeuge werden – zum Beispiel von Architekt\*innen – in der Entwurfsphase eingesetzt, um eine Vorstellung von den notwendigen Abmessungen tragender Bauteile zu erhalten. Üblicherweise liefern Vordimensionierungswerkzeuge als Ergebnis die erforderliche Geometrie des Bauteils – im Falle einer Platte die erforderliche Höhe. Es ist jedoch auch möglich, das Gewicht oder die Kosten des Bauteils anhand der Eingangsparameter zu bestimmen.

Die Vordimensionierung geschieht bspw. mithilfe von Vordimensionierungsformeln. In einer Vordimensionierungsformel wird die Stützweite „ $l_i$ “ eines beliebigen statischen Systems auf die Stützweite eines Einfeldträgers „ $l_i$ “ zurückgeführt. Dieses Prinzip hat seinen Ursprung in der DIN 1045 „Tragwerke aus Beton“, die inzwischen durch den Eurocode 2 ersetzt wurde [21]. Das Prinzip ist ohne großen Rechenaufwand anwendbar, daher bietet es sich an, es auch auf andere Werkstoffe als Beton anzuwenden.

Da es sich bei Vordimensionierungsformeln zumeist um simple Gleichungen handelt, müssen bei deren Ermittlung zahlreiche Vereinfachungen vorgenommen werden. So werden zum Beispiel Holzwerkstoffplatten als einachsige Last abtragende Plattenstreifen modelliert. Es ist abzuwägen, inwiefern eine Vereinfachung und Verallgemeinerung der Bemessungssituationen sinnvoll ist und ob eine Differenzierung durch mehrere Vordimensionierungsformeln für einen einzelnen Werkstoff stattfinden sollte.

Vordimensionierungsformeln für plattenförmige Bauteile stellen üblicherweise einen Zusammenhang zwischen der Ersatzstützweite  $l_i$  und der Bauhöhe „ $h_{erf}$ “ (bzw. Bauteildicke „ $d_{erf}$ “, etc.) her und haben im Allgemeinen folgende Form:

$$h_{erf} = \frac{l_i}{k}$$

„ $k$ “ stellt dabei eine zum jeweiligen Werkstoff, Bauteil und zur Bemessungssituation passende Konstante dar. Das Ergebnis der Formel, im obigen Beispiel die Bauhöhe  $h_{erf}$ , beschreibt bei einer Platte die minimale, statisch erforderliche Bauhöhe. Eine größere Bauhöhe ist möglich, sofern sie sich im Rahmen der üblichen Anwendung des jeweiligen Holzwerkstoffs befindet.

Bei dem Ergebnis einer Vordimensionierung handelt es sich nicht um eine exakte Angabe. Vordimensionierungsformeln können einen statischen Nachweis nicht ersetzen. Für Architekt\*innen ist es in der Entwurfsphase trotzdem hilfreich, möglichst genau abgeschätzte Werte zu den Dimensionen der tragenden Bauteile zu erhalten. Am in dieser Arbeit betrachteten Beispiel des Deckentragwerks lässt sich erkennen, welche schwerwiegende Rolle eine ungenaue Vordimensionierung spielen kann: Bei einem mehrgeschossigen Wohngebäude für mehrere Parteien werden Wohneinheiten oftmals schon während oder im Anschluss an die Entwurfsphase verkauft. Basis eines Verkaufs sind unter anderem geometrische Angaben wie die Grundfläche



einer Wohnung und die lichte Raumhöhe. Die lichte Raumhöhe muss also bereits in der Entwurfsphase möglichst exakt bestimmt werden. Geht man bei der Vordimensionierung nicht sorgfältig vor, wird unter Umständen bei der späteren genauen statischen Berechnung durch Bauingenieur\*innen ein höherer (oder niedrigerer) Deckenaufbau festgelegt. Damit wären die im Kaufvertrag angegebenen Raumhöhen nicht mehr gültig.

Neben Formeln der oben genannten Art, können für den Entwurf eines Tragwerks auch Tabellen, Graphen oder Diagramme verwendet werden, um Bauteile vor zu dimensionieren. In einer Vordimensionierungstabelle, wie sie zum Beispiel vom OSB-Hersteller Egger angeboten wird (siehe Abbildung 3), können die Maße von Bauteilen anhand bestimmter Eingangswerte abgelesen werden. Abbildung 4 zeigt ein Diagramm, mit dessen Hilfe BSPH-Platten vordimensioniert werden können.

Kategorie	Nutzungsbeispiele	$q_k$	$Q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$g_k$	Auflagerabstand [mm]				
					415	500	625	833	1000
A1	Spitzböden nicht für Wohnzwecke	1,00	1,00	0,50	15	15	15	18	22
				1,25	15	15	15	18	22
A3	Wohnraum ohne ausreichende Querverteilung	2,00	1,00	0,50	15	15	15	18	22
				1,25	15	15	18	22	2x22
A3+TW	Wohnraum mit Trennwand ohne Querverteilung	2,80	1,00	0,50	15	15	15	18	22
				1,25	15	15	18	22	2x22

Abbildung 3: Ausschnitt aus einer Vordimensionierungstabelle für OSB-Platten, Egger Holzbau [6]

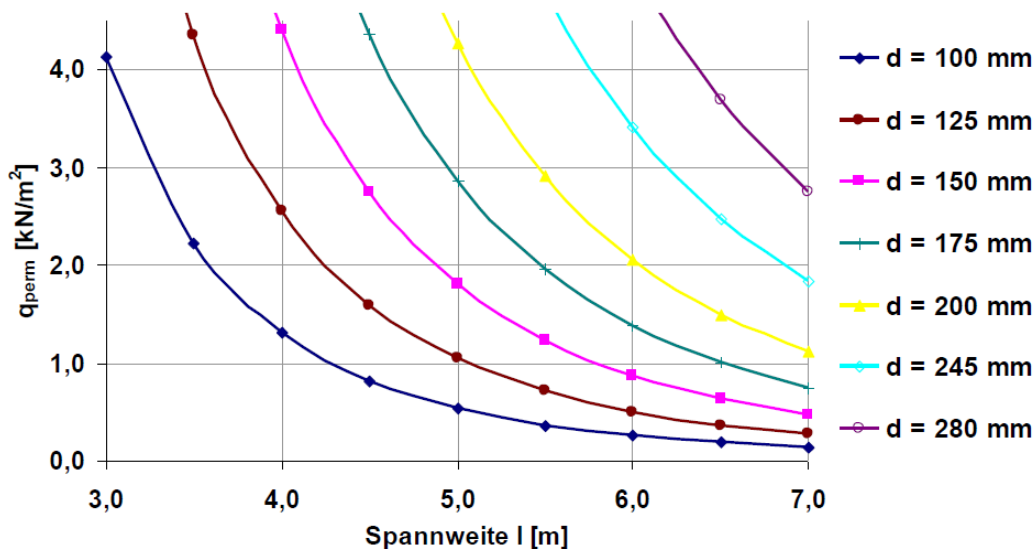


Abbildung 4: Vordimensionierungsdiagramm für BSPH [14]

Diagramme und Tabellen ermöglichen die Darstellung komplexerer Zusammenhänge. Ist bei einer Vordimensionierungsformel üblicherweise nur ein einzelner Eingangsparameter vorhanden (z. B. die Stützweite l), werden in Tabellen und Diagrammen zusätzliche Parameter abgefragt. Im Beispiel aus Abbildung 4 kommt zur Stützweite zusätzlich die quasi-ständige Einwirkung  $q_{perm}$  hinzu. In der Tabelle für OSB-Platten aus Abbildung 3 lässt sich die Stützweite mit der Kategorie der Nutzlast sowie der Größe der ständigen Einwirkung  $g_k$  kombinieren, um dazu

passend die Dicke der Platte zu erhalten. Je zahlreicher und ausdifferenzierter die Eingangsparameter einer Vordimensionierung sind, desto genauer ist deren Ergebnis.

In der vorliegenden Arbeit werden Vordimensionierungswerkzeuge für die beiden Holzwerkstoffe Brettsper Holz und OSB entwickelt. Bei beiden Holzwerkstoffen handelt es sich um verhältnismäßig junge Baustoffe, die erst in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung gewonnen haben und großflächig etabliert wurden (siehe Abschnitte 5.3 und 5.4). Es lassen sich daher seltener existierende Mittel zur Vordimensionierung für sie finden, als beispielsweise für Balken aus Stahlbeton.

Es ist abzuwägen, welche Art des Vordimensionierungswerkzeugs für den betreffenden Werkstoff und die Bemessungssituation am sinnvollsten ist. Eine Formel bietet einen mehr oder weniger universalen Ansatz, zu Ungunsten der Genauigkeit des Ergebnisses. Ein Diagramm liefert hingegen genauere Ergebnisse, lässt sich allerdings nur auf einen oder wenige spezifische Fälle anwenden. In einer Tabelle lassen sich zahlreiche Ergebnisse darstellen, zu Lasten der Übersichtlichkeit. Mischformen aus den einzelnen Arten sind ebenfalls vorstellbar.

Neben herstellerepezifischen Angaben zur Vordimensionierung eines Produktes, gibt es Nachschlagewerke, die Vordimensionierungsformeln enthalten. Bei STAFFA [21] werden folgende Werte genannt: Für Dachdeckungen aus BSPH gilt  $h_{\text{erf}} = l_i / 30$ , für Geschossdecken aus BSPH gilt  $h_{\text{erf}} = l_i / 25$  oder  $h_{\text{erf}} = l_i / 30$ . Wie oben beschrieben handelt es sich dabei um Formeln für Einfeldträger. Bei Durchlaufträgern darf laut STAFFA  $l_i$  im Endfeld pauschal um den Faktor 0,8, im Mittelfeld um den Faktor 0,7 abgemindert werden.

Für OSB-Platten werden bei STAFFA keine Angaben gemacht. Als weiterer plattenförmiger Holzwerkstoff wird dort Holzschalung genannt: Für Dachdeckungen aus Holzschalung wird  $h_{\text{erf}} = l_i / 45$  angegeben, wobei  $l_i$  üblicherweise zwischen 80 und 100 cm liegt.

In den „Bautabellen für Ingenieure“ [18] werden im Kapitel für Vorbemessung keine Aussagen zu den beiden Holzwerkstoffen gemacht. „Faustformel Tragwerksentwurf“ [2] enthält ebenso wenig Angaben zu flächigen Holztragwerken. Allgemein kann gesagt werden, dass für beide Holzwerkstoffe nur wenige Mittel zur Vordimensionierung zur Verfügung stehen. Dies liegt zum Teil daran, dass es sich um verhältnismäßig junge Baustoffe handelt. Bei OSB mag ein Mangel an Vordimensionierungswerkzeugen zusätzlich darin begründet sein, dass sich mit dem Werkstoff nur ein kleiner Stützweitenbereich abdecken lässt.

## 2 Erläuterung des Verfahrens zum Anlegen der Nachweisserien

Ziel dieser Arbeit ist es, Vordimensionierungswerkzeuge für die beiden Holzwerkstoffe Brettsperrholz (BSPH) und OSB in der Anwendung als (flache) Dachdeckung im Hallenbau und als Geschossdecken zu entwickeln. Vorgegangen wird dabei, indem exemplarische, gängige Systeme auf den jeweiligen Zusammenhang zwischen bestimmten Parametern und Höhe der tragenden Holzschicht untersucht werden. Ein einzelnes System besteht dabei aus einer Bemessungssituation mit festgelegten Parametern.

Für jedes System wird eine stützweitenabhängige Nachweisserie durchgeführt. Anstatt innerhalb eines Systems nur eine einzelne Stützweite zu betrachten, wird für jedes System eine Serie von Nachweisen mit ansteigenden Stützweiten durchgeführt. Anhand einer solchen Serie lässt sich feststellen, welcher Zusammenhang zwischen Stützweite und Bauteilhöhe besteht – bspw. ein linearer, quadratischer, etc. Weiterhin führt das Anlegen einer Serie von Nachweisen für jedes System zu einer größeren Zuverlässigkeit der Ergebnisse.

Abbildung 5 zeigt einen Ausschnitt aus einer stützweitenabhängigen Nachweisserie eines Systems mit einer BSPH-Platte. Unter „Querschnitt“ können die Höhen der Lagen  $h_1$  bis  $h_5$  verändert werden. Die Ergebnisse der Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit errechnen sich automatisch mithilfe im Hintergrund laufender Formeln.

l	Querschnitt				GzT		GzG		
	$h_1/h_5$	$h_2/h_4$	$h_3$	$h_{ges}$	$\sigma_{m,d}/f_{m,d}$	$\tau_{v,r,d}/f_{v,r,d}$	$w/w_{grenz}$	$f_1$	$w_{1kN}$
[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]	[Hz]	[mm]
<b>3,00</b>	25	15	20	<b>100</b>	0,39	0,24	0,85	8,55	0,42
<b>3,50</b>	30	20	20	<b>120</b>	0,38	0,23	0,82	8,04	0,39
<b>4,00</b>	35	25	30	<b>150</b>	0,33	0,22	0,68	8,22	0,31
<b>4,50</b>	40	30	40	<b>180</b>	0,31	0,20	0,60	8,22	0,27
<b>5,00</b>	45	40	40	<b>210</b>	0,29	0,20	0,56	8,02	0,24

Abbildung 5: Ausschnitt aus einer stützweitenabhängigen Nachweisserie

In dieser Arbeit werden ausschließlich plattenförmige Bauteile betrachtet, die im Zuge der statischen Nachweise vereinfachend als Plattenstreifen angenommen werden. Bei einer Platte handelt es sich um ein flächiges, ebenes Bauteil, das senkrecht zu seiner Ebene durch Kräfte belastet wird (siehe Abbildung 6). Bei den angesetzten Kräften handelt es sich hier ausschließlich um Flächenkräfte, die in den Nachweisen der Plattenstreifen in Linienlasten umgerechnet werden. Aus den Kräften resultierend werden die Platten durch ein Biegemoment und Schub belastet. Eine Normalkraftbelastung oder Torsion der Plattenstreifen findet nicht statt. Ebenso wenig werden die Holzwerkstoffe auf ihre Beanspruchbarkeit als Scheibe hin untersucht.

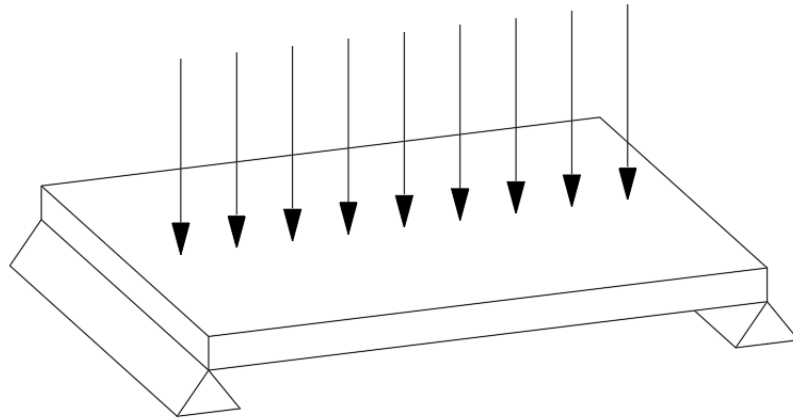


Abbildung 6: Beispielhafte Belastung einer Platte

Die Parameter, welche eine Bemessungssituation beschreiben, werden anhand realitätsnaher Beispiele ausgewählt. Für das jeweilige untersuchte System werden alle Parameter auf einen konstanten Wert festgelegt. Innerhalb eines Systems und damit innerhalb einer Nachweiserie variiert ausschließlich der Parameter der Stützweite.

Als zentraler Parameter stellt sich das Anwendungsgebiet des Holzwerkstoffs heraus: Die Verwendung im Hallenbau als Dachdeckung oder im Geschossbau als Decke zwischen Wohnungen. Bei beidem handelt es sich um horizontale Platten, mit dementsprechend ähnlichen Nachweisverfahren. Für den Einsatz im Geschossbau sind zusätzliche Gebrauchstauglichkeitsnachweise erforderlich. Abhängig vom Anwendungsgebiet ergeben sich weitere Parameter innerhalb einer Nachweiserie: Die Nutzlast, davon abhängig die Beiwerte  $k_{\text{mod}}$  und  $k_{\text{def}}$ , die Nutzungsklasse, etc.

Der Parameter des statischen Systems ist weitestgehend unabhängig vom Anwendungsgebiet. In dieser Arbeit werden Ein- und Zweifeldträger untersucht. Üblicherweise können Vordimensionierungsformeln für Einfeldträger mithilfe eines Faktors für die Anwendung als Zweifeldträger angepasst werden. Ob dies auch für die hier betrachteten Holzwerkstoffe zutrifft, ist zu untersuchen.

Um die spezifischen Werte der Parameter innerhalb eines Systems festlegen zu können, erfolgte eine Recherche zu gängigen Randbedingungen bei den jeweiligen Holzwerkstoffen. Diese Recherche geschah zu ausgeführten Objekten, zu Angaben von Herstellern über deren Baustoffe sowie zu der aktuellen Normung. Anhand dieser Rechercheergebnisse werden Mittelwerte ausgewählt, die zusammengenommen ein möglichst realitätsnahes System abbilden.

Mit den festgelegten Parametern wird für jedes System eine Nachweiserie angelegt, in der die Stützweite  $l$  stetig erhöht wird und für jeden Schritt die notwendigen statischen Nachweise per Excel-Tabellenkalkulation geführt werden.

Für die erste Stützweite, bei der die entstehenden Schnittgrößen noch sehr klein sind, wird der kleinstmögliche Aufbau (gemäß Normung, bauphysikalischen Randbedingungen und üblichen baulichen Ausführungen) des Holzwerkstoffs gewählt. In den folgenden Schritten der Nachweisserie wird der Aufbau nicht vergrößert, solange alle Nachweise erfüllt sind. Wird ein statischer Nachweis nach der Erhöhung der Stützweite nicht erfüllt, wird manuell ein größerer Plattenquerschnitt ausgewählt. Die Auswahl erfolgt manuell, da bei BSPH kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Bauteilhöhe  $h$  und statischem Widerstand besteht. Abhängig davon, in welche Richtung die jeweiligen Bretter liegen und wo außen sich die Lage im Querschnitt befindet, steigt der statische Widerstand in unterschiedlichem Maße.

Die Dicken der BSPH-Schichten werden in Schritten von 5 mm vergrößert. Die BSPH-Hersteller verwenden unterschiedliche Abstufungen bei ihren Produkten, wobei die gewählten 5 mm einen Mittelwert darstellen. Bei OSB entsprechen die gewählten Schichtdicken jenen, die in DIN EN 300 festgelegt sind. An diesen Abstufungen orientieren sich auch die Hersteller von OSB-Platten. Für OSB-Platten, deren Dicke über die in DIN EN 300 beschriebenen Werte hinausgehen, wird auf die Plattenhöhen aus bauaufsichtlichen Zulassungen der Hersteller zurückgegriffen.

Sobald ein Nachweis mit der maximalen erlaubten Bauteilhöhe nicht erfüllt werden kann, wird die Serie abgebrochen und das System ist vollständig berechnet. Aus den Ergebnissen der Serie wird ein Diagramm erstellt. Auf der Abszisse wird die Stützweite abgebildet, auf der Ordinate die Bauteilhöhe. Anhand des Diagramms und des darin dargestellten Zusammenhangs lässt sich abschätzen, ob es sich näherungsweise um einen linearen oder nichtlinearen Zusammenhang handelt. Zusätzlich wird in das Diagramm eine lineare Funktion der Form „ $l_i / k$ “ eingefügt, die den Verlauf der Funktionen der Nachweise annähernd abbildet. Um eine mögliche Vordimensionierungsformel genauer abschätzen zu können, werden mehrere vergleichbare Nachweisserien durchgeführt.

In den folgenden Abschnitten werden die notwendigen Grundlagen besprochen, um Systeme und deren Parameter festlegen und die zugehörigen Nachweisserien durchführen zu können. Zunächst werden die beiden in dieser Arbeit betrachteten Anwendungsgebiete der Holzwerkstoffplatten beschrieben und deren Anforderungen untersucht.

### 3 Flache Dacheindeckungen im Hallen- und Wohnungsbau

Das flache Dach hat sich im Laufe des 20. Jahrhunderts von einer Seltenheit zu einer überall anzutreffenden Bauform entwickelt. Die Holzbauweise hat dabei schon immer eine wichtige Rolle gespielt. Flachdächer in Holzbauweise werden insbesondere im Wohnungsbau genutzt: Zum Beispiel bei Projekten zur nachträglichen Verdichtung bei Aufstockungen oder Anbauten. Im Industrie- und Gewerbebau gewinnt die Flachdachkonstruktion in Holzbauweise jedoch ebenfalls an Bedeutung [3].

Einer der in den Nachweisserien relevanten Parameter ist der Dachaufbau auf, bzw. unter den Holzwerkstoffplatten. Um exemplarische Aufbauten auswählen und damit deren ständige Lasten bestimmen zu können, müssen die Anforderungen an die Aufbauten bekannt sein. Die Anforderungen an Flach- und Hallendächer sind in Normen und Richtlinien festgelegt und werden in diesem Abschnitt besprochen.

Wie oben erwähnt kommen Flachdächer sowohl im Geschoss- als auch im Hallenbau zum Einsatz. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird zwischen diesen beiden Anwendungsgebieten nicht explizit unterschieden, stattdessen wird allgemein von einem ungenutzten, gedämmten Dach ausgegangen. Dieses lässt sich sowohl im Geschossbau als oberste Decke einsetzen als auch als Dach für Hallenbauten. Bei einem ungeheizten Hallenbau entfällt die Dämmschicht, was jedoch die Ergebnisse nicht maßgeblich beeinflusst.

#### 3.1 Definition des Flachdachs über dessen Neigung

Flachdächer sind definiert als horizontale, das Gebäude nach oben abschließende Bauteile mit einer Neigung zwischen  $2^\circ$  und  $10^\circ$ . Geringere Neigungen werden als Sonderkonstruktion bezeichnet. Laut DEDERICH [3] sind Flachdächer im Holzbau mit einer Neigung von mindestens 5% (also ungefähr  $3^\circ$ ) zu empfehlen. Auf diese Weise werden Staunässe und Wassersäcke verhindert. Die Neigung der statischen Systeme wird im Laufe der Nachweise vernachlässigt, da sie nur eine sehr geringe Auswirkung auf die entstehenden Schnittgrößen hätte und ohnehin häufig nicht durch die tragende Schicht, sondern durch die darauf liegenden Dachaufbauten gewährleistet wird.

Für den zu wählenden Dachaufbau spielt die Neigung eine Rolle. Es ist ein Aufbau zu wählen, durch den eine Neigung sichergestellt werden kann (z.B. durch Gefälledämmung). Dächer mit einer größeren Neigung als  $10^\circ$  werden nicht als Flachdach bezeichnet und müssen auf andere Art und Weise konstruiert und bemessen werden.

#### 3.2 Nutzung des Dachs

Flachdächer können als genutzte oder ungenutzte Dächer ausgeführt werden. Ungenutzte Dächer sind nicht für den dauerhaften Aufenthalt von Personen oder die Nutzung durch Verkehr

ausgelegt, außer für übliche Erhaltungsmaßnahmen und Reparaturen. Extensiv begrünte Dächer zählen zu den ungenutzten Dächern. Wird ein Flachdach als genutztes Dach ausgeführt, führt dies zu höheren Nutzlasten von mindestens  $4 \text{ kN/m}^2$  [20]. Bei ungenutzten Flachdächern liegt die Nutzlast bei  $0,75 \text{ kN/m}^2$ , die nicht mit der Schneelast zu überlagern sind (gem. DIN EN 1991-1-1). Bei Flach- und Hallendächern mit einer Eindeckung aus Holz handelt es sich in der Regel um ungenutzte Dächer, daher wird in der vorliegenden Arbeit dieser Fall betrachtet.

### 3.3 Feuchteschutz

Flachdachkonstruktionen sind durch eine außen liegende, diffusionshemmende oder diffusionsdichte Schicht gekennzeichnet. Die Wahl der Abdichtung hängt meist von individuellen Präferenzen der Planer\*innen und Ausführenden ab [3]. Gemäß MARONG [12] haben Dampfbremsen die Funktion, das Auftreten von Wasserdampf so weit zu begrenzen, dass kein schädliches Tauwasser auftritt. Dampfsperren hingegen verhindern das Eindiffundieren von Wasserdampf möglichst weitgehend. Laut „Flachdach Atlas“ [20] ist bei Holzkonstruktionen eine Dampfbremse einzusetzen, die eine gewisse Austrocknung zum Raum hin zulässt. Es ist dementsprechend davon auszugehen, dass bei dem in Abschnitt 6.3.1 beschriebenen beispielhaften Hallendachaufbau mindestens eine Dampfbremse vorzusehen ist.

### 3.4 Hinterlüftete Dächer

Hinterlüftete Dächer weisen zwei- oder mehrschalige Konstruktionen mit innerer, raumabschließender Schale, Außenschale mit Abdichtung und dazwischen liegendem Belüftungshohlraum mit Dämmebene auf. Nicht hinterlüftete Dächer bestehen aus einer einschaligen Konstruktion, bei der der Dachaufbau unmittelbar auf der Unterkonstruktion aufliegt. Allgemein wird unterschieden zwischen Konstruktionen, bei denen die Dämmung in Ebene der Tragkonstruktion liegt und solchen mit einer Dämmung oberhalb der Tragkonstruktion. Letztere werden hier vor allem betrachtet. Die tragende Holzkonstruktion befindet sich dabei vollständig im trockeneren Raumklima. Für den später zu wählenden Dachaufbau wird pauschal von einem nicht belüfteten Dach ausgegangen. Diese Variante ist bei den hier betrachteten plattenförmigen Holzwerkstoffen die übliche.

### 3.5 Wärmeschutz

Ein angemessener Wärmeschutz ist eine Grundvoraussetzung für ein hygienisches Raumklima. Wärmeschutz gewährleistet Schutz vor Feuchtigkeit und einen reduzierten Energieverbrauch. Um den notwendigen Wärmeschutz erzielen zu können, spielt eine energieeffiziente Gebäudeplanung eine entscheidende Rolle. Hierbei gilt es nicht nur, erneuerbare Energien mit einzubeziehen, sondern auch den Energieverbrauch durch Heizen und Kühlen so weit als möglich zu minimieren. In diesem Sinne sind Dämmmaßnahmen notwendig – vor allem bei Flachdächern und gedämmten Hallendächern gegen die Temperaturunterschiede zur Umwelt [20].

Ein Dach ist Temperaturschwankungen zwischen  $-20^{\circ}$  und  $+80^{\circ}$  Celsius ausgesetzt. Die Dachoberfläche muss also Schwankungen von 100 Kelvin standhalten können. Bestimmte Eindeckungen können die Temperaturschwankungen reduzieren [ebd.]. Kies oder Begrünung über einer Dichtungsbahn reduzieren Temperaturschwankungen ebenfalls. Eine oberhalb der Tragstruktur angebrachte Dämmung sorgt dafür, dass die tragende Schicht geringeren Schwankungen ausgesetzt ist.

Welche Art der Dämmung gewählt wird, hängt von den Präferenzen der Planer\*innen ab. Nichtbrennbare Mineralfaserdämmung erfährt keine Volumenänderung infolge Temperaturschwankungen, neigt allerdings bei mechanischer Belastung zu Komprimierungen und kann daher nur bei nicht genutzten Dächern eingesetzt werden. Für ungenutzte, nicht hinterlüftete Dächer ist nach MAKONG eine mindestens druckbelastbare Dämmung vorzusehen. Da in der vorliegenden Arbeit ausschließlich nicht genutzte Flachdächer betrachtet werden, wird für den beispielhaften Dachaufbau eine Mineralfaserdämmung gewählt.

Gemäß Energieeinsparverordnung 2014 (EnEV 2014, inkl. seit 2016 geltenden, strengeren Richtwerten [7]) ist für den gesamten Dachaufbau eines Neubaus mit Wohnnutzung ein Wärmedurchgangskoeffizient  $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  zu erzielen. Dieser U-Wert entspricht dem Passivhausstandard. Um den vorgegebenen U-Wert allein mithilfe der Dämmung erzielen zu können, wären 300 mm Dämmung zu verbauen – bei einem  $\lambda$ -Wert der Dämmung von  $0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  (entspricht Mineralwolle nach DIN EN 13163, Kategorie II). Wird eine tragende Holzschicht von mindestens 100 mm Höhe mit einem  $\lambda$ -Wert von  $0,10 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  in die Berechnung des U-Werts miteinbezogen, ergibt sich nach Gleichung (1) ein Richtwert für die Dicke der Dämmung von 210 mm.

$$U_{Dach} = \frac{1}{\frac{0,21}{0,035} + \frac{0,10}{0,14}} = 0,15 \frac{W}{m^2 * K} \quad (1)$$

Sommerlicher Wärmeschutz spielt bei einem Flachdach eine untergeordnete Rolle und ist in der Regel durch den winterlichen Wärmeschutz gewährleistet [20].



Handelt es sich bei dem betrachteten Gebäude um einen Hallenbau, ist der geforderte Wärmedurchgangskoeffizient unter Umständen geringer. Bei einem unbeheizten oder offenen Hallenbau entfällt die Dämmung in der Regel vollständig. Auf der sicheren Seite liegend wird für die Ermittlung der Last des Dachaufbaus von einem Dachaufbau mit Dämmschicht ausgegangen.

### 3.6 Schallschutz

Ziel der akustischen Gestaltung und des Schallschutzes ist es, geeignete Bedingungen für die Benutzer\*innen des Gebäudes zu schaffen. Als geeignete Bedingungen werden im „Handbuch Bauphysik“ [1] solche beschrieben, die für die Benutzer\*innen und Bewohner\*innen eines Gebäudes eine gute Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit ermöglichen. Dabei ist nicht nur für ein Vermeiden von Lärmbelästigung und Lärmbelastung zu sorgen, sondern auch für eine angenehme akustische Atmosphäre.

Um einen für Flachdächer angemessenen Schallschutz zu erzielen, sind verschiedenen Kriterien zu beachten: Die Luftdichtheit und die Flächenmasse des Dachs, ob ein mehrschaliger Aufbau vorliegt sowie die Art der Dämmung. Weiche Dämmung sorgt für einen besseren Schallschutz als hart federnde. Die Schallschutzkriterien für Flachdächer sind im Allgemeinen durch die gängigen Flachdachaufbauten gewährleistet. Trittschalldämmung, die im Geschossbau mit Holzwerkstoffen kritisch ist, spielt bei Flachdächern eine untergeordnete Rolle. Ebenso vernachlässigbar ist die Luftschalldämmung bei den in dieser Arbeit besprochenen Anwendungsfällen. Es wird weiterhin davon ausgegangen, dass die innenliegenden Räume keine maßgeblichen Lärmquellen beinhalten, sodass nach außen dringender Lärm unberücksichtigt bleibt.

### 3.7 Brandschutz

Dächer von Wohnbauten müssen gemäß Musterbauordnung (MBO) aus Brandschutzgründen mit „harter Bedachung“ ausgeführt werden [13]. Die Anforderungen an eine harte Bedachung gelten als erfüllt, sofern diese „ausreichend lang widerstandsfähig gegen Brandbeanspruchung von außen durch Flugfeuer und strahlende Wärme“ ist. Die in Abschnitt 3.3 beschriebene Bitumenabdichtungsbahn (klassifiziert nach DIN 4102-4) erfüllt die Kriterien der harten Bedachung, sofern sie mindestens zweilagig verlegt wird. Darüber hinaus gibt die MBO im Wohnungsbau keine zusätzlichen Auflagen für Dachflächen vor.

Im Industriebau gelten unter Umständen schärfere Auflagen. Dort ist die spezifische Nutzung des zu betrachtenden Gebäudes relevant und darüber hinaus dessen Geschossigkeit. Tragende und aussteifende Bauteile aus Holz sind im Industriebau nur zulässig, sofern sie mindestens Feuerwiderstandsklasse F 30 entsprechen [20].

Eine allgemeine Aussage über die brandschutztechnischen Anforderungen an ein Hallendach lässt sich nur schwer tätigen. Im Rahmen dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass eine harte Bedachung ausreichend ist.

### 3.8 Sonstige Anforderungen

Flache Dächer werden oftmals mit einer Kiesschicht ausgeführt. Diese gilt nach DIN 4102 bei einer Mindesthöhe von 50 mm als harte Bedachung und erfüllt damit die Brandschutzanforderungen. Weiterhin übernimmt eine Kiesschicht die Absicherung des Dachs und der Beschichtung gegen Windsog. Ohne Auflast müssen die Abdichtungsbahnen und auch die Holzwerkstoffplatten besonders befestigt werden. Damit die Kiesschicht diese Aufgabe übernehmen kann, müssen zusätzliche Nachweise erfolgen. Bei einer Schicht von 50 mm Höhe ist davon auszugehen, dass die gängigen, aus Windsogeinwirkungen resultierenden Anforderungen erfüllt sind.

Sofern die Dachabdichtungen direkt auf dem Holzwerkstoff befestigt werden, muss dieser Holzwerkstoff in Nutzungsklasse 2 anwendbar sein. Für BSPH ist dies immer gegeben, bei OSB-Platten kommen demnach nur OSB/3 und OSB/4 in Frage. OSB/2 ist nur für Nutzungsklasse 1 zugelassen.

Für OSB-Platten gelten bei Flachdächern Mindestmaße für die Plattenstärke. Laut [20] ist eine Mindesthöhe von 22 mm erforderlich. DIN 18334 sieht lediglich eine Höhe von 18 mm vor, um OSB-Platten für Flachdächer einsetzen zu dürfen. Für die Nachweiserien wird von einer Mindesthöhe von 18 mm ausgegangen. Weiterhin sind die Längen von OSB-Platten gemäß ATV DIN 18 339 (Klempnerfachregeln) bei der Anwendung im Flachdach auf 2,5 m begrenzt.

## 4 Geschossdecken im Wohnungsbau

Geschossdecken werden hergestellt, seitdem es mehrstöckige Wohnbauten gibt. Sie sind definiert als horizontale, einen Raum nach oben abschließende Bauteile, die gleichzeitig die begehbaren Flächen höherliegender Geschosse bilden. Geschossdecken werden bereits seit Langem aus Holz hergestellt, zum Beispiel als Holzbalkendecke. Hierbei kann OSB als zwischen den Balken spannende, tragende Schicht zum Einsatz kommen. Massive Holzdecken, wie sie mithilfe von BSPH hergestellt werden können, sind bisher eine Seltenheit.

Analog zum vorherigen Abschnitt, werden in diesem die Anforderungen an Geschossdecken besprochen, die in Normen und Richtlinien zu finden sind. Auf Basis dieser Anforderungen lässt sich später ein exemplarischer Deckenaufbau festlegen, dessen ständige Last als Parameter in die Nachweisserien einfließt.

### 4.1 Schallschutz

Im Vergleich zu Dacheindeckungen werden an Geschossdecken strengere schallschutztechnische Anforderungen gestellt. Trittschall-, und Körperschalldämmung sind speziell zu berücksichtigen. Insbesondere zwischen Nutzungseinheiten bestehen besondere Anforderungen an den Schallschutz der Decken.

Der Grenzwert für den erforderlichen Normtrittschallpegel  $L'_{n,w}$  liegt gemäß DIN 4109 für Wohnungstrenndecken in Geschosshäusern bei 53 dB. Für bestimmte Anwendungszwecke (z. B. Decken unter Spiel- oder ähnlichen Gemeinschaftsräumen) wird ein  $L'_{n,w}$  von 46 dB verlangt. Beiblatt 2 der DIN 4109 enthält erhöhte Anforderungen: Hier werden für den Trittschallpegel bei allen Anwendungen in Geschosshäusern 46 dB als Grenzwert vorgeschlagen. Für Einfamilien-Doppel- und Reihenhäuser liegt der Grenzwert gemäß Beiblatt 2 bei 38 dB. Für den beispielhaften Deckenaufbau in dieser Arbeit wird ein Normtrittschallpegel  $L'_{n,w} = 46$  dB angestrebt.

Für Geschosshäuser gilt es, zusätzlich zur Begrenzung des Trittschallpegels, den Nachweis für das Luftschalldämm-Maß  $R'_w$  zu erfüllen. DIN 4109 schreibt für Wohnungstrenndecken einen Grenzwert  $R'_w = 54$  dB vor. In Beiblatt 2 wird für alle Anwendungen ein Wert von 55 dB vorgeschlagen. Für Einfamilien-, Doppel- und Reihenhäuser sieht die DIN 4109 keine Grenzwerte vor. Für den beispielhaften Deckenaufbau wird ein Luftschalldämm-Maß  $R'_w = 55$  dB angestrebt.

Zum Erreichen des geforderten Trittschallschutzes gemäß DIN 4109 wird die direkte Körperschallübertragung über massive Bauteile durch konstruktive Maßnahmen minimiert: Der Schalleintrag an der Deckenoberseite wird von der abstrahlenden Fläche der Unterseite entkoppelt. Ein guter Trittschallschutz kann erreicht werden, indem oberseitiger Estrich mit Trittschalldämmmatten oder Gewichtsschüttungen kombiniert wird. Um einen Trittschallpegel von 46

dB sowie ein Luftschalldämm-Maß von 55 dB erreichen zu können, ist ein schwimmender Estrich bei Decken in Vollholzbauweise oft nicht ausreichend, da die Deckenmasse im niederfrequenten Bereich zu gering ist. Die schweren Deckentafeln allein sind speziell für die höheren Anforderungen des Beiblatts 2 nicht ausreichend. Unterdecken haben schalltechnisch positive Eigenschaften, erfordern aber einen größeren konstruktiven Aufwand und sind mitunter von Seiten der Bauherr\*innen nicht gewünscht. Statt eine Unterdecke zu verwenden, können Rohdecken mit Schüttungen und kleinformatigen Platten beschwert werden. Diese Beschwerung erfordert durch das größere Eigengewicht der Decke eine Verstärkung der Holzkonstruktion, was gemeinsam mit den Kosten für die Einbringung der Erschwerungsmaßnahmen eine nicht unmaßgebliche Verteuerung mit sich bringt [16].

Der Deckenaufbau ist hauptsächlich hinsichtlich des Schallschutzes (und der Vermeidung von Schwingungen) zu wählen, daher ist für den exemplarischen Aufbau für Systeme im Geschossbau immer sowohl eine Schüttung als auch ein schwimmender Estrich vorzusehen.

## 4.2 Brandschutz

Welche Brandschutzanforderungen eine Geschossdecke gemäß Musterbauordnung erfüllen muss, hängt von der Klasse des betreffenden Gebäudes ab. Im Rahmen dieser Arbeit ist davon auszugehen, dass die betrachteten Gebäude mindestens eine Höhe von 7 m haben und damit in Gebäudeklasse 4 (GKL 4) einzuordnen sind. Da inzwischen jedoch auch immer häufiger mehrgeschossige Wohngebäude in (Massiv-)Holzbauweise errichtet werden, sollte für die Brandschutzanforderungen auch von Gebäuden mit mehr als 13 m Höhe ausgegangen werden. Dies führt zu einer Einstufung des Gebäudes in GKL 5, welche nach Musterbauordnung diejenige mit den strengsten Vorschriften ist. Mit einer solchen Einstufung liegen die brandschutztechnischen Betrachtungen auf der sicheren Seite.

Für Decken in Gebäuden der GKL 5 gilt gemäß MBO im Allgemeinen die Anforderung, dass sie „feuerbeständig“ auszuführen sind. Dies gilt für alle Decken des Gebäudes, bis auf diejenige im Dachgeschoss. Eine feuerbeständige Ausführung hat zur Folge, dass die Geschossdecken in Feuerwiderstandsklasse R 90 eingeordnet werden – d.h. sie müssen einem Feuer für 90 Minuten Widerstand leisten können und dürfen in dieser Zeitspanne ihre Tragfähigkeit (im Rahmen einer außergewöhnlichen Bemessungssituation) nicht verlieren.

Bei den exemplarisch gewählten Geschossdecken ist darauf zu achten, dass die auf den Holzwerkstoffen aufliegenden Aufbauten die Feuerwiderstandsklasse R 90 erfüllen können. Nach SCHULZE [19] muss der Fußbodenaufbau im Geschossbau die Anforderungen an die Brandschutzbekleidung erfüllen. Um den Brandschutzanforderungen auch bei Beflammung von unten Genüge zu tun, müssen zusätzlich Gipsplatten oder ähnliches angehängt werden, die die Geschossdecke für den Brandfall ertüchtigen. Alternativ ist der Holzquerschnitt für den Brandfall nachzuweisen.

### 4.3 Vermeiden von Schwingungen

Decken unter bewohnten Räumen sind durch Gehbewegungen der Benutzer\*innen Schwingungen ausgesetzt. Diese beeinträchtigen die Gebrauchstauglichkeit und führen, wenn sie zu stark werden, zu Unbehagen bei den Bewohner\*innen. Da bei dem entstehenden Unbehagen auch die persönliche Beziehung zu den Erreger\*innen der Schwingung eine Rolle spielt [18], wird bei den Grenzwerten der Schwingungsnachweise zwischen Decken innerhalb einer Nutzungseinheit und zwischen fremden Nutzungseinheiten unterschieden.

Das Schwingungsverhalten einer Decke ist abhängig von deren Biegesteifigkeit und der des Estrichs, von der Bauweise der Decke, deren Gewicht, ihrer Lagerung und dem statischen System, etc. Die wichtigsten Kenngrößen in Bezug auf die Schwingungen einer Decke sind deren erste Eigenfrequenz, ihre Steifigkeit und ihr Dämpfungsverhalten. Im Eurocode 5 sind in dieser Hinsicht drei Nachweise vorgesehen: Die erste Eigenfrequenz, die Steifigkeit und die Schwinggeschwindigkeit der Decke müssen innerhalb bestimmter Grenzwerte liegen. Laut „Bautabellen für Ingenieure“ [18] sind die Tragwerksplaner\*innen „[...] mit den angegebenen Bemessungsgleichungen allerdings ziemlich auf sich alleine gestellt, weil keine weiteren Hinweise zur Berechnung gegeben werden.“ Die von der Literatur vorgeschlagenen Bemessungen basieren in der Regel auf Forschungsvorhaben und wurden aus Messungen und theoretischen Betrachtungen abgeleitet.

Neben den zu führenden Nachweisen bestehen die Bemessungsvorschläge aus konstruktiven Maßnahmen. Für Massivholzdecken sei demnach für Decken zwischen verschiedenen Nutzungsbereichen entweder ein schwimmender Nassestrich oder ein schwerer Trockenestrich vorzusehen, jeweils mit einer schweren Schüttung. Nur für Decken, bei denen diese Randbedingungen erfüllt sind, dürfen die vorgeschlagenen Nachweise geführt werden.

Beim Führen der Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise stellt sich heraus, dass das Hauptkriterium bei der Bemessung von Geschossdecken in Holzwerkstoffbauweise die Reduzierung der entstehenden Schwingungen ist. Es ist hierbei eine Eigenfrequenz von 8 Hz anzustreben, da Schwingungen bei einer Eigenfrequenz von weniger als 7 Hz bereits als unangenehm empfunden werden und Eigenfrequenzen unter 4 Hz unbedingt zu vermeiden sind [16].

Die oft bemessungskritische Eigenfrequenz kann erhöht werden, indem man sich den Einfluss der Quertragfähigkeit  $k_{\text{quer}}$  zunutze macht. Gerade bei kleinen Stützweiten ist eine deutliche Erhöhung der Eigenfrequenz möglich, indem ein höherer Estrich gewählt wird. Bei größeren Stützweiten nimmt der Einfluss der Querverteilung ab. Im Bereich der Nachweisrelevanz ist eine Verbesserung der Eigenfrequenz von ungefähr 5% pro Zentimeter zusätzlichen Estrichs möglich. Es ist dabei zu beachten, dass der zusätzliche Estrich eine maßgebliche Erhöhung der ständigen Lasten zufolge hat.

## 5 Holzwerkstoffplatten und deren Nachweisformate

Seit der Industrialisierung haben sich die Anwendungsgebiete des Werkstoffes Holz als Baustoff beträchtlich erweitert. Das Material gilt als umweltfreundlich, klimaneutral und nachhaltig und erfüllt damit die Ansprüche, die gegenwärtig vermehrt auch an Baustoffe gestellt werden [3]. Holz verfügt über einige Eigenschaften, die es von anderen Baustoffen unterscheidet und die in diesem Abschnitt besprochen werden.

Holz ist ein anisotroper Werkstoff und verhält sich damit je nach Richtung der Belastung unterschiedlich [19]. Dieser Effekt kommt bei den in dieser Arbeit betrachteten Werkstoffen zum Tragen: Sowohl für BSPH als auch für OSB gilt, dass der Werkstoff je nach Spannrichtung unterschiedliche mechanische Eigenschaften aufweist. Grund dafür ist die unterschiedliche Belastbarkeit von Holz parallel oder rechtwinklig zu dessen Fasern. Bei BSPH werden bei den gängigen Nachweisformaten ganze Schichten als nicht tragend angenommen, wenn diese in einem Winkel von  $90^\circ$  zur Spannrichtung stehen. Es ist anzustreben, dass die Haupttragrichtung der Holzwerkstoffplatten parallel zur Faser liegt.

Im Holz sorgen hygroskopische Effekte dafür, dass in axialer, radialer und tangentialer Richtung unterschiedliches Schwind- und Quellverhalten auftritt. Weiteres wesentliches Merkmal ist, dass das Festigkeits- und des Verformungsverhalten von Holz von dessen Feuchtegehalt und der Lasteinwirkungsdauer abhängt [ebd.]. Um diesen Effekten Rechnung zu tragen, enthalten die Nachweise von Holzbaustoffen Beiwerte, die die Tragfähigkeit des Baustoffs erhöhen oder abmindern. Der Beiwert  $k_{\text{mod}}$  ist von der Nutzungsklasse (und damit von der in der Umgebung vorherrschenden Feuchtigkeit) und der Art der Einwirkung (und damit von der zeitlichen Begrenzung der Einwirkung) abhängig. Für BSPH und OSB kann  $k_{\text{mod}}$  Werte zwischen 0,40 und 1,10 annehmen.

Der Verformungsbeiwert  $k_{\text{def}}$  hängt allein von der Nutzungsklasse (NKL) ab und beeinflusst die Kriechverformung, die für die Durchbiegungsnachweise errechnet wird.  $k_{\text{def}}$  kann Werte zwischen 0,60 und 2,25 annehmen, wobei höhere Werte ungünstig sind, da sie die Kriechverformung erhöhen.

Die Werte für  $k_{\text{mod}}$  und  $k_{\text{def}}$  gemäß EC 5 für die Nutzungsklassen 1 und 2 können Tabelle 1 entnommen werden. Die Klasse der Lasteinwirkungsdauer (KLED) ist von der Kategorie der Lasteinwirkungsdauer gemäß EC 1 abhängig.

Bei den in dieser Arbeit behandelten Holzprodukten BSPH und OSB handelt es sich um sogenannte Holzwerkstoffe. Deren Eigenschaften und werden im folgenden Abschnitt dargestellt.

NKL	KLED	$k_{\text{mod,BSPH}}$	$k_{\text{mod,OSB/3}}$ & $k_{\text{mod,OSB/4}}$
1	ständig	0,60	0,40
	lang	0,70	0,50
	mittel	0,80	0,70
	kurz	0,90	0,90
	k. / s. k.	1,00	1,00
	sehr kurz	1,10	1,10
2	ständig	0,60	0,30
	lang	0,70	0,40
	mittel	0,80	0,55
	kurz	0,90	0,70
	k. / s. k.	1,00	0,80
	sehr kurz	1,10	0,90
NKL		$k_{\text{def,BSPH}}$	$k_{\text{def,OSB/3}}$ & $k_{\text{def,OSB/4}}$
1		0,60	1,50
2		0,80	2,25

Tabelle 1: Modifikationsbeiwert  $k_{\text{mod}}$  und Verformungsbeiwert  $k_{\text{def}}$  gemäß EC 5

## 5.1 Holzwerkstoffe

Unter den Oberbegriff der Holzwerkstoffe fallen Sperrholz, Brettsperrholz, Furnierschichtholz, Spanplatten, Faserplatten und OSB. Im EC 5 sind weitere Holzwerkstoffarten aufgeführt. Holz-Polymer-Werkstoffe und Verbundwerkstoffe werden ebenfalls zu den Holzwerkstoffen gezählt.

Ausgangsmaterialien für die Herstellung von Holzwerkstoffen sind aus Holz gewonnene Bretter, Furniere, Späne und Fasern. Diese werden in der Regel mittels eines organischen Klebstoffs zu einem Verbundwerkstoff verleimt. Unter Druck und hohen Temperaturen entstehen zumeist plattenförmige Werkstoffe. Holzwerkstoffe ermöglichen großflächige Anwendungen und sind oftmals dimensionsstabiler als natürliches Holz. Sie erweitern den Einsatzbereich von Holzprodukten: Holzwerkstoffe lassen sich als Scheiben- und Plattentragwerke einsetzen, ebenso wie zu Aussteifungszwecken [11]. Der EC 5, DIN 1052 sowie DIN EN 14081-1 befassen sich mit Holzwerkstoffen im Allgemeinen.

Als erster Schritt in der Herstellung von BSPH und OSB wird das Rohmaterial zu Halbzeugen verarbeitet. BSPH entsteht im Anschluss durch das Verleimen von Vollhölzern (in der Regel Fichtenholz der Festigkeitsklasse C 24), OSB wird aus langen, ausgerichteten Spänen hergestellt. Beide Werkstoffe bieten als Dacheindeckung und im Geschossbau bauphysikalische, wirt-

schaftliche, konstruktive und statische Vorteile. So lässt sich OSB bspw. als Dampfsperre einsetzen. BSPH bietet einen zweiachsigen Lastabtrag. Massivholzdecken aus BPSH-Elementen haben den Vorteil einer großen Elementsteifigkeit und einer hohen speicherwirksamen Masse. Sofern es sich bei den Maßen der Platten um gängige Größen handelt, können diese werkseitig gefertigt werden und müssen vor Ort nur montiert werden. Für Holzwerkstoffe gilt allgemein, dass sie in Tragrichtung nur über den Auflagern gestoßen werden dürfen.

Im Hochbau müssen Gebäude gegen den Angriff horizontaler Lasten ausgesteift werden. Hierfür werden zum Beispiel Scheiben in Dach- sowie Deckenebene verwendet. Holzwerkstoffplatten bieten sich hierfür an. Damit die Platten zur Aussteifung herangezogen werden dürfen, müssen Vorgaben berücksichtigt werden: Eine ausreichende Scheibenwirkung entsteht erst durch eine kraftschlüssige, schubsteife Verbindung der Holzwerkstoffplatten untereinander und durch den Verbund der Platten mit der tragenden Unterkonstruktion (bzw. den Wänden). Plattenstöße sind versetzt anzuordnen und ohne genaueren Nachweis gilt es, die rechnerische Ausbiegung der Aussteifungskonstruktion auf  $1/500$  zu begrenzen [20].

## 5.2 Bemessungskonzept im Holzbau

Gemäß dem europäischen Bemessungskonzept müssen Holzwerkstoffplatten für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (GzT) und den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GzG) nachgewiesen werden. Bei den Nachweisen im GzT wird sichergestellt, dass der Bemessungswert der Beanspruchung die zugehörige Tragfähigkeit nicht überschreitet. Bei den Nachweisen im GzG werden für Dach- und Deckentragwerke Verformungen und Schwingungen mit empfohlenen Grenzwerten verglichen. Die Verformungen werden mit charakteristischen Einwirkungen berechnet [18]. Die Begrenzung der Verformungen erfolgt, um das Erscheinungsbild des Tragwerks zu wahren und um Schäden und Gebrauchseinschränkungen an untergeordneten Bauteilen zu vermeiden.

Die Nachweise im GzG erfolgen mit Grenzwerten für die Durchbiegung und Schwingungen. Die genauen Kriterien der Grenzwerte können für jedes Bauwerk speziell festgelegt und mit den Bauherr\*innen abgesprochen werden. Die Normen enthalten keine festen Grenzwerte, sondern lediglich Empfehlungen. Laut [18] sind die Durchbiegungsnachweise im EC 5 und im zugehörigen Nationalen Anhang „leider nicht eindeutig und damit missverständlich“. Demnach sollten die verschiedenen Durchbiegungen gemäß den Kombinationen in Tabelle 2 berechnet werden.

Nachweis von	Berechnung von $w_{inst}$ in der	Berechnung von $w_{creep}$ in der
$w_{inst}$	charakteristischen Kombination	-
$w_{fin}$	charakteristischen Kombination	quasi-ständigen Kombination
$w_{net,fin}$	quasi-ständigen Kombination	quasi-ständigen Kombination

Tabelle 2: Einwirkungskombinationen für Durchbiegungsnachweise [18]



In den Nachweisen werden die Einwirkungen und Verformungen ihren jeweiligen Grenzwerten gegenübergestellt. Sowohl Einwirkungen als auch Tragfähigkeiten werden mit Teilsicherheitsbeiwerten, Kombinationsbeiwerten und gegebenenfalls zusätzlichen Beiwerten versehen. Die charakteristischen Werte der Einwirkungen (zum Beispiel Schnee-, Wind-, und Nutzlasten) werden dem EC 1 entnommen. Die Werte sind aus Messungen und Lastmodellen entstanden und werden in 50 Jahren nur in 5% der Fälle überschritten. Die genauen Bemessungswerte der Beanspruchung hängen von der betrachteten Bemessungssituation ab. Die Spannungen bei BSPH-Platten werden vom statischen System beeinflusst: Das effektive Trägheitsmoment ist unter anderem von der Referenzlänge des Einfeld- oder Durchlaufträgers abhängig. Der Teilsicherheitsbeiwert im GzT für ständige Einwirkungen ist  $\gamma_g = 1,35$ , derjenige für veränderliche Einwirkungen ist  $\gamma_q = 1,50$ .

Die Ermittlung der Schnittgrößen wird in dieser Arbeit nicht ausdrücklich beschrieben. Bei Ein- und Zweifeldträgern handelt es sich um statische Systeme, bei denen die auftretenden Biegemomente und Querkräfte mithilfe einfacher Formeln ermitteln werden können. Die Schnittgrößen für Zweifeldträger mit unterschiedlichen Stützweiten errechnen sich bspw. mit den Formeln auf Seite 4.17 in [18].

Auf Seiten der Tragfähigkeit hängen die Bemessungswiderstände vom Werkstoff ab. Die charakteristischen Werte der Tragfähigkeiten stammen aus Materialprüfungen oder Berechnungsmodellen und können Normen oder Zulassungen entnommen werden. Der Teilsicherheitsbeiwert für Holz und Holzwerkstoffe liegt gemäß dem nationalen Anhang zu EC 5 bei  $\gamma_m = 1,3$ . Da im Holzbau die Umgebungsfeuchtigkeit und die zeitliche Länge einer Einwirkung eine entscheidende Rolle spielen, wird die Tragfähigkeit zusätzlich mit dem Modifikationsbeiwert  $k_{\text{mod}}$  versehen.

Sofern eine Holzdecke für den Brandfall nachgewiesen werden soll, können gemäß EC 5 zwei Verfahren angewandt werden: Das Prinzip des ideellen Restquerschnitts oder das Prinzip der reduzierten Festigkeiten und Steifigkeiten. In der Anwendung als Dacheindeckung ist ein solcher Nachweis oft nicht erforderlich, da dort lediglich eine harte Bedachung nachzuweisen ist.

Bei einem Tragfähigkeitsnachweis im Brandfall wird eine außergewöhnliche Belastungskombination betrachtet. Der Bemessungswert der Beanspruchung  $E_{d,fi}$  errechnet sich gemäß DIN EN 1990 nach Gleichung (2). Es ist zu beachten, dass die Einwirkungen nicht mit Sicherheitsbeiwerten versehen sind, es wird also mit „1-fachen“ Lasten gerechnet (außergewöhnliche Bemessungssituation). Im Holzbau ist gemäß DIN EN 1995-1-2:2010-12 bei Wind als Leiteinwirkung  $\psi^* = \psi_1$  zu verwenden, ansonsten  $\psi^* = \psi_2$ .

$$E_{d,fi} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \psi^* * Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} * Q_{k,i} \quad (2)$$

### 5.3 Brettsperrholz

Der Holzwerkstoff Brettsperrholz wird seit Mitte der neunziger Jahre produziert. Seit 2015 existiert die Produktnorm DIN EN 16351, welche sich mit der Prüfung von BSPH und dessen Produkteigenschaften befasst. Die ersten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für BSPH wurden Mitte der neunziger Jahre ausgestellt. Die bauaufsichtlichen Zulassungen, ausgestellt vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) und der Europäischen Organisation für Technische Bewertung (EOTA), enthalten Mindestanforderungen an das Produkt, die verwendeten Ausgangsstoffe, seine Herstellung, Nachweisverfahren, etc. Gegenwärtig wird BSPH ausschließlich von Herstellern angeboten, die eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vorzuweisen haben. Eine Herstellung allein basierend auf der DIN EN 16351 und ohne bauaufsichtliche Zulassung ist nicht gegeben.

BSPH ist ein flächiges, massives Holzprodukt für tragende Anwendungen mit Platten- und Scheibenwirkung. Die daraus entstehenden flächigen Tragwerke ermöglichen die Umsetzung monolithisch gedachter Architekturkonzepte [22]. BSPH entsteht durch kreuzweises Verkleben einzelner Brettlagen. Die Brettlagen liegen in einem Winkel von  $90^\circ$  zueinander, was einen zweiachsigen Lastabtrag ermöglicht. Da in der Regel eine Haupttragrichtung vorgesehen ist, liegen in dieser Richtung eine größere Anzahl Lagen. Die meisten BSPH-Platten weisen einen symmetrischen Aufbau der Lagen auf, wobei die beiden äußeren Lagen im Regelfall in Haupttragrichtung liegen. Bei besonders hohen statischen Anforderungen in Haupttragrichtung können mehrere parallele Lagen in Haupttragrichtung übereinander angeordnet werden.

Ein asymmetrischer Aufbau einer BSPH-Platte ist in der Praxis selten anzutreffen. Die Berechnung eines solchen Aufbaus ist lediglich für die Bemessung im Brandfall relevant, bei der einseitig einzelne Schichten abgebrannt und damit nicht anrechenbar sind.

BSPH besteht aus mindestens drei Lagen, die flächig miteinander verklebt sind. Hergestellt wird BSPH mit bis zu elf Lagen. In dieser Arbeit werden Aufbauten mit drei und fünf Lagen betrachtet. Die kleinst- und größtmögliche Höhe der einzelnen Lagen ist in den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen geregelt. DIN EN 16351 enthält ebenfalls Grenzwerte für den geometrischen Aufbau des BSPH, die den typischen Werten aus den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen nahe kommen.

Grenzwerte der Lagenhöhen für einen Aufbau mit drei Brettlagen (in mm, siehe dazu Abbildung 7):

$$6 \leq t_{l1,3} \leq 45 \quad 6 \leq t_{l2} \leq 60$$

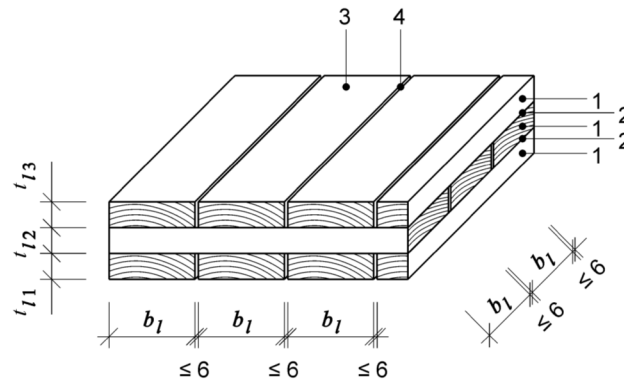


Abbildung 7: Dreilagiger BSPH-Aufbau [47]

Grenzwerte der Lagenhöhen für einen Aufbau mit drei Brettlagen (in mm, siehe dazu Abbildung 8):

$$6 \leq t_{l1} \leq 45$$

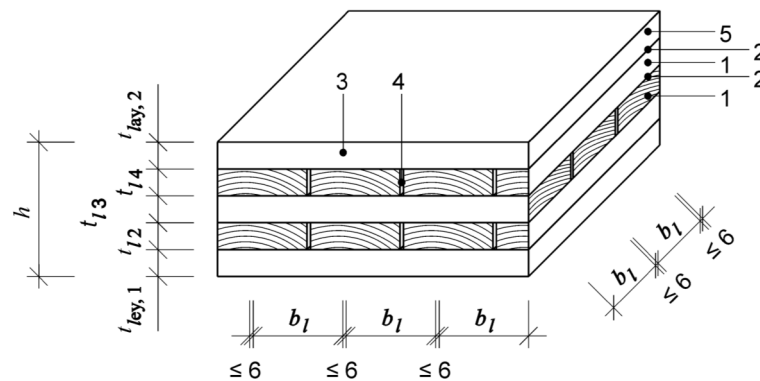


Abbildung 8: Fünflagiger BSPH-Querschnitt [47]

Die Gesamtdicke von BSPH ist auf 500 mm begrenzt. Üblich ist ein Aufbau mit einer Höhe von bis zu 300 mm. In der vorliegenden Arbeit werden BSPH-Platten mit einer Höhe von bis zu 225 mm betrachtet. Die übliche Breite einzelner Platten liegt bei 3 m, die übliche Länge bei bis zu 16 m. Werden längere Platten benötigt, sind diese schwierig zu transportieren und werden vor Ort hergestellt, wodurch ein deutlich größerer Konstruktions- und Kostenaufwand entsteht. Es existiert keine feste Begrenzung für die Länge einer BSPH-Platte. Die genauen Abmaße der Platten sind von Hersteller zu Hersteller unterschiedlich.

Die Verklebung der einzelnen Schichten geschieht üblicherweise mit Polyurethan-Klebstoffen (PUR) oder Harnstoff-Klebstoffen (MUF). Die Fugen zwischen Brettern einer einzelnen Lage dürfen maximal 6 mm breit sein, sofern keine Verklebung der nebeneinanderliegenden Bretter vorliegt.

Für einzelne Lagen des BSPH dürfen andere Holzwerkstoffplatten verwendet werden, wie zum Beispiel OSB oder Furnierschichtholzplatten, sofern diese für NKL 2 und 3 zugelassen sind.

### 5.3.1 Anwendungsgebiete des Holzwerkstoffs Brettsperrholz

BSPH ist für die Nutzungsklassen 1 und 2 zugelassen. Durch die in diesen Nutzungsklassen zu erwartende Holzfeuchte von weniger als 20% kann ein Befall holzerstörender Pilze ausgeschlossen werden. Das typische Einsatzgebiet von BSPH weist vorrangig ruhende Belastungen auf, wodurch die Schwingungsanfälligkeit der Holzplatten weniger schwerwiegend ist [22].

Werden BSPH-Platten als Geschossdecken oder als Dacheindeckung eingesetzt, werden sie vorrangig durch Querkraft und Biegung beansprucht. Der Biegerandspannungsnachweis ist im GzT der maßgebende Nachweis. Durch die Biegebeanspruchung und durch Schubverformungen entsteht in Plattenmitte eine Durchbiegung, deren Begrenzung im GzG nachgewiesen werden muss.

Bei der Anwendung als Wandscheiben werden vertikale Lasten in die Ebene der BSPH-Platte eingeleitet und es entsteht eine Normalkraftbeanspruchung in den parallelen Lagen. Für diesen Fall sind Stabilitätsnachweise zu führen. BSPH kann auch als wandartiger Träger eingesetzt werden: Zum Beispiel bei Aufstockungen im Bestand, wo Lasten der Aufstockung über große Stützweiten zu den lastabtragenden Außenwänden geführt werden müssen.

Durch spezielle Herstellverfahren lassen sich gebogene oder gekrümmte BSPH-Elemente herstellen. Diese werden im Einsatz überwiegend auf Normalkraft oder Biegung beansprucht und kommen bei Sonderbauten, speziell bei Dachtragwerken zum Einsatz.

BSPH wird überwiegend bei Ein- und Zweifamilienhäusern, im mehrgeschossigen Wohnungsbau, Schul-, Gewerbe- und Sakralbau und teilweise im Industrie- und Messebau (z. B. bei der Neuen Messe Hamburg) eingesetzt.

Als Dachdeckung bietet BSPH ökologische und bauphysikalische Vorteile gegenüber anderen Baustoffen. Die witterungsunabhängige Produktion der Platten im Werk ermöglicht einen rationalen Materialeinsatz. Die Bauteile tragen keine Feuchte ins Bauwerk ein, da sie werkseitig getrocknet und vor Ort nicht gelagert werden müssen. BSPH ist auf der Baustelle sofort verlegbar und kann anschließend direkt belastet werden. Die kreuzweise verleimten Lagen sorgen für ein verringertes Quellen und Schwinden gegenüber anderen Holzwerkstoffen. Die Wärmeleitfähigkeit der Platten ist im Vergleich zu anderen Massivbauweisen geringer: Beton hat bspw. eine Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  zwischen 1,15 W/(m\*K), im Vergleich zu 0,14 W/(m\*K) bei Nutzholz, das für BSPH verwendet wird. Gegenüber Holzbalkendecken und Flachdächern in Holzbalkenbauweise weisen BSPH-Platten eine reduzierte Höhe der tragenden Schicht auf [15].

### 5.3.2 Typische Baustoffkennwerte für BSPH

Die in dieser Arbeit verwendeten Baustoffkennwerte für BSPH wurden, sofern möglich, Normen entnommen (DIN EN 338, DIN EN 14081-1 und DIN EN 16351) oder angelehnt an allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen gewählt. Zusätzlich wurden die in [22] vorgeschlagenen Baustoffkennwerte miteinbezogen. Die Baustoffkennwerte gelten für BSPH, das aus Nadelholz der Festigkeitsklasse C 24 hergestellt wurde. Der „charakteristische Wertebereich“ in Tabelle 3 beschreibt die Spanne, die in den bauaufsichtlichen Zulassungen zum jeweiligen Kennwert anzutreffen ist. Für die zu führenden Nachweise wurde aus dem Wertebereich ein häufig anzutreffender Mittelwert ausgewählt.

Baustoffkennwert		Gewählter Wert		char. Wertebereich (allg. bauaufs. Zul.)	
Wichte	$\gamma$	5,50	$\text{kN/m}^3$	4,20 - 6,00	$\text{kN/m}^3$
E-Modul (längs zur Faser)	$E_{0,\text{mean}}$	11000	$\text{N/mm}^2$	11000 - 12000	$\text{N/mm}^2$
E-Modul (quer zur Faser)	$E_{90,\text{mean}}$	370	$\text{N/mm}^2$	370	$\text{N/mm}^2$
Schubmodul	$G_{0,\text{mean}}$	690	$\text{N/mm}^2$	600 - 702	$\text{N/mm}^2$
Rollschubmodul	$G_{r,\text{mean}}$	50,0	$\text{N/mm}^2$	50,0 - 60,0	$\text{N/mm}^2$
Biegefestigkeit	$f_{m,k}$	24,0	$\text{N/mm}^2$	24,0	$\text{N/mm}^2$
Schubfestigkeit	$f_{v,k}$	2,5	$\text{N/mm}^2$	2,5 - 2,7	$\text{N/mm}^2$
Rollschubfestigkeit	$f_{v,r,k}$	1,0	$\text{N/mm}^2$	0,8 - 1,2	$\text{N/mm}^2$

Tabelle 3: Charakteristische Baustoffkennwerte für Brettspertholz aus allgemeinen bauaufs. Zulassungen

### 5.3.3 Nachweisverfahren

Das in dieser Arbeit angewandte Nachweisverfahren für BSPH-Platten ist nicht an die speziellen Querschnittsaufbauten der verschiedenen Hersteller von Holzwerkstoffen gebunden, sondern produktneutral anwendbar. Vorausgesetzt wird eine einachsige spannde Platte.

Das Tragverhalten bei Biegung einer BSPH-Platte lässt sich nur unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit der Querlagen ermitteln [22]. Wie in Tabelle 3 ersichtlich ist, haben die Querlagen, die rechtwinklig zur Spannrichtung der Platte liegen, einen sehr niedrigen Elastizitätsmodul, welcher bei statischen Nachweisen vernachlässigt wird ( $E_{90,\text{mean}} = 0,0$ ). Die Querlagen fungieren vorrangig als „Abstandshalter“ und ermöglichen eine größere statische Höhe. Sie werden durch Schub beansprucht. Für die Berechnung des Flächenträgheitsmoments und der übrigen Querschnittskennwerte werden ausschließlich die in Tragrichtung verlaufenden Brettlagen berücksichtigt (konstruktive Anisotropie). Die zu diesem Netto-Querschnitt gehörenden Querschnittswerte werden für die Nachweise im GzT verwendet.

Die Schubbeanspruchung in den Querlagen führt laut MESTEK [14] zu Rollschubversagen (Abbildung 9), da die Rollschubsteifigkeit weniger als 10% des Schubmoduls der Längslagen beträgt. Tritt Rollschubversagen ein, so ist häufig ein Bruch tangential zu den Jahresringen der Querlagen zu beobachten [22].

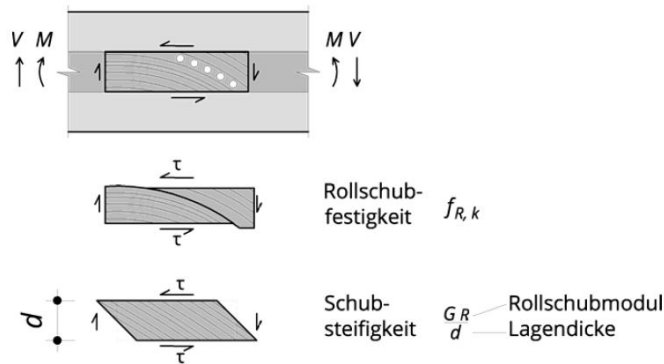


Abbildung 9: Rollschubversagen [22]

Die Schubverformung muss bei der Berechnung der Gesamtverformung berücksichtigt werden. Sie überlagert sich mit der Verformung aus Biegung. Die Gesamtverformung einer BSPH-Platte setzt sich also zusammen „aus einem Biegeanteil infolge Verdrehung des Querschnitts und einem Schubanteil infolge Verformung der Querlagen“ [22] (siehe Abbildung 10). Dieser Ansatz entspricht dem Modell des verdübelten Balkens.

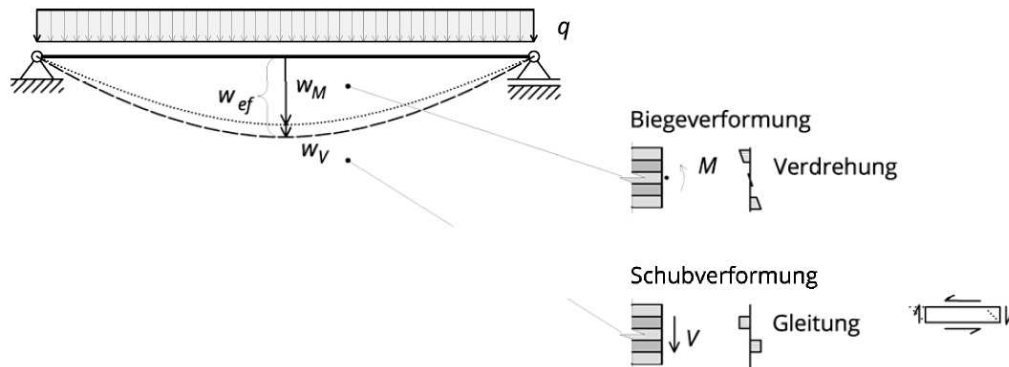


Abbildung 10: Verformungsanteile aus Biegung und Schub [22]

Verformungsnachweise sind laut MESTEK bei BSPH und Holzbau im Allgemeinen oft die maßgebenden, daher müssen die Verformungen und die Schwingung genau bestimmt werden können. Um die Gesamtverformung zu errechnen, können verschiedene Verfahren herangezogen werden: Das in dieser Arbeit angewandte Gamma-Verfahren, der Timoshenko-Balken, das Schubanalogieverfahren, die Laminattheorie und die Berechnung nach der Finite-Elemente-Methode. Das Gamma-Verfahren ist in Anhang B des EC 5 [10] und in den meisten bauaufsichtlichen Zulassungen für BSPH als vorgeschlagenes Nachweisverfahren enthalten.

Beim Gamma-Verfahren wird der Steiner-Term des Flächenträgheitsmoments der Längslagen um einen Faktor  $\gamma_i$  reduziert, womit die Schubnachgiebigkeit der benachbarten Querlagen erfasst wird. Es ergibt sich ein effektives Trägheitsmoment. Die Schubnachgiebigkeit wird mit dem Gamma-Verfahren nicht direkt erfasst, sondern nur indirekt über die reduzierte Biegesteifigkeit. Das Verfahren ist für BSPH-Platten mit drei oder fünf Schichten geeignet.

Für sieben- und neunlagige Platten muss das modifizierte Gamma-Verfahren angewandt werden. Bei diesen Platten nimmt die maßgebende Rollschubspannung zu und konvergiert gegen einen Grenzwert, der um 50% höher liegt als die Rollschubspannung, die sich aus herkömmlichen Formeln errechnet [14]. Das modifizierte Gamma-Verfahren erfordert einen hohen Rechenaufwand und ist daher nicht geeignet, eine große Anzahl von Nachweisen und Nachweiserien anzulegen. Weiterhin kommen sieben-, neun- und elflagige BSPH-Platten bei den hier betrachteten Anwendungsfällen selten zum Einsatz. Aus diesen Gründen beschränkt sich diese Arbeit auf BSPH, das aus drei oder fünf Schichten besteht.

Vorteil des Gamma-Verfahrens ist, dass die Gesamtverformung anhand der reinen Biegeverformung berechnet wird, ohne unterschiedliche Verformungsanteile addieren zu müssen. Für eine Berechnung in Stabwerksprogrammen, bei denen man die per Gamma-Verfahren ermittelten Querschnittswerte eingeben kann, muss die Schubnachgiebigkeit nicht berücksichtigt werden. Nachteilig ist, dass das effektive Trägheitsmoment von der Spannweite abhängt und daher nicht pauschal für einen Querschnitt beschrieben werden kann. Das effektive Trägheitsmoment nimmt mit der kürzeren Spannweite etwa quadratisch zur Biegeschlankheit  $l/h$  ab [14]. Dies ist auch der Grund für den großen Rechenaufwand beim modifizierten Gamma-Verfahren, das bei größeren BSPH-Querschnitten angewandt wird.

Bei Durchlaufträgern tritt an den Mittelauflagern eine kombinierte Beanspruchung aus Biegung und Schub auf. Weder EC 5 noch DIN 1052 sehen vor, dass im GzT Biegung und Schub miteinander kombiniert nachgewiesen werden müssen. EC 5, Abschnitt 6.1.7 sieht vor, dass im Nachweis der Beanspruchbarkeit auf Schub von biegebeanspruchten Bauteilen der Einfluss von Rissen zu berücksichtigen ist. Hierfür ist im Schubnachweis die wirksame Breite des Bauteils anzusetzen. Für die wirksame Breite wird  $b_{ef} = k_{cr} * b$  genannt, wobei  $k_{cr}$  vom verwendeten Material abhängt. Für Vollholz und Brettschichtholz wird  $k_{cr} = 0,67$  vorgeschlagen, für andere holzbasierte Produkte gemäß DIN EN 13986  $k_{cr} = 1,00$ . In DIN EN 13986 ist BSPH nicht ausdrücklich erwähnt, sodass unklar bleibt, welcher Faktor zu verwenden ist. Für die vorliegende Arbeit wird  $k_{cr} = 1,00$  gewählt. Würde  $k_{cr} = 0,67$  angesetzt, wären die Schubnachweise um ungefähr 13% stärker ausgelastet, jedoch immer noch deutlich von einer kritischen Auslastung entfernt. Laut [14] sind die kombinierten Spannungsnachweise bei Plattenstreifen mit Gleichlast gewöhnlich nicht erforderlich. Weiterhin werden bei Biegungs- und Schubbeanspruchung jeweils unterschiedliche Lagen belastet: Biegung belastet vorrangig die Längslagen, während Rollschubversagen in den Querlagen auftritt.

### 5.3.4 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Im Grenzzustand der Tragfähigkeit werden für Einfeld- und Zweifeldsysteme die Nachweise der Biegespannung (3) sowie der Schubspannung (4) geführt. Die Nachweise sind jeweils mit einer Grundkombination der Belastungen geführt sowie mit einer außergewöhnlichen Bemessungssituation, die den Brandfall beschreibt. Der Nachweis im Brandfall ist nur dann notwendig, sofern keine konstruktiven Brandschutzmaßnahmen ergriffen werden. Die Nachweise werden für alle Systeme im Tabellenkalkulationsprogramm Excel geführt. Im Folgenden wird der schrittweise Ablauf der Nachweise im GzT dargestellt. Er orientiert sich am Nachweisformat, das in [22] vorgestellt wird.

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad (3)$$

$$\tau_{v,r,d} \leq f_{v,r,d} \quad (4)$$

Die Berechnung der Querschnittswerte bildet die Grundlage der statischen Nachweise. Da ein weitgehend einachsiger Lastabtrag vorausgesetzt wird, darf das BSPH-Element als Plattenstreifen behandelt werden. Die Querschnittswerte werden für einen ein Meter breiten Balken bestimmt ( $b = 1$  m). Wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, werden im GzT Netto-Querschnittswerte zur Berechnung der auftretenden Spannungen verwendet.

Bei einem symmetrischen Elementaufbau befindet sich die Lage des Schwerpunkts  $z_s$  des Querschnitts in der Symmetrieachse. Bei unsymmetrischen Querschnitten (z. B. entstehend aus unterschiedlichen Schichthöhen, aufgeklebten Holzwerkstoffen, etc.) muss die Schwerpunktlage eigens bestimmt werden. In dieser Arbeit werden ausschließlich symmetrische Querschnitte behandelt, da diese in der Anwendung die Regel darstellen.

$$z_s = \frac{h_{ges}}{2} = \frac{\sum h_n}{2} \quad (5)$$

Anhand der Schwerpunktlage des Gesamtquerschnitts können die Abstände der einzelnen Lagen  $a_i$  vom Schwerpunkt errechnet werden (siehe Abbildung 11 sowie Gleichung (6)).  $o_i$  ist dabei der Abstand der jeweiligen Lage von der Querschnittoberkante aus gemessen.

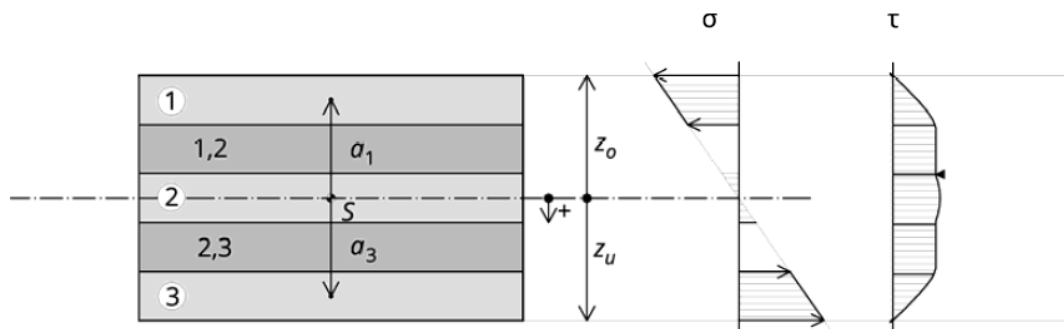


Abbildung 11: Symmetrischer Querschnitt mit Bezeichnung der Lagen und Spannungsverläufe [22]



$$a_i = o_i - z_s \quad (6)$$

Das Netto-Trägheitsmoment  $I_{0,net}$  errechnet sich aus der Summe der Trägheitsmomente der einzelnen Lagen sowie aus den jeweiligen Steiner-Termen. In die Berechnung des Netto-Trägheitsmoments fließen lediglich die anrechenbaren Lagen des Querschnitts ein, d. h. diejenigen Lagen, die in Haupttragrichtung verlaufen.

$$I_{0,net} = \sum_{i=1}^n \frac{b * h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n b * h_i * a_i^2 \quad (7)$$

Das für die Bestimmung der Biegerandspannung notwendige Widerstandsmoment  $W_{0,net}$  kann anhand des Netto-Trägheitsmoments bestimmt werden.

$$W_{0,net} = \frac{I_{0,net}}{z_s} \quad (8)$$

Die Biegerandspannung  $\sigma_{m,d}$  wird mit dem Bemessungsmoment  $M_d$  ermittelt. Die Biegerandspannung stellt im Nachweis aus Gleichung (3) die Einwirkungsseite dar.

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_{0,net}} \quad (9)$$

Die Bemessungsbiegefestigkeit  $f_{m,d}$  errechnet sich aus der charakteristischen Biegefestigkeit  $f_{m,k}$ , die mit dem Sicherheitsbeiwert  $\gamma_m$  abgemindert und durch den Faktor für die Lasteinwirkungsdauer  $k_{mod}$  modifiziert wird.

$$f_{m,d} = k_{mod} * \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} \quad (10)$$

Die auftretende Rollschubspannung (11) wird von der Rollschubfestigkeit der Querlagen bestimmt. Das zugehörige statische Moment  $S_{r,0,net}$  wird gemäß Gleichung (12) errechnet.  $m_L$  ist dabei jene Längslage, die dem Gesamtschwerpunkt am nächsten ist.

$$\tau_{v,r,d} = \frac{V_d * S_{r,0,net}}{I_{0,net} * b} \quad (11)$$

Mit:

$$S_{r,0,net} = \sum_{i=1}^{m_L} b * h_i * a_i \quad (12)$$

Die Bemessungsrollschubfestigkeit  $f_{v,r,d}$  errechnet sich analog zur Bemessungsbiegefestigkeit: Die charakteristische Rollschubfestigkeit wird mit einem Sicherheitsbeiwert abgemindert und durch den Faktor für die Lasteinwirkungsdauer modifiziert.

$$f_{v,r,d} = k_{mod} * \frac{f_{v,r,k}}{\gamma_m} \quad (13)$$

## 5.3.5 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit werden für BSPH-Platten Verformungs- und Schwingungsnachweise geführt. Das Gamma-Verfahren wird angewandt, um die Verformung allein über erhöhte Biegeverformungen ermitteln zu können. Die Gamma-Werte der einzelnen Lagen errechnen sich gemäß Gleichung (14) mit der Referenzlänge  $l_{ref}$ , die vom statischen System abhängt.

$$\gamma_1 = \gamma_3 = \frac{1}{\left(1 + \frac{\pi^2 * A_1}{l_{ref}^2} * \frac{h_{1,2}}{b * G_{R,12}}\right)} \quad \gamma_2 = 1,0 \quad (14)$$

Mit:

$$l_{ref,1Feld} = 1,0 * l \quad l_{ref,DLT} = 0,8 * l_{min} \quad l_{ref,Krag} = 2,0 * l$$

Mithilfe der Gamma-Werte der einzelnen Lagen lässt sich das effektive Trägheitsmoment  $I_{0,ef}$  bestimmen. Die Gleichung entspricht derjenigen des Netto-Trägheitsmoments, die Steiner-Terme werden jedoch um  $\gamma_i$  abgemindert.

$$I_{0,ef} = \sum_{i=1}^n \frac{b * h_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n \gamma_i * b * h_i * a_i^2 \quad (15)$$

Mit den Gleichungen (16) bis (18) werden die für die Verformungsnachweise notwendigen Durchbiegungen errechnet. Der Hilfwert  $k_w$  ist anwendbar bei Einfeldträgern unter Gleichstreckenlast. Die Belastungen werden gemäß Tabelle 2 ohne Teilsicherheitsbeiwerte in die Gleichungen eingefügt. Für die elastische Durchbiegung  $w_{inst,qs}$ , die unter ständiger Last auftritt, wird die veränderliche Last  $q_k$  mit dem Kombinationsbeiwert  $\psi_2$  abgemindert. Die Kriechverformung entspricht  $w_{inst,qs}$ , modifiziert mit dem Verformungsbeiwert  $k_{def}$ , der vom gewählten Holzwerkstoff und der Nutzungsklasse abhängig ist (siehe Tabelle 1).

$$w_{inst} = k_w * (g_k + q_k) = \frac{l^4}{76,4 * E_{0,mean} * I_{0,ef}} * (g_k + q_k) \quad (16)$$

$$w_{inst,qs} = k_w * (g_k + \psi_2 * q_k) \quad (17)$$

$$w_{creep} = k_{def} * w_{inst,qs} \quad (18)$$

Nachweis der elastischen Anfangsdurchbiegung:

$$w_{inst} \leq \frac{l}{300} \quad (19)$$

Nachweis der Enddurchbiegung:

$$w_{fin} = w_{inst} + w_{creep} \leq \frac{l}{200} \quad (20)$$

Nachweis der „Netto“-Enddurchbiegung:

$$w_{net,fin} = w_{inst,qs} + w_{creep} \leq \frac{l}{300} \quad (21)$$

Die Grenzwerte der Durchbiegungen sind dem Nationalen Anhang des EC 5 entnommen (Anhang A1). Es handelt sich dabei um Empfehlungen, die durch die Normung nicht strikt festgelegt sind. Die Grenzwerte können zwischen unterschiedlichen Bauvorhaben variieren.

Um die Gleichungen der Verformung auch für Zweifeldträger anwenden zu können, müssen die Belastungen modifiziert werden. Für Durchlaufträger mit gleichen Stützweiten werden die ständigen und veränderlichen Lasten gemäß [18] um den Faktor  $k_{DLT,g}$  bzw.  $k_{DLT,q}$  abgemindert (siehe Tabelle 4). Bei Zweifeldträgern mit unterschiedlichen Stützweiten werden die Lasten gemäß Gleichung (22) für Endfelder von Durchlaufträgern abgemindert.  $M_B$  ist hierbei das Stützmoment unter Vollast,  $M_0$  das Moment aus Eigengewicht im Endfeld. Alternativ wäre es möglich, die Verformungen mit einem Stabwerksprogramm zu berechnen. Dieses Vorgehen ist für das Anfertigen größerer Nachweisserien für verschiedene Systeme nicht effizient. Die Verformungen müssten für jeden Nachweisschritt einzeln vom Programm errechnet werden. Die  $k_{DLT}$ -Werte stellen für das Anfertigen zahlreicher Nachweise in Folge eine geeignete Lösung dar.

$$k_{DLT} = 1 + 0,6 * \frac{M_B}{M_0} \quad (22)$$

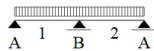
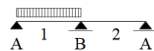
$k_{DLT}$	Laststellung $g, s, w$	$k_{DLT}$	ungünstigste Laststellung $q$
Feld 1 u. 2 $k_{DLT} = 0,400$		Feld 1 $k_{DLT} = 0,700$	

Tabelle 4: Beiwerte  $k_{DLT}$  zur Berechnung von Durchbiegungen bei Durchlaufträgern mit gleichen Stützweiten [18]

Der Schwingungsnachweis ist im Holzbau für Geschossdecken in der Regel der maßgebende Nachweis. Aufgrund der Schwingungsanfälligkeit von BSPH ist dessen Stützweite im Geschossbau begrenzt; es sind große Querschnitte notwendig, um den Nachweis erfüllen zu können. Der Nachweis erfolgt gemäß Gleichung (23): Die Eigenfrequenz muss über einem Grenzwert liegen, der von der Schwingungsklasse abhängig ist (siehe Tabelle 5).

	<b>Schwingungsklasse II</b>	<b>Schwingungsklasse II</b>	<b>Schwingungsklasse III</b>
Typischer Anwendungsfall	Decken zwischen unterschiedlichen Nutzungseinheiten	Decken innerhalb einer Nutzungseinheit	Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen, Decken ohne Schwingungsanforderung
Ausführung	Nassestrich schwimmend auf leichter oder schwerer Schüttung	Nassestrich schwimmend (auch ohne Schüttung)	-
Frequenzkriterium $f_{\text{grenz}}$	8 Hz	6 Hz	-
Steifigkeitskriterium $w_{\text{grenz}}$	0,5 mm	1,0 mm	-
Beschleunigungskriterium $a_{\text{grenz}}$	0,5 mm	1,0 mm	-

Tabelle 5: Schwingungsklassen von Decken gemäß EC 5

$k_{\text{quer}}$  stellt im Schwingungsnachweis den Einfluss der Quertragwirkung dar. Das Einbeziehen der Quertragwirkung wirkt sich positiv auf die Eigenfrequenz aus. Wird ein Deckenaufbau mit Estrich verwendet, kann dessen E-Modul und Flächenträgheitsmoment in Gleichung (24) eingesetzt werden. Da die Höhe des Estrichs kubisch in dessen Flächenträgheitsmoment eingeht, kann mit einem nur geringfügig höheren Estrich bereits ein deutlich größerer Wert für  $k_{\text{quer}}$  erzielt werden. Dies bedeutet zugleich ein größeres Eigengewicht der Decke und höhere Materialkosten. Ausgeglichen wird der größere Materialaufwand jedoch durch ein vorteilhafteres Schwingungsverhalten. Auf der sicheren Seite liegend kann  $k_{\text{quer}} = 1,0$  angenommen werden. Bei kleinen Stützweiten hat die Quertragwirkung einen größeren Einfluss, als bei großen. Für den E-Modul des Estrichs wird  $E_{\text{quer}} = 26000 \text{ N/mm}^2$  gewählt. Das Flächenträgheitsmoment des Estrichs  $I_{\text{quer}}$  errechnet sich gemäß der gewählten Estrichhöhe des Geschossdeckenaufbaus aus Abschnitt 6.3.1 (50 mm). Bei Dacheindeckungen ist kein Estrich vorhanden, der Nachweis der ersten Eigenfrequenz ist dort aber ohnehin nicht erforderlich. Mit dem Beiwert  $k_f$ , der Tabelle 6 entnommen werden kann ( $l_1$  stellt die kürzere Stützweite dar), wird der positive Einfluss unterschiedlicher Stützweiten bei Mehrfeldträgern berücksichtigt. Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass gleiche Stützweiten eines DLT bei dieser vereinfachten Berechnung keine Auswirkungen auf das Schwingverhalten haben. Grund dafür ist, dass die erste Eigenform eines Einfeldträgers mit der eines Durchlaufträgers mit gleichen Stützenweiten identisch ist.

$$f_1 = \frac{\pi}{2 * l^2} * \sqrt{\frac{E * I_{0,ef}}{m}} * k_{quer} * k_f \geq f_{grenz} \quad (23)$$

Mit:

$$k_{quer} = \sqrt{1 + \left[ \left( \frac{l}{b} \right)^2 + \left( \frac{l}{b} \right)^4 \right] * \frac{E_{quer} * I_{quer}}{E_{0,mean} * I_{0,ef}}} \quad (24)$$

$l_1 / l =$	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>	<b>0,6</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1,0</b>
$k_f =$	1,33	1,30	1,27	1,24	1,15	1,33	1,09	1,00

Tabelle 6: Beiwerte  $k_f$  für Frequenzen von Durchlaufträgern [18]

Ist der Schwingungsnachweis nicht eingehalten, kann nach HAMM UND RICHTER [8] der Nutzungskomfort gewahrt bleiben, sofern die Grenzbeschleunigung eingehalten wird. Dieser Nachweis ist nur bei sehr schweren Decken Erfolg versprechend [18] und nur dann anzuwenden, sofern eine Mindesteigenfrequenz von 4,5 Hz eingehalten wird und sofern die Steifigkeitsanforderung erfüllt ist.

Der letzte Nachweis im GzG für Geschossdecken ist die Steifigkeitsanforderung: Bei einer Belastung von  $F = 1 \text{ kN}$  (Mannlast) in Feldmitte darf sich die Platte nicht stärker absenken, als durch  $w_{grenz}$  festgelegt ist.  $w_{grenz}$  ist (wie auch schon  $f_{grenz}$ ) von der geforderten Schwingungsklasse abhängig. Gleichung (25) zeigt den Nachweis. Der Beiwert  $b_f$  beschreibt die Quersteifigkeit, die durch den Deckenaufbau aus Estrich entsteht. Ähnlich dem Schwingungsnachweis kann hier bereits mit einer geringen Quersteifigkeit eine Verbesserung des Nachweises erzielt werden.

$$w_{1kN} = \frac{1kN * l^3}{48 * E_{0,mean}} * \frac{1}{b_f} \leq w_{grenz} \quad (25)$$

Mit:

$$b_f = \min \left\{ \frac{l}{1,1} * \sqrt[4]{\frac{E_{quer} * I_{quer}}{E_{0,mean} * I_{0,ef}}} \geq 1,0 \right. \\ \left. b \right. \quad (26)$$

### 5.3.6 Brandschutz

BSPH-Bauteile werden entsprechend ihrer bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweise als „normalentflammbar“ eingestuft und der Baustoffklasse B2 (DIN 4102-1), bzw. der Brandverhaltensklasse  $D_{s2,d0}$  (EN 13501-1) zugeordnet. BSPH erhält damit dieselbe Zuordnung wie Brettschicht- und Vollholz. Durch entsprechende Oberflächenbeschichtung oder Decklagen lassen sich auch schwerentflammbare Bauteiloberflächen realisieren, die der Baustoffklasse B1 entsprechen.

Die bauaufsichtlichen Zulassungen geben Abbrandgeschwindigkeiten für BSPH vor. Die Hersteller verfügen über spezifische Konstruktionsaufbauten, um Abbrandtests durchzuführen und die Feuerwiderstandsdauer des Werkstoffs zu ermitteln.

Bei einer einseitigen Beflammung des Bauteils von unten verbrennen die Einzellagen nach und nach. Sobald die erste Lage abgebrannt ist, die im Regelfall in Haupttragrichtung liegt, darf die zweite Schicht, die üblicherweise in Querrichtung liegt, nicht mehr für statische Nachweise berücksichtigt werden (das E-Modul der Querlage wird ohnehin als „= 0“ angenommen). Lag zu Beginn des Brandes also ein fünflagiger Querschnitt vor, dessen unterste Schicht abgebrannt ist, liegt zum Zwecke der statischen Nachweise nun nur noch ein dreilagiger Querschnitt vor. Gemäß dem Prinzip des ideellen Restquerschnitts kann dieser verringerte Querschnitt mit bestimmten Beiwerten für den außergewöhnlichen Lastfall Brand nachgewiesen werden.

Die Abbrandgeschwindigkeit  $\beta$  von BSPH kann aus den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen entnommen werden. Im „Brettsperrholzleitfaden“ [17] und in der „Gutachtlichen Stellungnahme der Holzforschung Austria“, auf die [22] verweist, sind herstellerunabhängige Richtwerte zu finden. Bei der Abbrandgeschwindigkeit wird unterschieden zwischen  $\beta_1$  und  $\beta_2$ .  $\beta_1$  beschreibt die Abbrandgeschwindigkeit der ersten beflamnten Lage sowie die Geschwindigkeit in den tieferen Lagen, sofern diese bereits durch eine verkohlte Schicht geschützt sind.  $\beta_2$  beschreibt eine erhöhte Abbrandgeschwindigkeit, die für die ersten 25 mm einer tiefer liegenden Schicht gilt. Nach dem vollen Ausfall einer vor Brand schützenden Schicht wird davon ausgegangen, dass der Abbrand zunächst mit erhöhter Geschwindigkeit abläuft. Tabelle 7 enthält typische Werte für die Abbrandgeschwindigkeiten. Für die weiteren Rechnungen wird auf die Mittelwerte aus den Zulassungen zurückgegriffen ( $\beta_1 = 0,70$  mm/min,  $\beta_2 = 1,00$  mm/min). Beim Verfahren des ideellen Restquerschnitts wird für die Berechnung der ideellen Abbrandtiefe  $d_{ef}$  Gleichung (27) angewandt. Dabei ist  $k_0 = 1,0$ , für eine Branddauer von mehr als 20 Minuten. Für  $d_0$  sind 7 mm anzusetzen (gemäß DIN EN 1995-1-2:2010-12).

$$d_{ef} = \beta_n * t_{ges} + k_0 * d_0 \quad (27)$$

Abbrandgeschwindigkeit		BSPH-Leitfaden	HFA-Stellungn.	Zulassungen (Mittelwerte)
Erste Lage	$\beta_1$	0,65 mm/min	0,65 mm/min	0,70 mm/min
Ab 2. Lage, erste 25 mm	$\beta_2$	2*0,65 mm/min	2*0,65 mm/min	1,00 mm/min
Ab 2. Lage, Rest der Lage	$\beta_1$	0,65 mm/min	0,65 mm/min	0,70 mm/min

Tabelle 7: Abbrandraten  $\beta_n$  für BSPH [17, 22]

Wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, gilt für Geschossdecken eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten. Im Folgenden wird anhand eines beispielhaften fünfflagigen BSPH-Querschnitts festgestellt, inwiefern R 90 auch ohne zusätzliche Brandschutzmaßnahmen einzuhalten ist. Der betrachtete, beispielhafte Querschnitt hat folgende Schichthöhen (in mm): 40/30/40/30/40. Dies ist ein typischer symmetrischer Aufbau, wie er im Wohnungsbau anzutreffen ist (z. B. Wohnungsbau in Ansbach, Deppisch Architekten [5]). Die Abbranddauer  $t_1$  für die erste Lage errechnet sich wie folgt:

$$t_1 = \frac{40}{0,70} \approx 57 \text{ min}$$

Es bleiben  $t_{\text{ges}} = 90 - t_1 = 33$  Minuten übrig. Die Abbrandtiefe in der 30 mm hohen zweiten Lage kann nach Gleichung (27) wie folgt errechnet werden (unter Berücksichtigung der erhöhten Abbrandgeschwindigkeit  $\beta_2$ , die in den ersten 25 mm der tieferen Schichten zu erwarten ist):

$$d_{\text{ef,Lage2}} = 1,00 * 25 + 0,65 * 8 + 1,0 * 7 = 37,2 \text{ mm} > 30 \text{ mm}$$

Die zweite Lage brennt ebenfalls vollständig ab und die dritte Lage wird vom Brand angegriffen. Auf der sicheren Seite liegend kann angenommen werden, dass in der mittleren Lage weitere 10 mm abbrennen, sodass ein ideeller, asymmetrischer Restquerschnitt (30/30/40) zurückbleibt. Für diesen Querschnitt muss eine außergewöhnliche Brandbelastung im GzT nachgewiesen werden, damit der Brandschutznachweis als erfüllt gilt. Die Tragfähigkeit des Querschnitts darf bei diesem Nachweis mit dem Beiwert  $k_{\text{fi}}=1,15$  (für Holzwerkstoffe) erhöht werden. Ein Nachweis im GzG ist für den Brandfall nicht notwendig. Da die Nachweise im GzT für BSPH-Platten im Geschossbau nie maßgebend werden und in der Regel nur zu ungefähr 30% ausgelastet sind, lassen sich die Nachweise im Brandfall mit den ideellen Restquerschnitten oftmals erfüllen – sofern es sich um vergleichbar große Querschnitte handelt, wie im obigen Beispiel berechnet.

Bei dreilagigen BSPH-Querschnitten ist gemäß der Rechnung oben davon auszugehen, dass die untere und mittlere Lage bei einer 90-minütigen Brandbelastung abgebrannt oder nicht mehr anrechenbar ist. Die verbliebene obere Schicht alleine kann nicht mehr angerechnet werden und der Querschnitt versagt völlig. Dreilagige BSPH-Platten können ohne zusätzliche Maßnahmen eine Feuerwiderstandsdauer von 90 (und auch 60) Minuten nicht erfüllen.

Eine brandschutztechnische Maßnahme zur Ertüchtigung der BSPH-Platten stellen Gipskartonplatten dar, die unterhalb der tragenden Holzschicht an die Decke angehängt werden. Die Zeitdauer bis zum Beginn des Abbrandes eines geschützten Bauteils  $t_{ch}$  gemäß DIN EN 1995-1-2 (Abschnitt 3.4.3) ist Gleichung (28) zu entnehmen.  $h_p$  ist dabei die Höhe der Gipsplatte. Die Gleichung ist gültig für Gipsplatten, die DIN EN 520 und darin Typ A, F, H, E, D, R oder I entsprechen, mit offenen oder verspachtelten Stößen, die kleiner als 2 mm sind. Bei zwei Lagen entspricht  $h_p$  der Dicke der äußeren zuzüglich 50% der inneren Lage.

$$t_{ch} = 2,8 * h_p - 16 \quad (28)$$

Werden zwei Gipsplatten mit einer Höhe von je 25 mm verwendet ( $h_p = 37,5$  mm), ergibt sich ein  $t_{ch}$  von 91 Minuten. Durch die Gipsplatten entsteht eine Erhöhung der ständigen Flächenlast um ca.  $0,35 \text{ kN/m}^2$  (Mittelwert verschiedener Hersteller). Sowohl drei- als auch fünfplagige BSPH-Platten können mit Gipsplatten für die Feuerwiderstandsklasse R 90 ertüchtigt werden, ohne dass die Holzquerschnitte selbst für den Lastfall Brand nachgewiesen werden müssen. Bei fünfplagigen Querschnitten mit üblichen Dicken der Einzellagen ist diese Maßnahme aufgrund der erhöhten Flächenlast nur bedingt zu empfehlen – der Holzquerschnitt selbst kann die Klasse R 90 im Allgemeinen erfüllen. Sofern dreilagige Aufbauten im Hochbau eingesetzt werden, sind das Unterhängen von Gipsplatten oder vergleichbare Maßnahmen wohl nicht zu vermeiden. Eine Alternative zu den Gipsplatten stellt eine Beschichtung der BSPH-Platten dar, mit der das zusätzliche Gewicht einer Unterdecke eingespart wird, durch die jedoch zusätzliche Kosten verursacht werden.

Die Feuerwiderstandsklasse R 60 (für Gebäude mit einer geringeren Höhe als 13 m) ist entsprechend einfacher zu erfüllen. Hierfür sind bei fünfplagigen BSPH-Querschnitten mit üblichen Schichthöhen in der Regel keinerlei Zusatzmaßnahmen notwendig. Für dreilagige Querschnitte sind zwei Gipsplatten mit einer Höhe von je 20 mm ausreichend.



## 5.4 OSB

OSB (Oriented Strand Boards, auch „Grobspanplatte“) ist ein Holzwerkstoff, der seit Ende der sechziger Jahre im Roh- und Innenausbau als Beplankung verwendet wird. Seit 1997 besteht die DIN EN 300, die die Anforderungen an den Holzwerkstoff vorgibt. Zusätzlich existieren allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen einzelner Hersteller für OSB-Platten; typischerweise für tragfähigere Platten, als sie die DIN EN 300 beschreibt.

OSB-Platten sind flächige, unter Umständen tragende Holzprodukte, die als Platte und als Scheibe beansprucht werden können. OSB wird hergestellt, indem Holz in Späne zerlegt, getrocknet und mit einem Bindemittel versehen wird. Häufig werden geringwertige forstliche Industriesortimente verwendet, aus denen die Holzspäne produziert werden. Die Holzspäne werden als „Strands“ bezeichnet (englisch für „großflächige Späne“). Beleimte Strands werden zu Vliesen gestreut, verdichtet und anschließend zu Platten heißgepresst. Die Heißpressung führt dazu, dass die Platten quasi wasserabweisende Eigenschaften besitzen. Je nach Anwendungsfall wird die Oberfläche der verpressten Platten geschliffen und zugeschnitten, beschichtet oder anderweitig verarbeitet [11]. Der Herstellungsprozess ist dem der Spanplatte sehr ähnlich.

Da die Streuung der Strands schichtweise einander überlappend und orientiert erfolgt, ergeben sich in Längs- und Querrichtung unterschiedliche Festigkeitswerte. Die Deckschichten liegen vorwiegend parallel zur Fertigungsrichtung, während die Mittelschicht-Strands quer dazu ausgerichtet sind [18]. Bei einer Beanspruchung als Platte betragen die Festigkeitskennwerte in Querrichtung ungefähr 50% der Kennwerte in Längsrichtung. Der Elastizitätsmodul in Querrichtung beträgt ungefähr 40% des E-Moduls in Längsrichtung (siehe Abschnitt 5.4.2).

Nach DIN EN 300 beträgt die Mindestdicke für tragende Platten 8 mm, für aussteifende Platten 6 mm. Da für die hier bearbeiteten Anwendungen jedoch zusätzliche Vorgaben für die Mindestplattendicke gelten, kommen diese Vorgaben der Norm nicht zum Tragen.

### 5.4.1 Anwendungsgebiete des Holzwerkstoffs OSB

OSB kommt insbesondere bei Wand-, Dach und Deckenkonstruktionen zum Einsatz. Je nach Verleimung, technischer Klasse und Plattendicke wird der Werkstoff als tragendes oder nichttragendes Element verwendet.

OSB ist, verglichen mit BSPH, ein großflächig etablierter Baustoff und zwar aus den folgenden Gründen: OSB weist eine größere Vielfalt auf, was die Anwendungsmöglichkeit betrifft. Bei OSB-Platten handelt es sich um leichte Bauteile, die auch für nichttragende Zwecke verwendet werden können (z. B. im Möbelbau). Um OSB-Platten verbauen zu können, bedarf es aufgrund ihrer vergleichsweise kleinen Abmessungen und ihres geringen Gewichts keine größeren Geräte, sodass der Einbau auch von Einzelpersonen durchgeführt werden kann. Die Zahl der OSB-Hersteller ist sehr viel größer, als die von BSPH: Um OSB-Holz herstellen und vertreiben zu

können, ist keine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung notwendig und aufgrund der einfachen Handhabung müssen Hersteller nicht zusätzlich den Einbau mitanbieten. OSB-Platten werden in der Regel in Serie und nicht speziell auf ein Projekt zugeschnitten hergestellt. Die breite Produktpalette bietet Optionen für zahlreiche Anwendungen. Zuletzt werden OSB-Platten schon seit längerem vertrieben, sodass sich der Holzwerkstoff über diesen Zeitraum etablieren konnte.

Die im Geschossbau und bei Dacheindeckungen verwendeten, typischen Stärken von OSB-Platten liegen zwischen 15 und 40 mm und damit unterhalb denen von BSPH-Platten. Dementsprechend geringer sind auch die maximal erreichbaren Stützweiten. Bei Decken- und Dachtragwerken ist eine größere Anzahl an Zwischenträgern notwendig, um Aufbauten mit OSB-Platten realisieren zu können. Reichen bei BSPH-Platten oft die Wände der Geschosse als Auflager aus, müssen OSB-Platten auf Unterzügen gelagert werden, die zwischen den Wänden spannen. OSB-Platten werden beispielsweise in Holzbalkendecken eingesetzt, um zwischen den Holzbalken eine belastbare Fläche zu schaffen. Bei Dachdeckungen sind die Anforderungen an die flächigen Tragstrukturen geringer (da keine Schwingungsnachweise erforderlich sind), sodass dort auch mit OSB-Platten größere Stützweiten erzielt werden können.

OSB darf gemäß DIN EN 300 in den Nutzungsklassen 1 und 2 eingesetzt werden. Im ungeschützten Außenbereich dürfen OSB-Platten grundsätzlich nicht eingesetzt werden. Der Holzwerkstoff wird in Bezug auf seine Anwendungsgebiete und Eigenschaften in vier technische Klassen unterteilt: OSB/1 darf ausschließlich für nicht tragende Zwecke verwendet werden und ist damit nicht Bestandteil dieser Arbeit. OSB/2 und OSB/3 werden für tragende Zwecke eingesetzt; OSB/2 nur im Trockenbereich, OSB/3 auch im Feuchtebereich. OSB/4 kommt bei hochbelastbaren Platten mit erhöhten Anforderungen im Feuchtebereich zum Einsatz. OSB/3 und OSB/4 können als aussteifende Elemente eingesetzt werden.

OSB ist geeignet für die Trockenbauweise, bei der keine wasserhaltigen Baustoffe wie Beton oder Estrich verwendet werden. Eine verbreitete Form des Trockenbaus, bei dem OSB zum Einsatz kommt, ist der Holztafelbau. Diese Bauweise für Fertighäuser setzt weitgehend vorgefertigte, beidseitig beplankte Elemente ein. OSB bringt keine zusätzliche Feuchtigkeit ins Gebäude ein und kann direkt verbaut werden, wodurch es sich als Werkstoff für die Fertigbauweise anbietet [11].

### 5.4.2 Typische Baustoffkennwerte für OSB

OSB-Platten haben im Vergleich zu anderen Span- und Faserplatten hohe mechanische Festigkeitswerte. Die Tragfähigkeit kommt zum Einsatz, wo Balkenlagen mit Boden- oder Dachplatten überbrückt werden müssen.

In DIN 300 sind einzelne OSB-Platten bis zu einer Stärke von 25 mm geregelt. Bauaufsichtlich zugelassene Platten haben Dicken von bis zu 40 mm. Es können mehrlagige Plattenkompositionen verbaut werden, welche, ohne Verklebung der Lagen untereinander, jedoch weniger wirtschaftlich sind als ähnlich dicke, monolithische Holzwerkstoffplatten.

Tabelle 8 zeigt die charakteristischen Baustoffkennwerte für OSB/3 und OSB/4 gemäß DIN EN 300. Die anrechenbare Biegefestigkeit  $f_{m,k}$  nimmt bei OSB mit zunehmender Dicke der Platten ab. Es ist daher besonders wirtschaftlich, die maximale Plattenstärke des jeweiligen Einteilungsschritts zu verwenden. Im Bereich der Festigkeiten, die für die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit relevant sind, sind die Kennwerte von OSB und BSPH vergleichbar. Vor allem OSB/4 kommt bei der Biegefestigkeit an die 24,0 N/mm<sup>2</sup> des BSPH heran. Beim Elastizitätsmodul fallen die Unterschiede deutlich größer aus: OSB/4 erreicht nur 61% des E-Moduls von BSPH, OSB/3 gar nur 45%. Hieran ist abzusehen, dass die Verformungen bei OSB-Platten größer ausfallen und die Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit bereits bei kleineren Stützweiten kritisch werden.

Baustoffkennwert		OSB/3 (DIN EN 300)		OSB/4 (DIN EN 300)	
		Charakteristischer Wert		Charakteristischer Wert	
Wichte	$\gamma$	5,50	kN/m <sup>3</sup>	5,50	kN/m <sup>3</sup>
E-Modul (längs zur Faser)	$E_{0,mean}$	4930	N/mm <sup>2</sup>	6780	N/mm <sup>2</sup>
E-Modul (quer zur Faser)	$E_{90,mean}$	1980	N/mm <sup>2</sup>	2680	N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul	$G_{0,mean}$	50	N/mm <sup>2</sup>	60	N/mm <sup>2</sup>
Biegefestigkeit (6 - 10 mm)	$f_{m,k}$	18,0	N/mm <sup>2</sup>	24,5	N/mm <sup>2</sup>
Biegefestigkeit (>10 - 18 mm)	$f_{m,k}$	16,4	N/mm <sup>2</sup>	23,0	N/mm <sup>2</sup>
Biegefestigkeit (>18 - 25 mm)	$f_{m,k}$	14,8	N/mm <sup>2</sup>	21,0	N/mm <sup>2</sup>
Schubfestigkeit	$f_{v,k}$	1,0	N/mm <sup>2</sup>	1,1	N/mm <sup>2</sup>

Tabelle 8: Charakteristische Baustoffkennwerte für OSB/3 und OSB/4 [30]

Einige Hersteller bieten OSB-Produkte an, deren Baustoffkennwerte über diejenigen von OSB/4 gemäß DIN EN 300 hinausgehen. Tabelle 9 zeigt die Wertebereiche von OSB-Platten, die durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen reguliert sind. Die Biegefestigkeiten liegen hier teilweise 30% höher als in DIN EN 300. Wichtiger Unterschied zur DIN EN 300 ist, dass die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen Platten von bis zu 40 mm enthalten. Die Steigerung der Dicke einer Platte von 25 mm auf 40 mm erhöht deren Flächenträgheitsmoment um mehr als das Vierfache. Der Elastizitätsmodul liegt auch bei den OSB-Platten der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen deutlich unter dem des BSPH. Die Nachweisreihen in

dieser Arbeit wurden jeweils für OSB/3, OSB/4 und Mittelwerte der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen geführt (OSB nach a. b. Z.).

Baustoffkennwert		Gewählter Wert		charakt. Wertebereich (allg. bauaufs. Zulassungen)	
Wichte	$\gamma$	6,00	kN/m <sup>3</sup>	6,00 - 6,40	kN/m <sup>3</sup>
E-Modul (längs zur Faser)	$E_{0,mean}$	7000	N/mm <sup>2</sup>	6500 - 7500	N/mm <sup>2</sup>
E-Modul (quer zur Faser)	$E_{90,mean}$	3000	N/mm <sup>2</sup>	3000 - 3500	N/mm <sup>2</sup>
Schubmodul	$G_{0,mean}$	100	N/mm <sup>2</sup>	60 - 160	N/mm <sup>2</sup>
Biegefestigkeit (6 - 10 mm)	$f_{m,k}$	25,0	N/mm <sup>2</sup>	25,0	N/mm <sup>2</sup>
Biegefestigkeit (>10 - 18 mm)	$f_{m,k}$	27,0	N/mm <sup>2</sup>	25,0 - 28,5	N/mm <sup>2</sup>
Biegefestigkeit (>18 - 25 mm)	$f_{m,k}$	25,0	N/mm <sup>2</sup>	23,0 - 27,5	N/mm <sup>2</sup>
Biegefestigkeit (>25 - 30 mm)	$f_{m,k}$	25,0	N/mm <sup>2</sup>	23,0 - 27,5	N/mm <sup>2</sup>
Biegefestigkeit (>30 - 40 mm)	$f_{m,k}$	23,0	N/mm <sup>2</sup>	20,0 - 27,5	N/mm <sup>2</sup>
Schubfestigkeit	$f_{v,k}$	1,5	N/mm <sup>2</sup>	1,5 - 2,0	N/mm <sup>2</sup>

Tabelle 9: Charakteristische Baustoffkennwerte aus allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für OSB

#### 5.4.3 Nachweisverfahren

Analog zu den Nachweisen für BSPH ist das im Folgenden diskutierte Nachweisverfahren für OSB produktneutral anwendbar und nicht an die Platteneigenschaften bestimmter Hersteller gebunden. Erneut wird eine einachsige spannende Platte vorausgesetzt.

Im Gegensatz zu BSPH wird bei OSB von einem homogenen Querschnitt ausgegangen, der für die Berechnung der Flächenträgheit voll angesetzt werden kann. Rollschubversagen der Quersichten tritt nicht auf. Die Gesamtverformung errechnet sich einzig aus der Verformung durch Biegung. Die effektive Flächenträgheit ist nicht abhängig von der Stützweite der Platte.

OSB wird in typischen Plattenstärken hergestellt. Die Höhen der Platten, die in den Nachweisreihen gewählt werden, entsprechen diesen Stärken; es werden keine Plattenstärken gewählt, die üblicherweise nicht hergestellt werden. Dies führt teilweise zu größeren Sprüngen in der Höhe der tragenden Schicht. Sowohl für die Dacheindeckung als auch für die Geschossdecke wird gemäß DIN 18334 eine Mindestdicke von 18 mm angenommen.

#### 5.4.4 Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Insofern das Vorgehen für OSB-Platten identisch mit dem für BSPH-Platten ist, wird es hier nicht erneut im Detail beschrieben. Auch für OSB werden Biege- und Schubspannungsnachweise geführt. Die Berechnung erfolgt an einem ein Meter breiten Plattenstreifen, dessen Querschnittswerte anhand seiner Geometrie errechnet werden. Bei OSB wird die volle Höhe der Platte angerechnet, um deren Flächenmoment zu ermitteln. Werden zwei OSB-Platten übereinander gelegt, werden die Flächenmomente der beiden Platten addiert, siehe Gleichung (29).

Da OSB-Platten in der Regel schwimmend aufeinander verlegt werden, beträgt das Flächenmoment solcher doppelt verlegter Platten lediglich ein Viertel dessen einer einzelnen Platte mit derselben Gesamthöhe. Nichtsdestoweniger werden solche Doppel-Platten verwendet, um größere Gesamtquerschnittshöhen zu erzielen, als nach DIN EN 300 oder den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen möglich. Einzelne Hersteller sehen eine derartige Verwendung in ihren Produkttabellen vor (bspw. [6]).

$$I_0 = \sum_i^2 \frac{b * d^3}{12} \quad (29)$$

Bei der Berechnung der Bemessungsfestigkeiten ist zu beachten, dass  $k_{\text{mod}}$  gemäß Tabelle 1 für OSB gewählt werden muss.

#### 5.4.5 Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

Ähnlich dem vorangegangenen Abschnitt folgt das Prinzip der Nachweise auch hier demjenigen für BSPH aus Abschnitt 5.3.5. Maßgeblicher Unterschied ist, dass hier das Flächenmoment nicht abgemindert und voll angesetzt wird. Das Gamma-Verfahren wird nicht angewandt und es kann mit dem Flächenträgheitsmoment  $I_0$  gemäß Gleichung (29) gerechnet werden. Alle übrigen Gleichungen können für OSB übernommen werden.

Die Stützweite von OSB-Platten ist vorrangig begrenzt durch den Durchbiegungsnachweis. Die dabei angesetzten Grenzwerte sind nicht festgeschrieben und können, nach Absprache mit den Planer\*innen des Gebäudes, an die jeweiligen Bedingungen angepasst werden [18]. Die hier dargestellten Ergebnisse basieren auf den üblichen Werten für  $w_{\text{grenz}}$  von 1/300 bzw. 1/200. Ein Heraufsetzen von  $w_{\text{grenz}}$  auf 1/200 bzw. 1/150 würde sich entsprechend günstig auf die Nachweise im GzG auswirken.

Auf der sicheren Seite liegend wird bei OSB der Schwingungsbeiwert  $k_{\text{quer}}$  nicht berücksichtigt. Gerade bei kleinen Stützweiten, wie sie bei OSB-Platten erzielt werden, wird der Einfluss der Quertragfähigkeit mit der üblichen Formel aus (24) durch sehr hohe Werte ( $k_{\text{quer}} = 4$  bis 10) überschätzt. Da der Schwingungsnachweis bei OSB-Platten nicht immer maßgebend wird, ist eine zusätzliche Erhöhung der Eigenfrequenz durch die Berücksichtigung der Quertragwirkung nicht notwendig.

#### 5.4.6 Brandschutz

OSB-Platten werden gemäß DIN EN 13501-1 als „normalentflammbar“ eingestuft (Klasse  $D_{s2}$ ). Mithilfe bestimmter Oberflächenbeschichtungen können „schwerentflammbare“ OSB-Bauteile realisiert werden.

In der Anwendung als Dacheindeckung ist für OSB-Platten kein Nachweis für den Brandfall notwendig; es ist lediglich eine „harte Bedachung“ zu verwenden (siehe Abschnitt 3.7). Wird OSB als tragendes Bauteil im Geschossbau eingesetzt, muss die Tragfähigkeit im Brandfall nachgewiesen werden und die in Abschnitt 5.3.6 dargestellten Anforderungen sind zu erfüllen: Für den Geschossbau (GKL 5) ist eine Brandwiderstandsdauer von 90 Minuten nachzuweisen.

Für die Beflammung von oben wird im Rahmen dieser Arbeit davon ausgegangen, dass die gewählten Bodenaufbauten eine Brandwiderstandsdauer von 90 Minuten gewährleisten. Bei einer direkten Beflammung soll – sofern möglich – das Prinzip des ideellen Restquerschnitts angewandt werden, wie es in Abschnitt 5.3.6 beschrieben wird.

Die Abbrandgeschwindigkeit von OSB wird DIN EN 1995-1-2 oder den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen entnommen. DIN EN 1995-1-2 sieht für Holzwerkstoffplatten mit einer Dicke von 20 mm eine Abbrandgeschwindigkeit von  $\beta_0 = 0,90$  mm/min vor. Die allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen enthalten Werte zwischen 0,77 und 1,05 mm/min. Für die vorliegende Arbeit wird  $\beta_0 = 0,90$  mm/min gewählt.

Es kommen gängiger Weise keine OSB-Querschnitte zum Einsatz, die eine Brandwiderstandsdauer von 90 Minuten unter Voraussetzung der oben genannten Abbrandgeschwindigkeit bieten. Um eine anrechenbare Restdicke aufweisen zu können, wäre eine Ausgangsdicke von mehr als 100 mm notwendig, was bei OSB quasi nie der Fall ist. Der Holzwerkstoff selbst kann also im Brandfall nicht mit dem Prinzip des ideellen Restquerschnitts nachgewiesen werden.

Wird stattdessen eine Unterdecke eingesetzt, die vor direkter Beflammung schützt, kann diese analog zu Abschnitt 5.3.6 gewählt werden. Die dort beschriebenen Gipskartonplatten sind auch für OSB-Platten anwendbar, erhöhen jedoch das Eigengewicht der Decke. Notwendig sind mindestens zwei Gipskartonplatten mit einer Höhe von je 25 mm, um eine Brandwiderstandsdauer von 90 Minuten zu gewährleisten.

## 6 Parameter und Variationsfaktoren

Um die in Abschnitt 2 beschriebenen Nachweisserien durchführen zu können, müssen möglichst realitätsnahe Systeme angelegt werden. Beschrieben werden diese Systeme durch Parameter und Variationsfaktoren, deren mögliche Werte in diesem Abschnitt festgelegt werden. Für jeden Parameter werden ein oder mehrere Werte festgelegt, die derjenige Parameter annehmen kann, sodass aus der Kombination der Parameterwerte unterschiedliche Systeme entstehen können. In Tabelle 10 sind zusammenfassend alle Parameter und die Werte, die sie annehmen können, dargestellt.

Für jedes System muss grundlegend bestimmt werden, ob BSPH oder OSB untersucht wird. Am Ende dieses Abschnitts werden aus den Parametern die zu untersuchenden Systeme zusammengestellt. Zusätzlich zu den Parametern und Variationsfaktoren werden die Materialkosten der beiden untersuchten Holzwerkstoffe diskutiert.

Global unterschieden wird zwischen den Anwendungen der Platten als Deckentragwerk im Geschossbau oder als Dachdeckung. Die beiden Anwendungsgebiete beeinflussen die möglichen Werte, die die Parameter annehmen können, werden allerdings in diesem Abschnitt nicht als eigene Parameter aufgeführt. Durch das Festlegen auf bestimmte Werte der Parameter entscheidet sich, ob das jeweilige System dem Einsatz im Geschossbau oder als Dachdeckung entspricht.




Stützweite	l	Ansteigend um 0,50 m (BSPH) oder 0,25 m (OSB)		
Statisches System	-	Einfeldträger	Zweifeld-	$l/l_1 = 1/1$ 
			träger	$l/l_1 = 1/0,8$ 
				$l/l_1 = 1/0,5$ 
Eigenlast	$g_k$	Abhängig von der Höhe der Holzwerkstoffplatte		
Last des Aufbaus	$g_{k,Aufbau}$	2,5 kN/m <sup>2</sup> (Geschossbau)	1,5 kN/m <sup>2</sup> (Flachdach)	
Verlängerliche Einwirkung	$q_i$	2,3 kN/m <sup>2</sup> (Wohnungen)	1,5 kN/m <sup>2</sup> (Schnee)	
Nutzungs-kategorie	-	NKL 1	NKL 2	
Querschnitts-aufbau (BSPH)	-	3-lagig	5-lagig	$l-w-l-w-l$ $l-l-w-l-l$
Technische Klasse (OSB)	-	OSB/3	OSB/4	allg. bauaufs. Zulassung

Tabelle 10: Zusammenfassung der Parameter mit ihren möglichen Werten

## 6.1 Stützweite

Jedes System enthält nur einen variablen Parameter, der sich im Verlauf der Nachweisserie ändert: Die Stützweite  $l$  des einachsig spannenden statischen Systems. Bei der Stützweite handelt es sich um den Hauptparameter, den Vordimensionierungsformeln der Form „ $l_i / k$ “ als Variable enthalten.

Die Werte der Stützweite werden innerhalb einer Nachweisserie inkrementiert: Bei BSPH um 0,50 m pro Schritt, bei OSB um 0,25 m. Diese Längen entsprechen auch der ersten Stützweite einer Serie. Eine Serie bricht bei derjenigen Stützweite ab, bei der ein Nachweis mit dem maximalen Querschnittsaufbau nicht mehr erfüllt werden kann. Für OSB-Platten sind die Längen einzelner Platten bei Dacheindeckungen auf 2,5 m begrenzt (siehe Abschnitt 3.8). Diese Begrenzung ist nur bei Zweifeldträgern relevant, da Einfeldträger aus OSB diese Stützweite nicht erreichen. BSPH-Träger können theoretisch mit beliebigen Längen hergestellt und verbaut werden (siehe Abschnitt 5.3).

Im Falle eines Zweifeldsystems beschreibt  $l$  die Länge zwischen zwei Auflagern. Liegen unterschiedliche Stützweiten vor, beschreibt  $l$  die längere der beiden und  $l_1$  die kürzere. In dieser Arbeit werden Zweifeldträger mit den folgenden Stützweitenverhältnissen untersucht:  $l_1 = 1,0 * l$ ;  $l_1 = 0,8 * l$ ;  $l_1 = 0,5 * l$ .

## 6.2 Statisches System

Das statische System beeinflusst die Bemessung einer Holzplatte unter Umständen maßgebend. Platten können auf Linienlagern oder punktförmigen Lagern ruhen, gelenkig oder eingespannt gelagert sein. Der Lastabtrag kann in eine oder zwei Richtungen erfolgen. Bei einem Einfeldsystem treten andere Verformungen und Schwingungen auf, als bei durchlaufenden Systemen.

Die in Abschnitt 1 vorgestellten Bemessungsformate sehen einachsig spannende, gelenkig gelagerte Plattenstreifen vor. Dieses statische System entspricht einerseits der gängigen Nachweisführung für Holzwerkstoffplatten. Andererseits spiegelt es gleichzeitig die typische Bauweise im Hochbau mit Holz gut wider.

Holzdecken liegen in der Regel gelenkig auf den darunter befindlichen Wänden. Ein zweiachsiger Lastabtrag ist mit den gewählten Holzwerkstoffen möglich, aber in der Praxis nicht immer gegeben. Vereinfachend wird daher ein eindimensionales statisches System gewählt, das den zweiachsigen Lastabtrag ignoriert. Die Quertragwirkung der Platten wird im Schwingungsnachweis durch den Faktor  $k_{\text{quer}}$  berücksichtigt (siehe Abschnitt 5.3.5).

Die Nachweisserien werden sowohl mit Einfeld- als auch mit Zweifeldsystemen gerechnet. Systeme mit mehr als zwei Feldern sind denkbar, jedoch nicht immer realisierbar. Holzwerkstoffplatten werden in der Regel nicht biegesteif gestoßen, wodurch die Ausmaße der statischen



Systeme begrenzt sind. Die Auswirkungen des Wechsels vom Einfeld- zum Zweifeldsystem lassen Vermutungen über größere Durchlaufträger zu.

### 6.3 Einwirkungen auf das Tragwerk

Das statische System sieht einen Einfeld- oder Zweifeldträger vor, der durch konstante Streckenlasten (bzw. Flächenlasten bezogen auf einen Streifen von einem Meter Breite) belastet wird. Die Größe der Streckenlasten beeinflusst die Schnittgrößen und damit die entstehenden Spannungen im Holz sowie dessen Verformungen und Schwingungen.

Es werden ständige und veränderliche Lasten gemäß DIN EN 1991 angesetzt. Es handelt sich dabei vorerst um charakteristische Werte ( $F_k$ ), die durch Kombinations- und Teilsicherheitsbeiwerte zu Bemessungswerten ( $F_d$ ) werden.

#### 6.3.1 Ständige Lasten

Die in dieser Arbeit angesetzten ständigen Lasten setzen sich zusammen aus der Summe der Eigenlast der Holzwerkstoffplatten sowie der Eigenlast des Geschossdecken- bzw. Dachaufbaus. In den Abschnitten 0 und 0 wurden die Anforderungen an die Aufbauten von Geschossdecken und Dacheindeckungen besprochen. Anhand dieser Anforderungen werden in diesem Abschnitt exemplarische Aufbauten und deren Lasten festgelegt.

Die Eigenlast der Holzwerkstoffplatten  $g_{k,i}$  errechnet sich gemäß Gleichung (30) für einen ein Meter breiten Plattenstreifen. Die Wichten  $\gamma_i$  der Holzwerkstoffe wurden in den Abschnitten 5.3.2 und 5.4.2 besprochen. Für BSPH gilt  $\gamma_{\text{BSPH}} = 5,5 \text{ kN/m}^3$ . Bei OSB hängt die Eigenlast von der technischen Klasse ab: Für OSB/3 und OSB/4 gilt  $\gamma_{\text{OSB}} = 5,5 \text{ kN/m}^3$ , für OSB aus den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen der Hersteller wurde  $\gamma_{\text{OSB,Zul}} = 6,0 \text{ kN/m}^3$  als Mittelwert ausgewählt.

$$g_{k,i} = \gamma_i * h \quad (30)$$

Die exemplarisch gewählten Aufbauten und deren zugehörigen resultierenden Lasten  $g_{k,j}$  lassen sich Tabelle 11 und Tabelle 12 entnehmen. Die Flächenlasten der Werkstoffe sind dem Nationalen Anhang der DIN EN 1991-1-1 entnommen. Die Wichte der Kiesaufschüttung entspricht gemäß [20] dem typischen Wert für Aufschüttungen auf Flachdächern.

Den Fußbodenbelag der Geschossdecke bildet Laminat; als Alternative wären auch Holzparkett, ein Teppichboden oder ähnliches möglich. Darunter befindet sich ein 5 cm hoher, schwimmender Zementestrich, der gemäß Abschnitt 4.1 und 4.2 für die Reduzierung von Trittschall und Schwingungen notwendig ist. Weiterhin sorgt der Estrich dafür, dass der Fußbodenaufbau die Brandschutzanforderungen des Geschossbaus erfüllt (siehe Abschnitt 4.2). Unterhalb des Estrichs liegt eine Polyethylen-Folie, die das Einbringen des Zementestrichs ermöglicht. Die Mineralfaserplatte dient ebenfalls sowohl dem Trittschallschutz als auch dem Brandschutz. Die

Splittschüttung dient zur zusätzlichen Erschwerung der Decke, wodurch eine größere Eigenfrequenz und zusätzlicher Trittschallschutz ermöglicht werden (Abschnitt 4.2). Die dünne Elastomerbitumenbahn schützt die darunter liegende Holzwerkstoffplatte vor dem direkten Kontakt mit der Schüttung.

In [9] wird in Anhang 6 ein vergleichbarer Deckenaufbau und dessen Schallschutzwerte beschrieben. In Kombination mit einer 145 mm hohen BSPH-Platte erzielt dieser Aufbau einen Trittschallschutz  $L'_{n,w}$  von 43 dB und ein Luftschalldämm-Maß  $R'_w$  von 54 dB. Damit sind die in Abschnitt 4.1 beschriebenen Schallschutzrichtwerte für Geschossdecken erreicht.

<b>Geschossdeckenaufbau</b>	<b>Flächenlast</b>		<b>Höhe</b>		<b>result. Flächenlast</b>	
Bodenbelag - Laminat	0,05	[kN/m <sup>2</sup> je cm]	20	[mm]	0,10	kN/m <sup>2</sup>
Zementestrich	0,22	[kN/m <sup>2</sup> je cm]	50	[mm]	1,10	kN/m <sup>2</sup>
PE-Folie	0,02	[kN/m <sup>2</sup> ]	1	[mm]	0,02	kN/m <sup>2</sup>
Mineralfaserplatte	0,02	[kN/m <sup>2</sup> je cm]	40	[mm]	0,08	kN/m <sup>2</sup>
Splittschüttung	0,13	[kN/m <sup>2</sup> je cm]	80	[mm]	1,04	kN/m <sup>2</sup>
Elastomerbitumenbahn	0,04	[kN/m <sup>2</sup> ]	2	[mm]	0,04	kN/m <sup>2</sup>
					<b>2,38</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>

Tabelle 11: Exemplarischer Aufbau der Geschossdecke

Der beispielhafte Dachaufbau enthält als oberste Schicht eine Kiesaufschüttung, welche brandschutztechnisch als „harte Bedachung“ gilt (siehe Abschnitt 3.7), zum Schutz des Dachs vor Wärmeschwankungen dient (siehe Abschnitt 3.5) sowie als zusätzliche Erschwerung, um ein Abheben des Dachs durch Windsog zu vermeiden. Die darunter liegende zweilagige Bitumenbahn dient als Unterlage für die Kiesaufschüttung und gilt ebenfalls als „harte Bedachung“. Weiterhin erfüllt sie die Funktion der für Flachdächer notwendigen Abdichtung (siehe Abschnitt 3.3). Bitumenbahnen zeichnen sich durch ihre Robustheit gegenüber mechanischen Einwirkungen aus, wie zum Beispiel Hagelschlag. Die Dämmschicht besteht aus Mineralwolle, die den in Abschnitt 3.5 beschriebenen U-Wert sicherstellt. Mit der Dämmschicht lässt sich mithilfe von Gefälledämmung die für Flachdächer notwendige Neigung erzielen. Zuletzt liegt auf der Holzwerkstoffplatte eine Dampfsperre, die das Eindiffundieren von Wasserdampf in das Tragwerk und das Gebäude verhindert.

Aufbau auf der Dacheindeckung	Flächenlast		Höhe		result. Flächenlast	
Kiesaufschüttung	0,20	[kN/m <sup>2</sup> je cm]	50	[mm]	1,00	kN/m <sup>2</sup>
Bitumenbahn (zweilagig)	0,04	[kN/m <sup>2</sup> je Bahn]	4	[mm]	0,08	kN/m <sup>2</sup>
Wärmedämmung - Mineralwolle	0,02	[kN/m <sup>2</sup> je cm]	210	[mm]	0,42	kN/m <sup>2</sup>
Dampfsperre	0,07	[kN/m <sup>2</sup> ]	1	[mm]	0,07	kN/m <sup>2</sup>
					<b>1,57</b>	kN/m <sup>2</sup>

Tabelle 12: Exemplarischer Aufbau auf der Dacheindeckung

Für den Geschossdeckenaufbau wird für die Nachweise auf der sicheren Seite liegend die Flächenlast  $g_{k,Gaufbau} = 2,50 \text{ kN/m}^2$  angenommen. Eine unter Umständen notwendige brandschutztechnische Maßnahme unterhalb der Decke, wie sie bei drei-lagigem BSPH und OSB abzusehen ist, ist mit der leicht höheren Lastannahme bereits teilweise berücksichtigt.

Da Flachdächer häufig auch geringer gedämmt, bzw. ungedämmt ausgeführt werden (z. B. im Hallenbau), wird für den Flachdachaufbau eine leicht reduzierte Flächenlast  $g_{k,Daufbau}$  von  $1,50 \text{ kN/m}^2$  angenommen. Auch gemäß [18] entspricht dies der Last eines „mittel“-schweren Dachs mit Kiesschüttung.

Der gewählte Geschossdecken- und Dachaufbau hat nur über seine jeweilige Eigenlast einen Einfluss auf die Ergebnisse der Nachweiserien. Lediglich die Höhe und der E-Modul des Estrichs spielen für die statischen Nachweise der Geschossdecke eine Rolle und werden in den Schwingungs- und Steifigkeitsnachweisen benötigt.

### 6.3.2 Veränderliche Lasten

Die veränderlichen Lasten, die auf die Geschossdecke und die Dacheindeckung einwirken, werden DIN EN 1991-1-1 und DIN EN 1991-1-3 (und jeweils zugehörigem NA) entnommen. Für die Geschossdecke werden Nutzlasten für Hochbauten angesetzt. Für das Dach wird eine Schneelast angenommen.

Die auf die Geschossdecke angesetzte Flächenlast  $q_k = 2,3 \text{ kN/m}^2$  entspricht Kategorie A2 aus DIN EN 1991-1-1/NA für Wohn- und Aufenthaltsräume mit ausreichender Querverteilung der Lasten. Die Querverteilung ist durch das zweiachsige Tragverhalten beider untersuchter Holzwerkstoffplatten gegeben. In  $q_k$  enthalten ist ein Trennwandzuschlag von  $0,8 \text{ kN/m}^2$  für Wände mit einer Last von weniger als  $3 \text{ kN}$  pro Meter Wandlänge. Da BSPH und OSB hauptsächlich im Wohngeschossbau zum Einsatz kommen, wurden Büroflächen und Verkaufsräume in dieser Arbeit nicht untersucht. Durch die höheren Nutzlasten in diesen Einsatzgebieten ist dort mit geringeren Stützweiten bzw. höheren Tragschichten zu rechnen. Die Nutzlasten aus Wohn- und Aufenthaltsräumen müssen beim Zweifeldträger feldweise angesetzt werden, um ein maximales Feldmoment zu errechnen.

Nutzlasten für ungenutzte Dächer (DIN EN 1991-1-1/NA, Kategorie H, bei einer Dachneigung von weniger als  $20^\circ$ ) sind mit einer Einzellast  $Q_k = 1 \text{ kN}$  in Feldmitte oder einer Flächenlast  $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$  anzusetzen. Da eine Überlagerung dieser Nutzlasten mit Schneelasten nicht erforderlich ist und dieser Lastfall daher nicht maßgebend wird, wird er hier nicht untersucht.

Schnee stellt für ein ungenutztes, flaches Dach in der Regel die maßgebende veränderliche Einwirkung dar. Die charakteristische Schneelast  $s$  für vorübergehende Bemessungssituationen errechnet sich gemäß DIN EN 1991-1-3/NA:2010-12 mit Gleichung (31). Der Formbeiwert  $\mu_1$  liegt für Flachdächer bei 0,8. Die Umgebungskoeffizienten  $C_e$  und  $C_k$  werden gemäß NA mit 1,0 angesetzt. Der charakteristische Wert der Schneelast  $s_k$  ist für ein beispielhaftes Gebäude in Hamburg mit  $0,85 \text{ kN/m}^2$  zu wählen. In anderen Regionen kann die Schneelast Werte von über  $1,10 \text{ kN/m}^2$  annehmen. Im Norddeutschen Tiefland ist gemäß NA ein außergewöhnlicher Schneelastfall zu berücksichtigen, der allerdings beim Flachdach für die Nachweise im GzG nicht maßgebend wird. Um eine auf der sicheren Seite liegende, pauschale Aussage über die mittleren Schneelasten auf einem Flachdach treffen und die Einwirkungen von Wind vernachlässigen zu können (siehe unten), wird in dieser Arbeit eine Schneelast  $s = 1,5 \text{ kN/m}^2$  angesetzt. Mit dieser erhöhten Schneelast wird zusätzlich eventuell auftretenden Verwehungen und Schneeanhäufungen an Attiken Rechnung getragen, die sonst genauer zu untersuchen sind. Die Flächenlast des Schnees wird beim Zweifeldträger durchlaufend und nicht feldweise angesetzt.

$$s = \mu_1 * C_e * C_t * s_k \quad (31)$$

Es stellt sich beim Berechnen der Nachweiserien heraus, dass selbst die konservativ angenommene Schneelast  $s = 1,5 \text{ kN/m}^2$  für Dacheindeckungen im GzG nicht maßgebend wird: Der maßgebende Nachweis ist derjenige der Enddurchbiegung unter quasi-ständigen Lasten, bei dem Schnee durch seinen Kombinationsbeiwert  $\psi_{2,\text{Schnee}} = 0,0$  entfällt.

Theoretisch sind für Dacheindeckungen die Lasteinwirkungen aus Windsog, Winddruck und Windreibung zu untersuchen. Für die Vordimensionierung der Plattentragwerke kann lediglich Winddruck maßgebend werden, da dieser additiv zur Haupteinwirkung des Schnees wirkt. Eine Lastkombination mit Wind als Haupteinwirkung hat lediglich einen Einfluss auf die Bemessung der Befestigungen der Holzwerkstoffplatten.

Bei Flachdächern sind die (Außen-)Winddrucklasten gemäß DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 vergleichsweise niedrig: Für ein beispielhaftes Gebäude in Hamburg mit einer Gebäudehöhe von 20 Metern ist der Bemessungswinddruck  $w_e = 0,17 \text{ kN/m}^2$  (siehe Gleichung (32)). Zusätzlich muss Wind mit der maßgebenden Einwirkung Schneelast kombiniert werden. Durch den Kombinationswert  $\psi_{0,\text{Wind}} = 0,6$  (im GzT) reduziert sich der Bemessungsaußendruck weiter auf  $0,10 \text{ kN/m}^2$ . Bei Nachweisen im GzG entfallen „weitere unabhängige“ Einwirkungen in der häufigen und quasi-ständigen Kombination komplett ( $\psi_{2,\text{Wind}} = 0,0$ ). Durch die konservativ

angesetzte Schneelast wird der geringe Einfluss des Winddrucks ausreichend berücksichtigt (und entfällt damit – auf der sicheren Seite liegend – im GzG nicht in allen Nachweisen).

$$w_e = 1,7 * q_b * \left(\frac{z}{10}\right)^{0,37} * c_{pe} * \gamma_q = 0,17 \text{ kN/m}^2 \quad (32)$$

Innendruck des Windes ist anzusetzen, sofern durchlässige Wände vorliegen. Laut [18] dürfen im Geschossbau Fenster und Türen im GzT als geschlossen angesehen werden. Der „Lastfall mit geöffneten Fenstern oder Türen [...] gilt als außergewöhnliche Bemessungssituation“, die insbesondere bei Gebäuden mit großen Innenwandflächen zu überprüfen sei. Im Wohngeschossbau ist Innendruck in der Grundkombination dementsprechend nicht anzusetzen. Im Hallenbau ist ein negativer Windinnendruck gegebenenfalls anzusetzen (für den oben genannten Fall beträgt der minimale Windinnendruck  $w_i = -0,18 \text{ kN/m}^2$  in der Kombination mit Schnee). In der vorliegenden Arbeit wurde Windinnendruck nicht angesetzt, auch aufgrund der ungünstig angenommenen Schneelast.

Windsog wird insofern berücksichtigt, als dass im Dachaufbau eine Kiesschüttung vorgesehen ist, die durch ihre zusätzliche Last ein Abheben des Dachtragwerks verhindert. Darüber hinaus müssen die Auflager des Flachdachs derart bemessen und konstruiert werden, dass sie abhebbende Lasten aufnehmen können. Besonders an den Dachrändern und den Gebäudeecken ist Windsog zu berücksichtigen.

Windreibung spielt für die Vordimensionierung der tragenden Platten keine Rolle; es ist durch konstruktive Maßnahmen sicherzustellen, dass die Dachplatten in horizontale Richtung gehalten sind.

## 6.4 Nutzungsklassen und äußere Anforderungen

Bei Holztragwerken sind die anrechenbaren Baustoffkennwerte vom Einsatzbereich und der Umgebungsfeuchte abhängig. Die Nutzungsklasse gemäß EC 5, siehe Tabelle 13 beeinflusst den Modifikations- und Verformungsbeiwert und schränkt die Einsetzbarkeit der Holzwerkstoffe ein.

NKL	Ausgleichsfeuchte $\omega_{gl}$ [%]	Einsatzbereich (Beispiele)
1	$10 \pm 5$ (meist $\omega < 12\%$ )	Beheizte Innenräume
2	$15 \pm 5$ (meist $\omega < 20\%$ )	Überdachte, offene Tragwerke
3	$18 \pm 6$	Frei der Witterung ausgesetzte Bauteile

Tabelle 13: Nutzungsklassen (NKL)

BSPH und OSB dürfen jeweils nur in den Nutzungsklassen 1 und 2 eingesetzt werden (siehe Abschnitte 5.3.1 und 5.4.1). Bei Geschossdecken im Wohnungsbau können beheizte Innenräume angenommen werden, d.h. NKL 1. Bei Flachdächern hängt die Nutzungsklasse von der Art des

Gebäudes ab: Bei einem Wohnungsbau ist auch hier von NKL 1 auszugehen, speziell auch bei dem hier gewählten Dachaufbau, mit Holzwerkstoffplatten unterhalb der Dämm- und Feuchteschutzschicht. Bei einem Hallenbau oder einer offenen Flachdachkonstruktion liegt in der Regel NKL 2 vor. Für die Systeme, die den Einsatz der Holzwerkstoffe als Dachdeckung simulieren, wurde dementsprechend vorrangig NKL 2 untersucht.

## 6.5 Querschnittsaufbau und technische Klassen

Die Eigenschaften und die Tragfähigkeit von BSPH und OSB hängen nicht nur von ihrer Querschnittshöhe ab. Bei BSPH handelt es sich um einen inhomogenen Werkstoff, dessen Querschnittsaufbau maßgeblich zum Tragverhalten beiträgt. Bei OSB unterscheidet man zwischen technischen Klassen, von denen die Tragfähigkeit beeinflusst wird.

Das in Abschnitt 5.3.3 vorgestellte Nachweisverfahren ist für drei- und fünflagige Platten anwendbar, dementsprechend werden nur Systeme mit dieser Lagenanzahl untersucht. Bei fünflagigen Querschnitten sind unterschiedliche Ausrichtungen der Lagen zulässig. Während die beiden äußeren Lagen im Regelfall in Längsrichtung – d.h. in Haupttragrichtung – zu liegen haben, kann die Ausrichtung der inneren Lagen variieren. Hier werden zwei Fälle untersucht: Eine abwechselnde Ausrichtung der Lagen in Längs- und Querrichtung („l-w-l-w-l“, vom Englischen l = „lengthwise“ und w = „wide“) und ein Aufbau mit vier Lagen in Längsrichtung („l-l-w-l-l“).

Bei OSB kann zwischen den beiden technischen Klassen OSB/3 und OSB/4 ausgewählt werden. Zusätzlich wird ein OSB-Aufbau untersucht, der gängigen allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen (OSB nach a. b. Z.) entspricht und eine größere Tragfähigkeit als OSB/4 aufweist.

## 6.6 Höhe der Holzwerkstoffplatte

Die Höhe der Holzwerkstoffplatte stellt nicht direkt einen Parameter dar, der ein System beschreibt. Sie ist allerdings gewissen Vorgaben unterworfen, welche unter anderem vom Anwendungsgebiet der Platten und damit von anderen Parametern abhängen. Tabelle 14 enthält eine Zusammenfassung der mini- und maximalen Höhen der Platten.

Werkstoff	$h_{\min}$ (pro Lage)	$h_{\max}$ (pro Lage)	$h_{\max}$ Gesamt
BSPH	20 mm	45 mm	500 mm
OSB/3 & OSB/4	6 mm (Geschossb.) 18 mm (Flachdach)	25 mm	-
OSB nach allg. bauaufs. Zulassung	6 mm (Geschossb.) 18 mm (Flachdach)	40 mm	-

Tabelle 14: Mindest- und Maximalhöhen der Holzwerkstoffplatten

Für BSPH ist eine Mindesthöhe der Lagen von 6 mm vorgeschrieben (siehe Abschnitt 5.3). In der Praxis werden derart dünne Lagen von den Herstellern nicht angeboten. Für die Nachweiserien wird von einer Mindesthöhe von 20 mm ausgegangen, was der üblicherweise angebotenen Mindesthöhe bei den BSPH-Herstellern entspricht. Die maximal zulässige Höhe der Einzellagen beträgt 45 mm. Hersteller bieten im Regelfall Lagen bis zu einer Höhe von 40 mm an, 45 mm werden in Einzelfällen jedoch auch angeboten. Die mittlere Lage bei dreilagigem BSPH stellt eine Ausnahme dar: Sie darf bis zu 60 mm hoch sein. Die maximal zulässige Gesamthöhe einer BSPH-Platte beträgt 500 mm. Bei einer fünfplagigen Platte, mit jeweils 45 mm Höhe der Einzellagen, wird eine Gesamthöhe von 225 mm erreicht, sodass der zulässige Grenzwert der Gesamthöhe hier nicht zum Tragen kommt.

Für OSB-Platten gilt bei der Anwendung als Dacheindeckung eine Mindesthöhe von 18 mm (siehe Abschnitt 3.8). Für Geschossdecken ist keine Mindesthöhe vorgegeben, sodass die Mindestwerte gemäß Tabelle 8 angewandt werden können. Die maximale Höhe hängt von der Art des OSB ab: Von DIN EN 300 geregelte Einzelplatten dürfen maximal 25 mm hoch sein, in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sind Platten von bis zu 40 mm Höhe zu finden.

## 6.7 Untersuchte Systeme

Aus den in den vorangegangenen Abschnitten diskutierten Parametern werden Systeme erstellt, mit denen die Nachweiserien durchgeführt werden. Die Systeme lassen sich in vier Kategorien einteilen, die jeweils unterschiedliche Arten von Nachweisen erfordern: BSPH mit Einfeldträger, BSPH mit Zweifeldträger, OSB mit Einfeldträger und OSB mit Zweifeldträger.

In Tabelle 15 bis Tabelle 18 sind alle Systeme dargestellt, die für die Bestimmung der Vordimensionierungsformeln herangezogen werden. Die genannten Systeme bilden eine Vielzahl unterschiedlicher Bemessungssituationen ab, sind aber zugleich auf Kombinationen von Parametern beschränkt, die in realen Bausituationen anzutreffen sind. Es wurden bspw. keine Systeme untersucht, bei denen die erhöhte Aufbaulast von  $2,5 \text{ kN/m}^2$  (entsprechend einer Geschossdecke) mit der Nutzungsklasse 2 (unbeheizt) und einer Schneelast kombiniert wird.

Die Systeme wurden derart gewählt, dass die Auswirkungen einzelner Parameteränderungen erkennbar werden, ohne redundante System zu untersuchen. Beispielhaft hierfür ist, dass die Auswirkung der Variation der Stützweitenverhältnisse beim Zweifeldträger mit BSPH vorrangig für fünfplagige Platten untersucht wurde. Für dreilagige Platten wird dieselbe Auswirkung unterstellt, sodass nur ein einzelnes und es wird nur ein einzelnes System mit der Kombination „dreilagige Platte – Zweifeldträger“ untersucht.

Um einen aussagekräftigeren Eindruck über die Einwirkung der ständigen Last des Aufbaus zu bekommen, wurden auch Systeme mit einer Aufbaulast von nur  $0,3 \text{ kN/m}^2$  untersucht. Es könnte sich dabei bspw. um einen leichten Dachaufbau handeln, wie er bei ungedämmten Flachdächern eingesetzt wird.

	Statisches System	Aufbaulast	Veränderliche Last	NKL	Lagenanzahl	Lagenanordnung
<b>BSPH-1-1</b>	Einfeld	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Wohnraum	1	5	l-w-l-w-l
<b>BSPH-1-2</b>	Einfeld	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Wohnraum	1	5	l-l-w-l-l
<b>BSPH-1-3</b>	Einfeld	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Wohnraum	1	3	l-w-l
<b>BSPH-1-4</b>	Einfeld	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	5	l-w-l-w-l
<b>BSPH-1-5</b>	Einfeld	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	5	l-l-w-l-l
<b>BSPH-1-6</b>	Einfeld	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	3	l-w-l
<b>BSPH-1-7</b>	Einfeld	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	1	5	l-w-l-w-l
<b>BSPH-1-8</b>	Einfeld	0,3 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	5	l-w-l-w-l

Tabelle 15: Untersuchte BSPH-Systeme, Einfeld

	Statisches System	Stützweitenverhältnis	Last d. Aufbau	Veränderliche Last	NKL	Lagenanzahl	Lagenanordnung
<b>BSPH-2-1</b>	Zweifeld	1 / 1	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Wohnraum	1	5	l-w-l-w-l
<b>BSPH-2-2</b>	Zweifeld	1 / 0,8	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Wohnraum	1	5	l-w-l-w-l
<b>BSPH-2-3</b>	Zweifeld	1 / 0,5	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Wohnraum	1	5	l-w-l-w-l
<b>BSPH-2-4</b>	Zweifeld	1 / 1	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	5	l-w-l-w-l
<b>BSPH-2-5</b>	Zweifeld	1 / 0,8	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	5	l-w-l-w-l
<b>BSPH-2-6</b>	Zweifeld	1 / 0,5	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	5	l-w-l-w-l
<b>BSPH-2-7</b>	Zweifeld	1 / 1	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	3	l-w-l
<b>BSPH-2-8</b>	Zweifeld	1 / 1	0,3 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	5	l-w-l-w-l

Tabelle 16: Untersuchte BSPH-Systeme, Zweifeld

	Statisches System	Last d. Aufbau	Veränderliche Last	NKL	Techn. Klasse
<b>OSB-1-1</b>	Einfeld	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Wohnraum	1	3
<b>OSB-1-2</b>	Einfeld	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Wohnraum	1	4
<b>OSB-1-3</b>	Einfeld	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Wohnraum	1	a. b. Z.
<b>OSB-1-4</b>	Einfeld	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	3
<b>OSB-1-5</b>	Einfeld	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	4
<b>OSB-1-6</b>	Einfeld	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	a. b. Z.
<b>OSB-1-7</b>	Einfeld	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	4
<b>OSB-1-8</b>	Einfeld	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	1	3
<b>OSB-1-9</b>	Einfeld	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	1	4
<b>OSB-1-10</b>	Einfeld	0,3 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	3

Tabelle 17: Untersuchte OSB-Systeme, Einfeld

	Statisches System	Stützweitenverhältnis	Last d. Aufbau	Veränderliche Last	NKL	Techn. Klasse
<b>OSB-2-1</b>	Zweifeld	1 / 1	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Wohnraum	1	a. b. Z.
<b>OSB-2-2</b>	Zweifeld	1 / 0,8	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Wohnraum	1	a. b. Z.
<b>OSB-2-3</b>	Zweifeld	1 / 0,5	2,5 kN/m <sup>2</sup>	Wohnraum	1	a. b. Z.
<b>OSB-2-4</b>	Zweifeld	1 / 1	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	a. b. Z.
<b>OSB-2-5</b>	Zweifeld	1 / 0,8	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	a. b. Z.
<b>OSB-2-6</b>	Zweifeld	1 / 0,5	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	a. b. Z.
<b>OSB-2-7</b>	Zweifeld	1 / 1	0,3 kN/m <sup>2</sup>	Schnee	2	a. b. Z.
<b>OSB-2-8</b>	Zweifeld	1 / 1	1,5 kN/m <sup>2</sup>	Wohnraum	1	a. b. Z.

Tabelle 18: Untersuchte OSB-Systeme, Zweifeld



## 6.8 Kosten der Holzwerkstoffe

Da ein Tragwerksentwurf und damit die Vordimensionierung der Bauteile immer auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten geschehen, werden die Kosten der Holzwerkstoffe in dieser Arbeit zur Findung von Vordimensionierungswerkzeugen herangezogen. Mithilfe der üblichen Kosten für verlegtes BSPH und OSB können bei der Auswertung der Ergebnisse in den späteren Abschnitten vergleichende Diagramme erstellt werden, die dazu dienen, für jede Stützweite den finanziell günstigsten Querschnittsaufbau zu ermitteln.

Der relevante Wert zur Ermittlung der Kosten von Holzwerkstoffplatten sind die Kosten pro Quadratmeter. Die Gesamtkosten setzen sich aus Materialkosten und Einbau- und Personalkosten zusammen. Materialkosten lassen sich über Angebote von Herstellern und Vertreibern der Platten ermitteln.

Für OSB-Platten lassen sich zahlreiche Quellen für Kosten der unterschiedlichen Plattenhöhen finden – sofern es sich um Platten der technischen Klasse OSB/3 oder OSB nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung handelt. OSB/4 wird seltener angeboten und scheint zum Teil durch OSB nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung ersetzt zu sein. Hier ist vor allem „OSB 4 TOP“ der Firma Egger Holzwerkstoffe anzutreffen [6].

Die Materialkosten der unterschiedlichen Anbieter und Hersteller von OSB werden typischerweise sowohl als Kosten pro Platte als auch als Kosten pro Quadratmeter angegeben. Sie liegen bei gleicher Höhe der OSB-Platten im Vergleich zwischen Herstellern nahe beieinander. Für die gängigen Plattenhöhen wurde jeweils ein Mittelwert des Quadratmeterkosten errechnet (siehe Anhang, Tabelle 19 und Tabelle 20), auf dessen Grundlage in späteren Abschnitten Vordimensionierungswerkzeuge erstellt werden.

Die Recherche zu Materialkosten von BSPH-Platten stellt sich als schwierig heraus. Dies liegt zum einen daran, dass es weniger Hersteller von BSPH-Platten gibt, als für OSB-Platten. Zum anderen geben die Hersteller die Kostenlisten in der Regel nicht zur Einsicht frei. Lediglich ein Hersteller hat im Zuge der Recherche zu dieser Arbeit eine Kostenliste zur Verfügung gestellt [4]. Eine einzelne Quelle ist weniger aussagekräftig, als bspw. die zahlreichen Kostenlisten, die für OSB-Platten verfügbar sind. Um einen Anhaltspunkt für die Kosten von BSPH-Platten zu haben, ist die einzelne Quelle dennoch nützlich.

Im Fall der vorliegenden Kostenliste der Firma Derix werden die Kosten als Quadrat- und Kubikmeterkosten für die speziellen Querschnitte des Herstellers genannt. Da in dieser Arbeit auch andere BSPH-Querschnitte, als die in der Liste explizit genannten, berechnet werden, müssen die Angaben verallgemeinert werden. Dafür wird jeweils für drei- und fünfflagige Querschnitte eine lineare Regression der Quadratmeterkosten durchgeführt. Ergebnis der Regression sind lineare Funktionen, die die Plattenhöhe mit den Quadratmeterkosten verknüpfen (siehe Gleichungen 33 und 34, errechnet auf der Grundlage von [4]).

$$\text{Quadratmeterkosten}_{5\text{lagig}} = 0,358 * h_{ges} + 19,297 \quad R^2 = 0,99 \quad (33)$$

$$\text{Quadratmeterkosten}_{3\text{lagig}} = 0,354 * h_{ges} + 14,4 \quad R^2 = 0,99 \quad (34)$$

Bei BSPH ist, neben den Materialkosten pro Quadratmeter, die Behandlung der Oberfläche entscheidend für die Gesamtkosten der Platten. Derix nennt für „einseitige Wohnsichtqualität“ pauschale Kostenzulagen pro Quadratmeter. Da hierbei nicht zwischen drei und fünflagigen Platten unterschieden wird, spielen die Zulagen für den Übergang zwischen den Querschnittstypen keine Rolle.

Die Einbau-, Personal- und Gerätekosten für das Verlegen von Holzwerkstoffplatten variieren mitunter stark. Je nachdem, welche Art des Gebäudes betrachtet wird, ob es sich um Einfeld- oder Zweifeldsysteme handelt, wie viele Verbindungsmittel benötigt werden, etc., ergeben sich unterschiedliche Kosten pro Quadratmeter. In dieser Arbeit wird auf zwei Quellen zurückgegriffen, um die Einbaukosten der Holzwerkstoffe zu bestimmen: Die Angaben aus dem Baukostenhandbuch der Firma „Sirados“, in dem Angaben zu Lohn- und Gerätekosten für diverse Bauteile zu finden sind sowie Schätzkosten eines Ingenieurbüros, das häufig mit den beiden Holzwerkstoffen arbeitet. Für OSB und BSPH werden jeweils Mittelwerte der Einbaukosten errechnet, die mit den oben beschriebenen, recherchierten Materialkosten der Werkstoffe addiert werden. Bei OSB-Platten ist die Annahme ungefähr einheitlicher Einbaukosten angemessen, da sich die Platten der beiden betrachteten technischen Klassen in ihrer Handhabung nicht maßgebend voneinander unterscheiden. Für BSPH wurden ebenfalls einheitliche Einbaukosten veranschlagt, da für das Erstellen eines Vordimensionierungswerkzeuges ungefähre Angaben ausreichend sind. Die Berechnung der Material- und Einbaukosten ist Tabelle 21 im Anhang zu entnehmen. Für OSB-Platten wird von Einbaukosten von 14,82 €/m<sup>2</sup> ausgegangen, für BSPH von 24,52 €/m<sup>2</sup>.

## 7 Ergebnisse der Nachweiserien

Für jedes der im vorangegangenen Abschnitt dargestellten Systeme wird eine stützweitenabhängige Nachweiserie durchgeführt. Die Serien werden bei derjenigen Stützweite abgebrochen, bei der einer der notwendigen Nachweise nicht mehr mit dem tragfähigsten (und in der Regel größten) Plattenquerschnitt erfüllt werden kann. Abbildung 12 zeigt die Nachweiserie zu System „BSPH-2-1“: Bei 5,50 m Stützweite kann der Nachweis der Eigenfrequenz nicht mehr erfüllt werden und die Serie wird abgebrochen.

BSPH-2-1	Wohnraum; Zweifeld; 1/1; 2,5kN/m <sup>2</sup> ; NKL = 1; 5-lagig; l-w-l-w-l								
	Querschnitt				GzT		GzG		
	l	h <sub>1</sub> ;h <sub>5</sub>	h <sub>2</sub> ;h <sub>4</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>ges</sub>	$\sigma_{m,d}/f_{m,d}$	$\tau_{v,r,d}/f_{v,r,d}$	w/w <sub>grenz</sub>	f <sub>1</sub>
[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]	[-]	[-]	[Hz]	[mm]
<b>0,50</b>	20	20	20	<b>100</b>	0,01	0,05	0,01	227,48	0,02
<b>1,00</b>	20	20	20	<b>100</b>	0,05	0,09	0,03	68,81	0,04
<b>1,50</b>	20	20	20	<b>100</b>	0,11	0,14	0,08	33,99	0,07
<b>2,00</b>	20	20	20	<b>100</b>	0,19	0,19	0,16	20,21	0,10
<b>2,50</b>	20	20	20	<b>100</b>	0,30	0,23	0,29	13,34	0,15
<b>3,00</b>	20	20	20	<b>100</b>	0,44	0,28	0,47	9,44	0,21
<b>3,50</b>	30	20	20	<b>120</b>	0,38	0,29	0,40	8,69	0,18
<b>4,00</b>	35	20	30	<b>140</b>	0,37	0,29	0,37	8,03	0,16
<b>4,50</b>	40	30	40	<b>180</b>	0,31	0,26	0,28	8,27	0,12
<b>5,00</b>	45	45	35	<b>215</b>	0,29	0,24	0,26	8,01	0,11
<b>5,50</b>	45	45	45	<b>225</b>	0,33	0,26	0,30	7,07	0,12

Abbildung 12: Nachweiserie zu BSPH-2-1

Für jedes der insgesamt 34 Systeme entsteht bei der Durchführung der jeweiligen Nachweiserie eine Zuordnung der Parameter „Stützweite“ und „Querschnittshöhe“. Diese Zuordnung stellt, umgewandelt in ein Diagramm, eine Punkteschar dar. Abbildung 13 zeigt die graphische Darstellung der zu dem System BSPH-2-1 gehörenden Zuordnung „Stützweite – Gesamthöhe“. Über die Ergebnisse zwischen den einzelnen Stützweitesritten – also zwischen den Punkten – gibt die Nachweiserie keine Informationen.

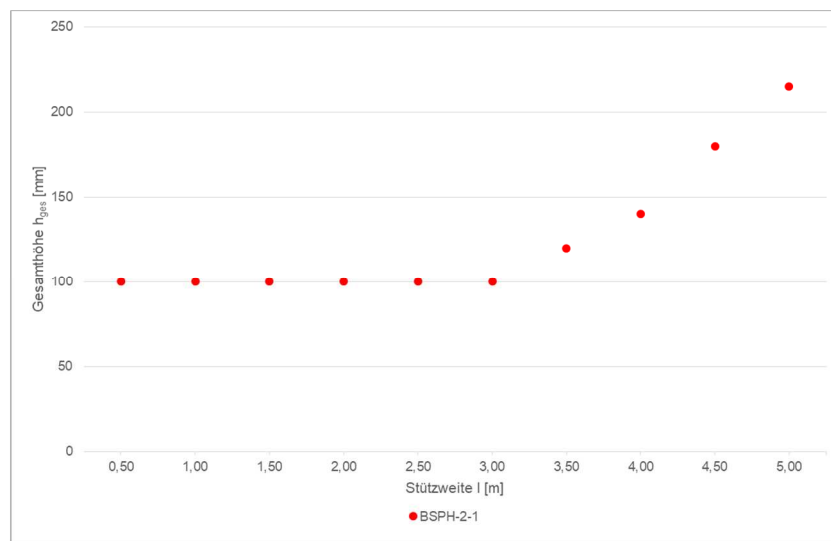


Abbildung 13: Graphische Darstellung der Zuordnung "Stützweite - Gesamthöhe" für BSPH-2-1

Wie in Abschnitt 1.3 beschrieben, können Vordimensionierungswerkzeuge unterschiedliche Formen annehmen. Im Folgenden wird beschrieben, wie mit den Ergebnissen der Nachweisserien zu verfahren ist, sofern eine Vordimensionierungsformel oder ein Diagramm gesucht wird. Eine Vordimensionierungstabelle kann bereits anhand der nun vorliegenden Punktescharen erstellt werden.

Sofern eine Vordimensionierungsfunktion oder ein graphische Darstellung der Funktion erstellt werden sollen, die sich auf beliebige Stützweiten anwenden lässt, sind die oben beschriebenen einzelnen Punkte der Zuordnung „Stützweite – Höhe“ nicht ausreichend. Die Funktion selbst ist nicht bekannt, sondern lediglich Punkte, die die Funktion beschreiben oder an denen sich eine Funktion orientieren könnte.

Bei jeglicher Art der Funktionsfindung anhand einzelner Datenpunkte werden keine neuen Informationen über den Datenzusammenhang gewonnen – in diesem Fall über den Zusammenhang zwischen Stützweite und Bauhöhe. Es handelt sich bei den Graphen und Diagrammen, die Funktionswerte zwischen den Messergebnissen enthalten, um Abschätzungen.

Eine Möglichkeit, die Lücken zwischen den Punkten zu füllen und damit eine Funktion zu erstellen, ist, ein Treppendiagramm anzulegen (Abbildung 14). Den zwischen den bekannten Zuordnungspunkten liegenden Stützweiten werden bei dieser Form des Diagramms jeweils die nächstgrößeren Gesamthöhen der Platte zugeordnet. Diese Art des Treppendiagramms bietet für die Vordimensionierung den Vorteil, dass die Gesamthöhe auf der sicheren Seite liegend gewählt wird.

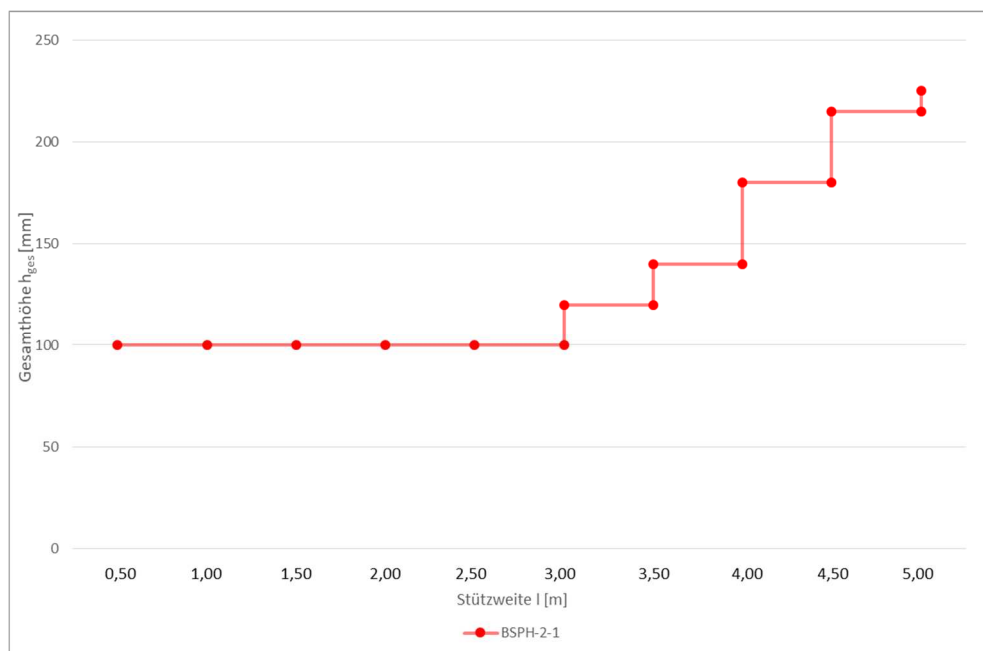


Abbildung 14: Treppendiagramm der Zuordnung „Stützweite – Gesamthöhe“ für BSPH-2-1

Eine weitere Möglichkeit der Funktionsfindung stellt die lineare Interpolation dar (Abbildung 15). Diese liegt, anders als ein Treppendiagramm, nicht zwingend auf der sicheren Seite und nimmt für die Stützweiten zwischen den bekannten Zuordnungspunkten einen „glatten“, linearen Verlauf der Funktion an. Da nicht alle Stützweitenschritte überprüft werden können und da es sich nicht im eigentlichen Sinne um „Messergebnisse“ handelt, ist die vereinfachende Annahme des glatten Verlaufs für die Ergebnisse der Nachweisserien anwendbar. Die lineare Interpolation ist auch deshalb sinnvoll, da es sich bei den Diagrammen nicht um statische Nachweise für bestimmte Stützweiten handelt, sondern lediglich um einen Anhaltspunkt für Architekt\*innen, um eine Platte zu dimensionieren.

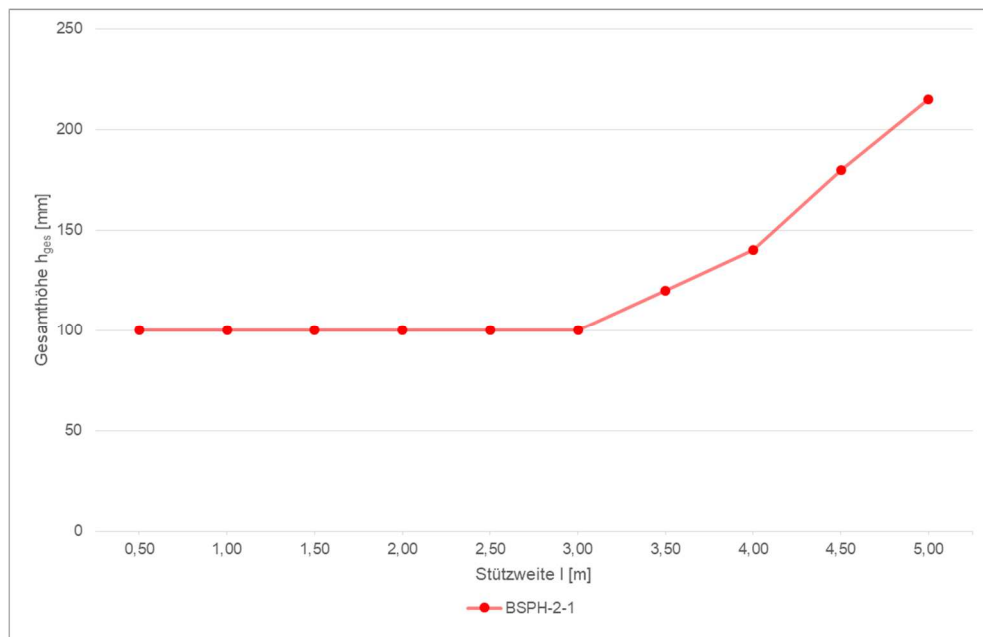


Abbildung 15: Lineare Interpolation zwischen den Ergebnispunkten für BSPH-2-1

Bei den zu ermittelnden Vordimensionierungsformeln handelt es sich um Vereinfachungen der tatsächlichen Zusammenhänge, da eine komplexe Funktion zu Zwecken der Vordimensionierung eher ungeeignet ist. Vorteil einer linearen Interpolation wie oben gezeigt ist, dass sich mit ihrer Hilfe leichter eine allgemeine, lineare Funktion abschätzen lässt, die den gesamten Zusammenhang zwischen Stützweite und Bauhöhe beschreibt. Durch einen oberen Abstand zur linearen Interpolation kann die erstellte lineare Funktion auf der sicheren Seite liegend gewählt werden.

Abbildung 16 zeigt eine mögliche lineare Vordimensionierungsfunktion für das System BSPH-2-1. Dargestellt ist zusätzlich der „Sicherheitsabstand“ zu den in den Nachweisserien ermittelten Werten. Anhand dieser Darstellung wird klar, dass die gesuchte lineare Vordimensionierungsformel nicht für den gesamten, theoretisch möglichen Stützweitenbereich gilt. Im Bereich ab 3,0 m und bis 5,0 m bildet die Funktion den Verlauf des Graphen hinreichend genau ab. Bei der Stützweite 2,0 m kreuzt die Funktion den Graph und liegt bei kleinen Stützweiten deutlich zu niedrig. Es ist daher angebracht, bei derartigen Vordimensionierungsformeln einen Stützweitenbereich anzugeben, für den sie gültig sind – bzw. eine Mindestplattenhöhe. Alternativ ist eine abschnittsweise lineare Vordimensionierungsfunktion denkbar, die die Mindestplattenhöhe enthält. Eine einfache Formel der Form „ $h = l_i / k$ “ kann dabei allerdings nicht angegeben werden.

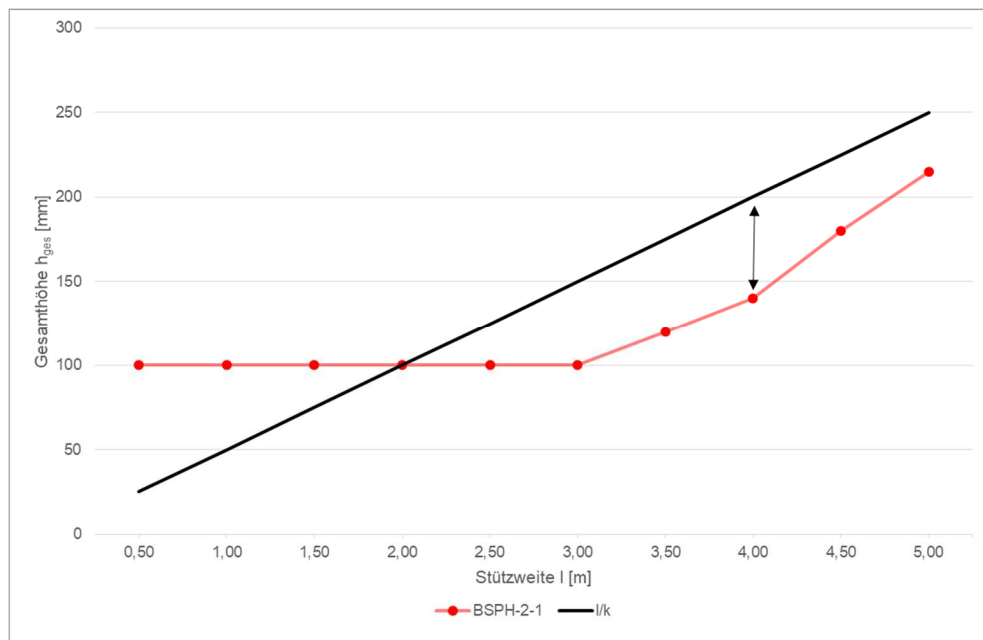


Abbildung 16: Auf der sicheren Seite liegende, lineare Vordimensionierungsfunktion für BSPH-2-1

Mithilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Excel ist es möglich, Polynomfunktionen höheren Grades zu den Ergebnispunkten der Nachweisserien zu errechnen. Diese Funktionen weisen im Fall der vorliegenden Daten zu BSPH ein Bestimmtheitsmaß  $R^2$  von über 0,90 auf (bei einem maximal erreichbaren  $R^2$  von 1,0). Nachteil dieser Polynomfunktionen ist, dass die entstehenden, teils sehr genauen Funktionen nicht unbedingt universell einsetzbar sind. Weiterhin besteht das Problem, dass die errechneten Funktionen nicht „handlich“ sind. So wird z. B. BSPH-2-1 durch den folgenden Polynom zweiten Grades mit einem Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,94$  abgebildet:  $h_{\text{ges}} = 8,21 * l^2 - 20,15 * l + 100,00$  (siehe Abbildung 17). Es gilt also, Funktionen oder Darstellungen zu finden, die mehrere Nachweisserien zusammenfassen und gleichzeitig einfachere mathematische Ausdrücke darstellen. Im Optimalfall wird eine lineare Funktion gesucht, da diese einfacher anwendbar ist, als eine quadratische.

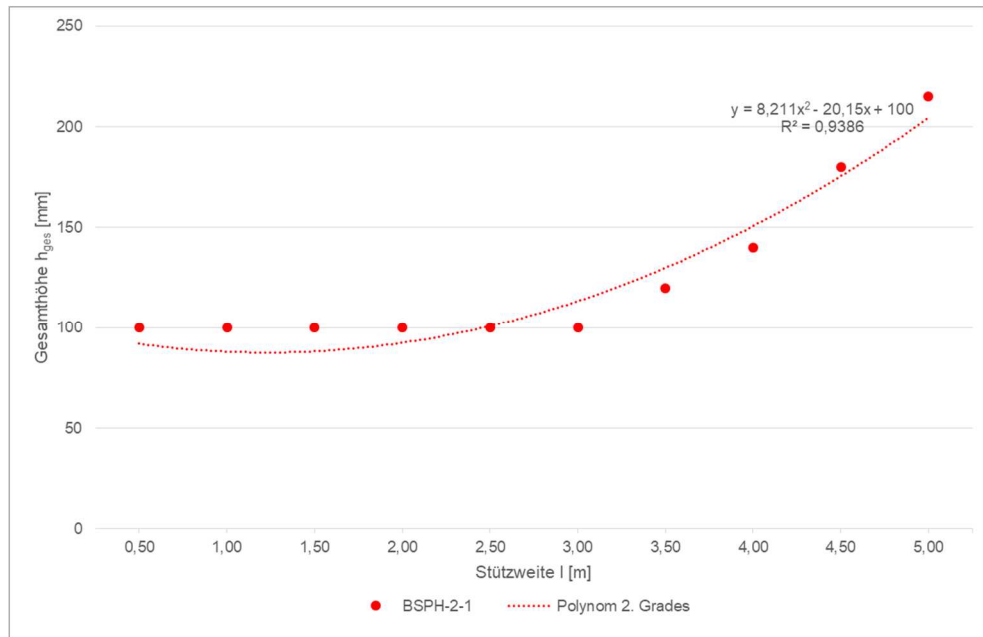


Abbildung 17: Polynom 2. Grades zu der Zuordnung "Stützweite - Gesamthöhe" für BSPH-1-2

Es ist bei Betrachtung der Messergebnisse davon auszugehen, dass sich die Funktionen hinreichend genau durch Polynome ersten oder zweiten Grades beschreiben lassen (d. h. durch lineare oder quadratische Funktionen). Polynome ersten Grades lassen sich anhand von Messergebnissen mithilfe der oben beschriebenen linearen Interpolation abschätzen.

Eine Extrapolation (d. h. das Abschätzen von Punkten einer Funktion, die über die Messwerte hinausgehen) ist nicht notwendig. Nach unten hin ist bei den Vordimensionierungsfunktionen eine Grenze durch die Mindesthöhe der Platten gegeben, bzw. dadurch, dass Stützweiten nicht in den negativen Zahlenbereich übergehen können. Nach oben sind die Funktionen durch die Nichterfüllbarkeit der Nachweise mit den größtmöglichen Querschnitten begrenzt. Größere Stützweiten können nur mit anderen Werkstoffen bzw. einer größeren Anzahl Lagen erzielt werden, welche wiederum andere Vordimensionierungsfunktionen notwendig machen.

Anhand linear interpolierter Verläufe der einzelnen, stützweitenbasierten Nachweisserien lassen sich die Systeme miteinander auf eine anschauliche Art und Weise vergleichen (siehe Abschnitte 7.1 und 7.2).

Bei der Gegenüberstellung einzelner, linear interpolierter Funktionen kristallisieren sich typische Bilder heraus und es sind Ähnlichkeiten in den Verläufen und Stützweitenbereichen zu erkennen. Ähnliche Funktionen können zusammengefasst werden, sofern sie vergleichbaren Anwendungsgebieten entstammen. Für die zusammengefassten Nachweisserien können dann gemeinsame Vordimensionierungsformeln gefunden werden. Es gilt dabei zu beachten, welche Systeme zusammengefasst werden. Es ist beispielsweise nur bedingt zielführend, zwei Systeme zusammen zu fassen, die jeweils eine Geschossdecke und ein Flachdach abbilden. Dies wäre nur

dann sinnvoll, sofern eine generelle Formel für einen Holzwerkstoff gesucht wird. Bei den vorliegenden Daten ist allerdings abzusehen, dass dies nicht möglich oder zumindest eher nicht zielführend ist. Die Unterschiede in den Ergebnissen zwischen Dacheindeckungen und Geschossdecken sind dafür zu signifikant.

Beim Betrachten der Ergebnisse und Ergebnisverläufe der Nachweissereien für den Holzwerkstoff OSB stellt sich heraus, dass eine Abschätzung der Dimensionierungszusammenhänge durch eine lineare Funktion schwierig ist. Bei den OSB-Systemen sind jeweils nur zwischen zwei und sieben Ergebnisse vorhanden, da der Verformungsnachweis mit den gängigen Plattenstärken bereits bei ca. 1,50 m Stützweite kritisch wird. Eine schrittweise lineare Interpolation ist im Allgemeinen nur dann sinnvoll, sofern ein gewisses Mindestmaß an Ergebnispunkten vorhanden ist und sofern ein glatter Verlauf der Funktion abzusehen ist. Zusätzlich zur geringen Anzahl der Ergebnisse pro Serie ist der Verlauf der Zuordnung Stützweite – Plattenhöhe beim Werkstoff OSB teilweise sprunghaft. Dies liegt zum einen begründet in der rigideren, weniger Variation zulassenden Einteilung der Querschnitte (18 mm, 22 mm, 25 mm, etc.). Zum anderen sind bei OSB große Sprünge in der Querschnittshöhe vorzusehen, um ausreichend große Flächenträgheitsmomente zu erzielen: Die Querschnittshöhe wird teilweise durch zwei übereinander liegende Platten verdoppelt, die Tragfähigkeit steigt jedoch nicht im ansonsten zu erwartendem Maß, sondern verdoppelt sich „nur“ (siehe Abschnitt 5.4.4).

Bei OSB-Platten werden von den Herstellern häufig Vordimensionierungstabellen angeboten (vgl. Abbildung 3). In derartigen Tabellen wird zwischen Einfeld- und Zweifeldsystemen sowie unterschiedlichen Einwirkungsklassen differenziert. Abhängig von diesen Parametern bieten die Tabellen für ausgewählte Stützweiten, die oftmals zu den genauen Maßen des jeweiligen Herstellers passen, die passenden Plattenhöhen an. Anhand der in dieser Arbeit durchgeführten Nachweissereien können ähnliche Vordimensionierungstabellen erstellt werden. Dazu sind lediglich die oben aufgezeigten Zuordnungspunkte der Nachweissereien erforderlich, mit deren Werten die Zellen der Tabelle gefüllt werden. Um eine umfassende Vordimensionierungstabelle, wie sie von einem Hersteller angeboten wird, müssten allerdings zuerst weitere Nutzklassenkategorien (bspw. für Büro- oder Aufenthaltsräume) betrachtet werden.

Die folgenden Abschnitte gehen näher auf die Ergebnisse der Nachweissereien ein.



## 7.1 Ergebnisse der Nachweisserien für Brettsperrholz

Abbildung 18 bis Abbildung 21 zeigen die BSPH-Systeme, die zu Gruppen zusammengefasst werden können. Die zusammengefassten Systeme weisen ähnliche Ergebnisverläufe und vergleichbare Bemessungssituationen auf. Im Folgenden werden die zusammengefassten Systeme und deren Ergebnisse kurz beschrieben. Anschließend werden die Auswirkungen einzelner Parameteränderungen untersucht und Vordimensionierungswerkzeuge für BSPH entwickelt.

Gruppe 1: BSPH, Einfeldträger, Wohnraum (Abbildung 18). Es wird eine Stützweite von bis zu 5,0 m erzielt. Bei fünfläufigem BSPH werden die statischen Nachweise ab einer Stützweite von 3,5 m relevant, bis dahin entspricht die Plattenhöhe der Mindestplattenhöhe (gemäß Abschnitt 6.6); bei dreilagigem BSPH ab einer Stützweite von 2,0 m. Der Nachweis der Eigenfrequenz ist maßgebend.

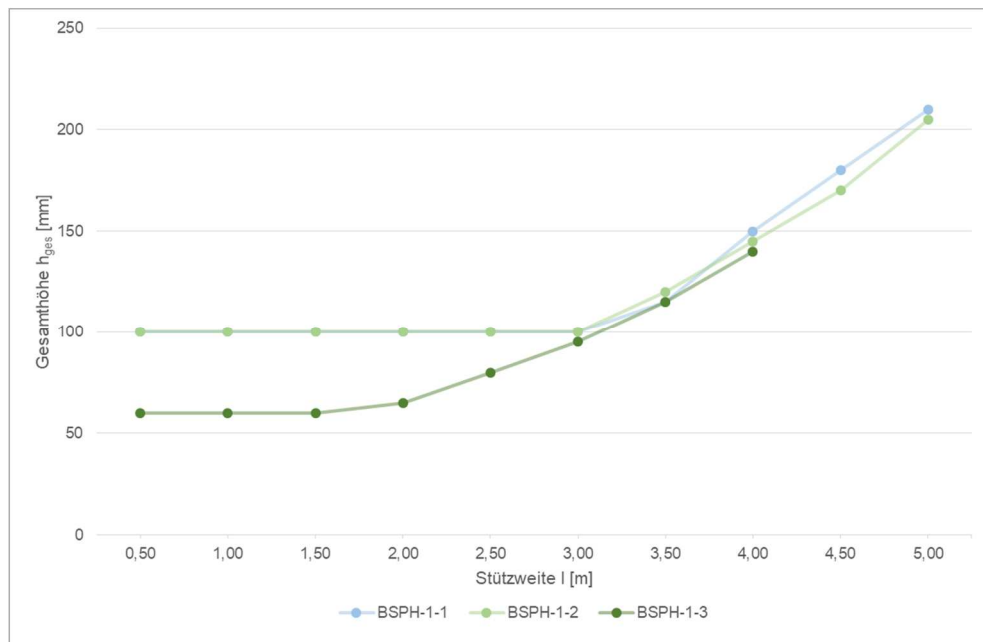


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei BSPH, Einfeldträger, Wohnraum

Gruppe 2: BSPH, Einfeldträger, Dacheindeckung (Abbildung 19). Es wird eine Stützweite von bis zu 7,0 m erzielt. Bei fünfflagigem BSPH werden die statischen Nachweise ab einer Stützweite von 4,0 m relevant; bei dreilagigem BSPH ab einer Stützweite von 2,5 m. Der Nachweis der maximalen Durchbiegung ist maßgebend.

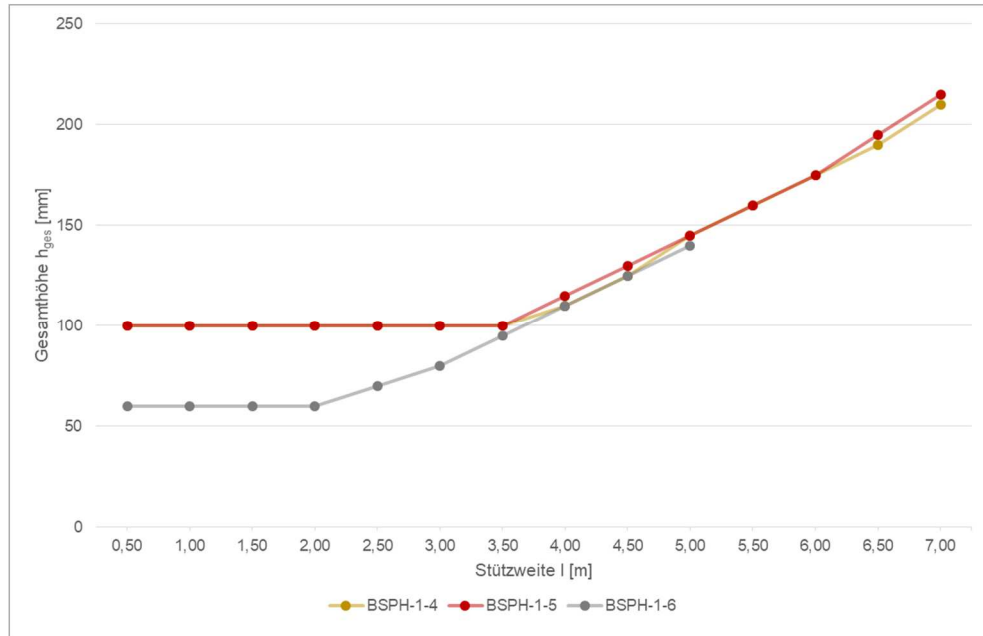


Abbildung 19: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei BSPH, Einfeldträger, Dacheindeckung

Gruppe 3: BSPH, Zweifeldträger, Wohnraum (Abbildung 20). Es wird eine Stützweite von bis zu 5,0 m erzielt. Bei fünfflagigem BSPH werden die statischen Nachweise ab einer Stützweite von 3,5 m relevant. Der Nachweis der Eigenfrequenz ist maßgebend.

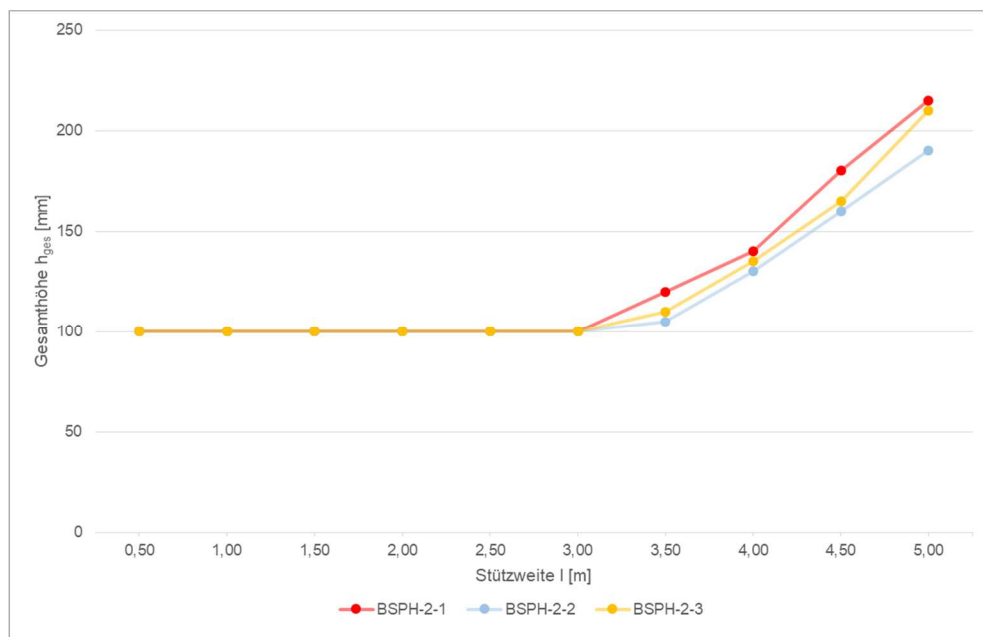


Abbildung 20: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei BSPH, Zweifeldträger, Wohnraum

Gruppe 4: BSPH, Zweifeldträger, Dacheindeckung (Abbildung 21). Es wird eine Stützweite von bis zu 10,0 m erzielt. Bei fünfflagigem BSPH werden die statischen Nachweise ab einer Stützweite von 4,0 m relevant. Der Nachweis der Durchbiegung ist maßgebend.

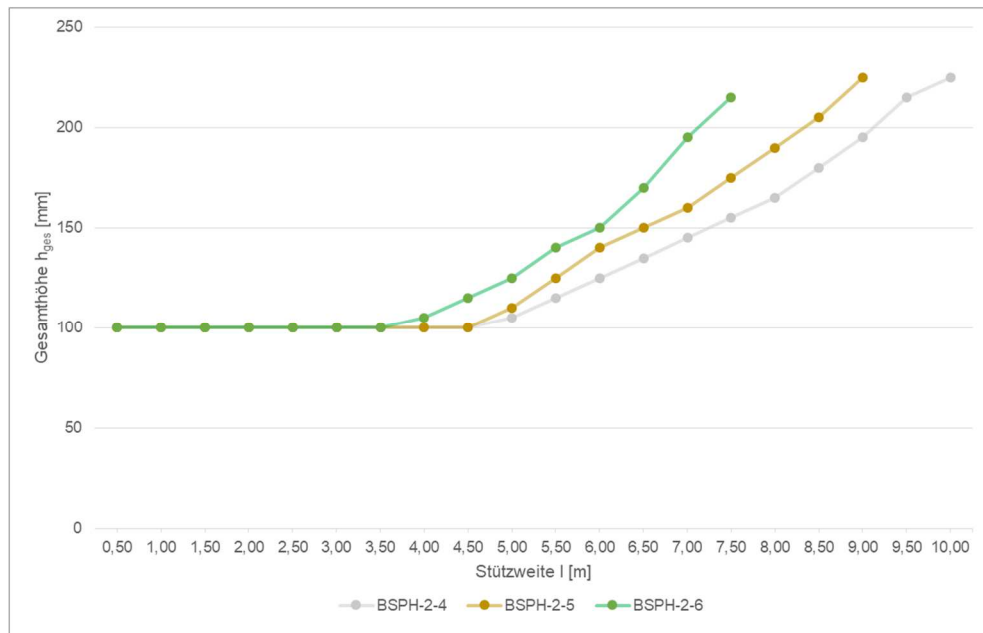


Abbildung 21: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei BSPH, Zweifeldträger, Dacheindeckung

Im Vergleich aller vier Gruppen fällt auf, dass es beim Anwendungsbereich Wohnraum nur einen geringen Unterschied macht, ob ein Einfeld- oder Zweifeldsystem verwendet wird. Die Ergebnisse der Gruppen 1 und 3 fallen daher ähnlich aus. Bei Gruppe 4 wird der Einfluss des statischen Systems auf die Durchbiegung deutlich sichtbar.

Im folgenden Abschnitt wird genauer auf die Auswirkungen der einzelnen Parameter auf die Ergebnisse der Nachweisserien eingegangen.

### 7.1.1 Vergleiche für das Variieren einzelner Parameter

Werden BSPH-Platten als Dacheindeckung eingesetzt, lassen sich deutlich größere Stützweiten als bei Geschossdecken erzielen, bzw. es sind bei gleicher Stützweite kleinere Plattenquerschnitte notwendig (siehe Abbildung 22). Gründe dafür sind zum einen die geringere Last des Deckenaufbaus und die geringere Nutzlast. Zum anderen entfallen bei Dächern der Schwingungsnachweis sowie das Steifigkeitskriterium. Da der Schwingungsnachweis bei Massivholzplatten oft kritisch ist, sind bei Geschossdecken größere Querschnitte notwendig. Die ungünstigere Nutzungsklasse wirkt sich bei Dacheindeckungen zwar negativ aus, fällt jedoch im Vergleich zu den verringerten Lasten und dem Wegfallen des Schwingungsnachweises weniger ins Gewicht. Der Unterschied der Ergebnisse bei den beiden Anwendungsgebieten fällt derart groß aus, dass ein Zusammenfassen zu einer gemeinsamen Vordimensionierungsfunktion nur bei Inkaufnahme großer Ungenauigkeiten möglich ist.

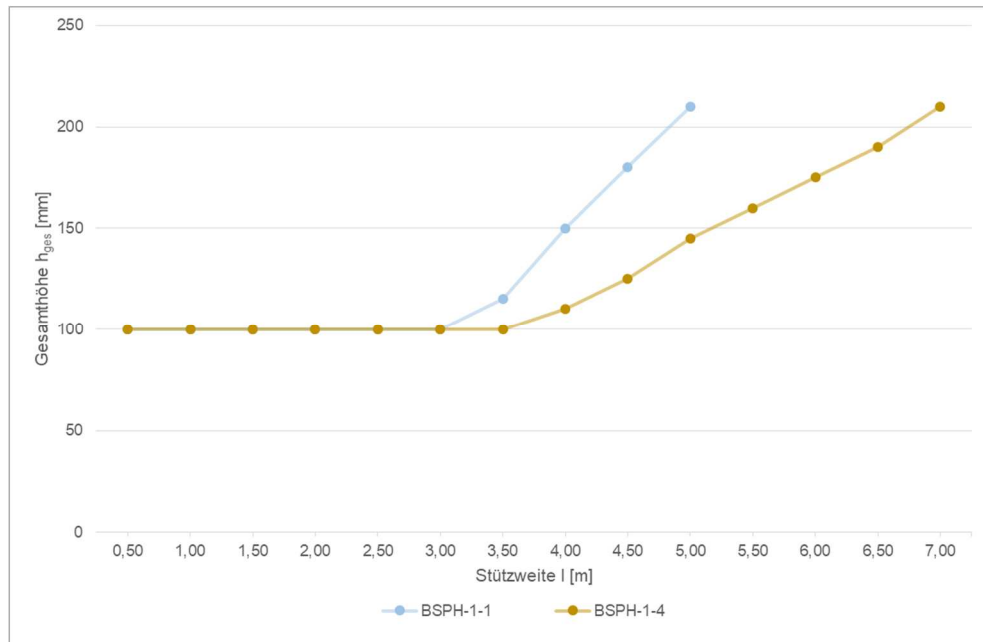


Abbildung 22: Vergleich der Anwendungsgebiete Wohnraum und Dacheindeckung bei BSPH

Die Anzahl der Lagen (drei oder fünf) wirkt sich hauptsächlich auf die Mindesthöhe der Platten und die maximal erreichbare Stützweite aus (siehe Abbildung 18 und Abbildung 19). In dem Stützweitenbereich, in dem die statischen Nachweise noch nicht zum Tragen kommen, weisen dreilagige BSPH-Platten nur eine Höhe von 60 mm auf (im Vergleich zu 100 mm bei fünflagigen). Im Stützweitenbereich ab 3,0 m zeigen beide Varianten den annähernd gleichen Verlauf der Nachweisfunktion. Es ist also möglich, einen Übergangsbereich zwischen drei- und fünflagigen Platten festzulegen. Bis zum Übergangsbereich sind dreilagige Platten anwendbar, anschließend können (bzw. müssen) fünflagige verwendet werden.

Der Unterschied zwischen Platten mit den Querschnittsaufbauten „l-w-l-w-l“ und „l-l-w-l-l“ ist bei dem hier durchgeführten Nachweisverfahren vernachlässigbar klein (siehe Abbildung 18 und Abbildung 19). „l-l-w-l-l“-Systeme weisen zwar ein größeres effektives Flächenträgheitsmoment  $I_{0,ef}$  auf – ca. 1,20-fach im Vergleich zu „l-w-l-w-l“-Systemen. Trotzdem reicht diese erhöhte Tragfähigkeit nicht aus, um bei den rasch ansteigenden Anforderungen im GzG bei größeren Stützweiten einen spürbaren Unterschied zu liefern.

Wie Abbildung 23 deutlich macht, macht die Einordnung in eine günstigere Nutzungsklasse bei Dacheindeckungen nur einen geringen Unterschied für die Vordimensionierung. Es lässt sich zwar eine etwas größere Stützweite erzielen, der Verlauf der Kurven ist jedoch annähernd gleich und NKL 1 ermöglicht nur geringfügig dünnere Platten. Abbildung 23 zeigt zwei Dach-Systeme, da bei einer Anwendung im Wohnbereich immer NKL 1 (beheizt) vorliegt.

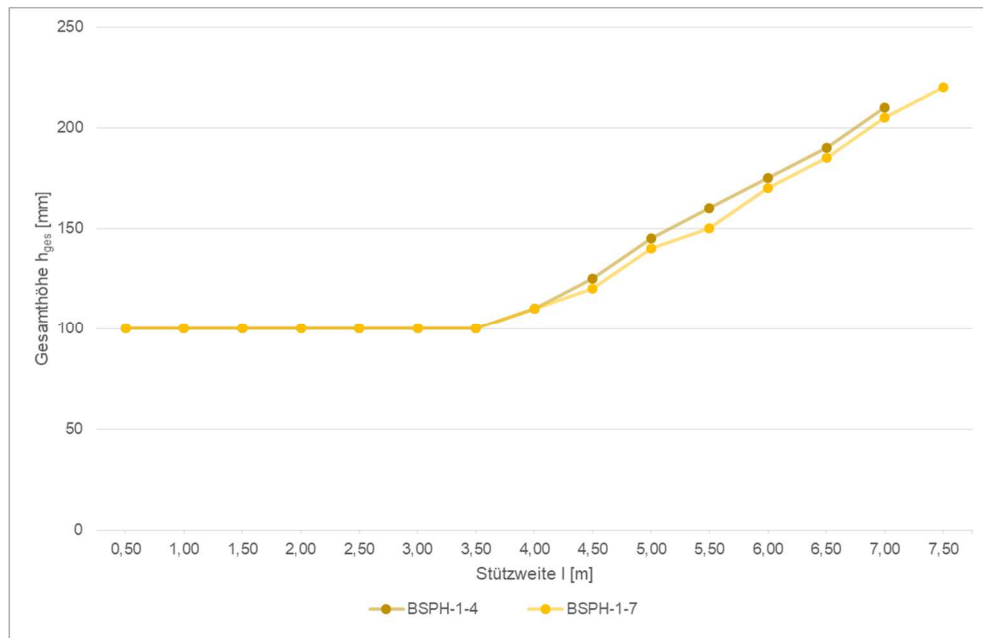


Abbildung 23: Vergleich der Nutzungsklassen 1 und 2 bei BSPH als Dacheindeckung

Die Auswirkungen der Variation des statischen Systems sind bei den beiden Anwendungsgebieten sehr unterschiedlich. Abbildung 24 zeigt diesen Unterschied auf: Die beiden Systeme, die die Anwendung als Geschossdecke repräsentieren (BSPH-1-1 und BSPH-2-1) weisen einen nahezu identischen Verlauf auf. Die beiden Dacheindeckungssysteme unterscheiden sich hingegen deutlich voneinander – das Zweifeldsystem ermöglicht eine ca. 1,5-fach größere Stützweite. Da der Schwingungsnachweis bei Geschossdecken maßgebend ist und dieser durch ein Zweifeldsystem nicht unbedingt positiv beeinflusst wird (vgl. Abschnitt 5.3.5), bringt ein Zweifeldsystem hier nahezu keinen Vorteil. Bei der Dacheindeckung jedoch entfällt der Schwingungsnachweis und die deutlich geringere Verformung äußert sich in größeren möglichen Stützweiten und kleineren Plattenhöhen.

BSPH-Platten für Geschossdecken lassen sich, unabhängig vom statischen System, zusammenfassen, um ein Vordimensionierungswerkzeug zu entwickeln. Bei der Dacheindeckung sollte in der Vordimensionierung auf die Wahl des statischen Systems eingegangen werden.

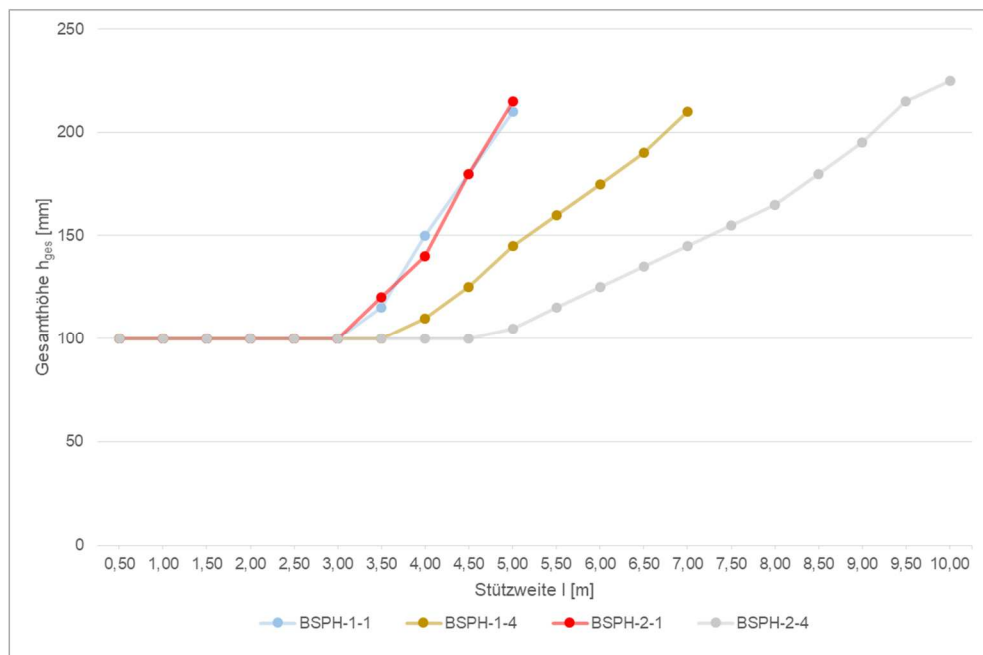


Abbildung 24: Vergleich der statischen Systeme Einfeld und Zweifeld bei BSPH (Wohnraum u. Dacheindeckung)

Aus Abbildung 20 und Abbildung 21 lässt sich der Einfluss unterschiedlicher Stützweitenverhältnisse bei Zweifeldsystemen ablesen. Für Geschossdecken machen Stützweitenverhältnisse zwischen 1/1 und 1/0,5 nur einen geringfügigen Unterschied. Bei einem Verhältnis von 1/0,5 ergibt sich zwar ein günstiger Schwingungsbeiwert  $k_f$ , gleichzeitig hat jedoch die kurze Stützweite des zweiten Feldes deutlich ungünstige Auswirkungen auf das effektive Flächenträgheitsmoment der Platte [22]. Bei Dacheindeckungen sind die Auswirkungen der unterschiedlichen Stützweitenverhältnisse deutlicher. Grund dafür ist neben dem Wegfallen des Schwingungsnachweises, dass die Schneelast nicht einzeln auf die beiden Felder angesetzt werden muss. Am günstigsten ist ein Verhältnis von 1/1, da hierbei die maßgebliche Durchbiegung durch das zweite Feld minimiert wird. Bei einem Verhältnis von 1/1 ist eine ungefähr 20% dünnere Platte zu wählen, als bei einem Verhältnis von 1/0,5. Der Verlauf der Kurve bei einem Verhältnis von 1/0,5 entspricht annähernd dem Verlauf des äquivalenten Einfeldsystems (BSPH-1-4). Bei einem Zweifeldsystem ist dementsprechend mindestens ein Stützweitenverhältnis von 1/0,5 zu wählen, um den positiven Effekt des zusätzlichen Feldes zu erhalten.

Um die Auswirkung einer reduzierten Aufbaulast auf die notwendige Plattenhöhe bei Dacheindeckungen zu ermitteln, wurde ein zusätzliches Dach-System mit einer ständigen Auflast von  $0,3 \text{ kN/m}^2$  angelegt (entspricht gem. [18] einem „leichtem Aufbau“). Durch die um 80% reduzierte Auflast ergibt sich eine um ungefähr 15% verringerte notwendige Plattenhöhe. Nachteil eines derart leichten Dachaufbaus ist, dass der Lastfall Windsog maßgebend werden kann und zusätzliche Maßnahmen gegen Abheben ergriffen werden müssen. Das System mit  $0,3 \text{ kN/m}^2$  Aufbaulast ist daher nur ein am Rande betrachteter Fall.

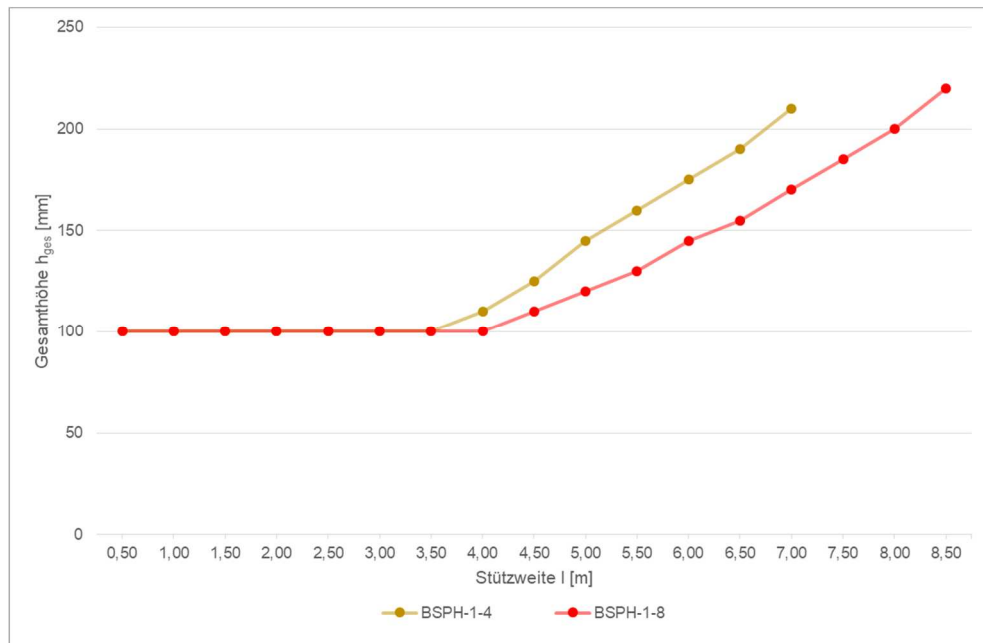


Abbildung 25: Vergleich der Aufbaulasten  $1,5 \text{ kN/m}^2$  und  $0,3 \text{ kN/m}^2$  bei BSPH (Dacheindeckung)

### 7.1.2 Erstellen von Vordimensionierungswerkzeugen

Anhand der in den vorangegangenen Abschnitten vorgestellten Ergebnisse der BSPH-Nachweisserien werden in diesem Abschnitt Vordimensionierungswerkzeuge erstellt.

Mithilfe der gängigen Kosten für verlegtes BSPH (vgl. Abschnitt 6.8) werden Vergleichsdiagramme erstellt, um für jede Stützweite den ökonomisch günstigsten Querschnittsaufbau zu ermitteln (drei- oder fünfflagig). Wie in Abbildung 26 und Abbildung 27 erkennbar wird, ist ein dreilagiger BSPH-Querschnitt – sofern sich die statischen Nachweise mit ihm erfüllen lassen – für jede Stützweite die günstigere Variante. Aus diesen Diagrammen ergibt sich die Stützweite, bei der der Übergang zwischen den Querschnittsarten stattfindet: Sofern es die statischen Nachweise zulassen, sollten dreilagige BSPH-Platten verwendet werden. Dabei gilt zu beachten, dass die Brandschutznachweise bei dreilagigen Platten im Geschossbau nicht allein durch den Holzquerschnitt erfüllt werden können (siehe Abschnitt 5.3.6). Es sind dementsprechend brandschutztechnische Maßnahmen zu ergreifen, die voraussichtlich zu einer Erhöhung der Lasten des Deckenaufbaus führen. Da die Auflasten für Geschossdecken auf der sicheren Seite liegend gewählt wurden, beeinflusst dies die Nachweisserien nicht maßgebend.

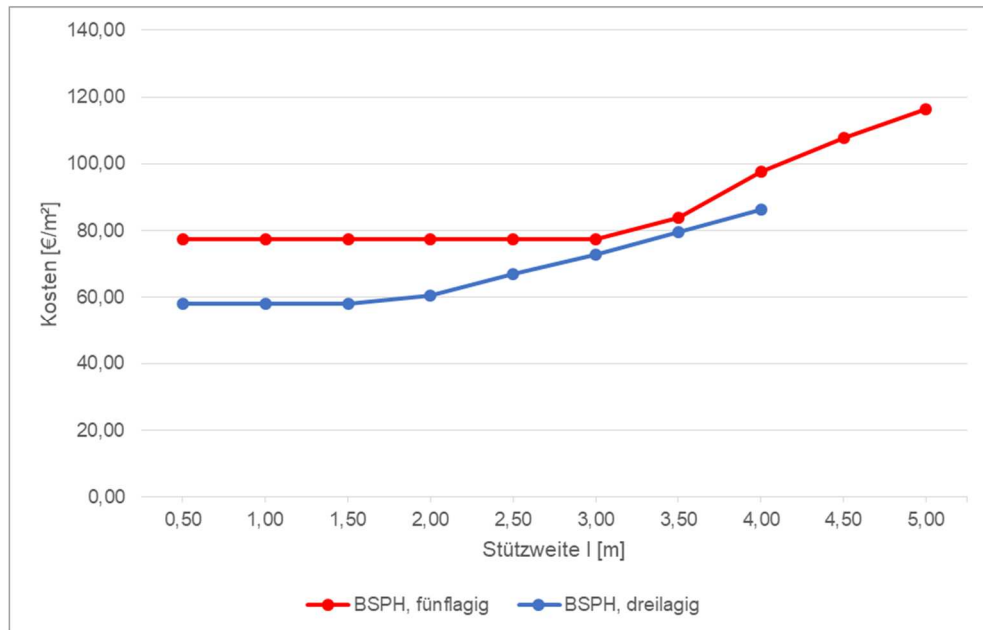


Abbildung 26: Vergleich der Kosten pro Quadratmeter zwischen drei- und fünflagigem BSPH, Geschossdecke

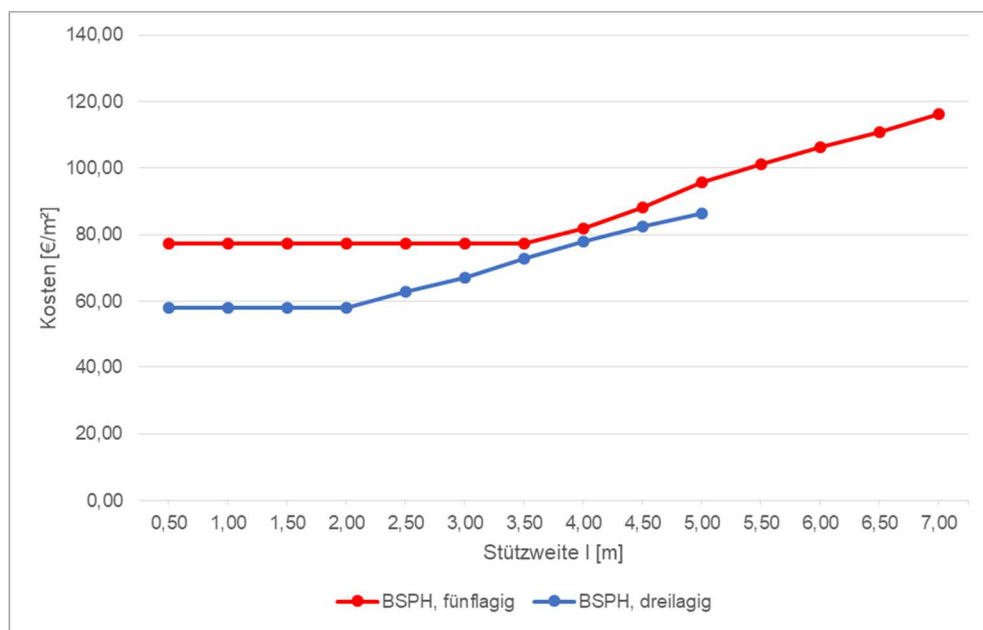


Abbildung 27: Vergleich der Kosten pro Quadratmeter zwischen drei- und fünflagigem BSPH, Dacheindeckung

Aus der Kombination dieser Diagramme mit den im vorangegangenen Abschnitt besprochenen Ergebnissen der Nachweisserien werden im Folgenden Vordimensionierungsdiagramme erstellt. Die Diagramme enthalten zweierlei Informationsebenen: Nach den beiden untersuchten Anwendungsgebieten getrennt ist eine Zuordnung von Stützweite mit einem zu wählenden Querschnittsaufbau und einer Querschnittshöhe dargestellt. Zusätzlich wird eine Vordimensionierungsfunktion festgelegt und im Diagramm dargestellt, zum Beispiel linear in der Form „ $h = l_i / k$ “.



Abbildung 28 zeigt den Vordimensionierungszusammenhang für Geschossdecken sowie eine lineare Funktion. Die Vordimensionierungsfunktion „ $l / 23$ “ gilt für den Stützweitenbereich 2,0 bis 5,0 m. Für kleinere Stützweiten ist die Mindestplattendicke von 60 mm für dreilagige BSPH-Platten zu beachten. Der Querschnittswechsel geschieht bei einer Stützweite von 4,0 m. Die Formel und das Diagramm können für Ein- und Zweifeldsysteme angewandt werden. Es ist bei Geschossdecken ausdrücklich nicht möglich,  $l_1$  mit dem Faktor 0,75 abzumindern (siehe unten, zu Dacheindeckungen).

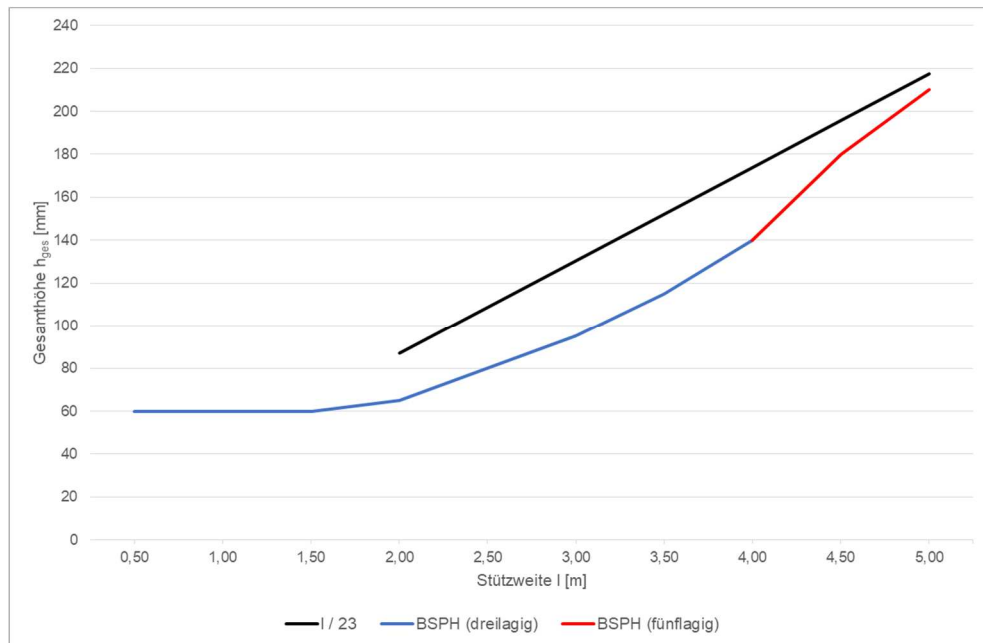


Abbildung 28: Lineare Vordimensionierungsformel, BSPH, Geschossdecke

Da der tatsächliche Zusammenhang zwischen Stützweite und erforderlicher Plattenhöhen bei Geschossdecken nicht linear, sondern eher quadratisch ist, liegt zwischen der linearen Funktion und dem Graphen ein großer „Sicherheitsabstand“. Darauf kann auf unterschiedliche Arten reagiert werden: Man verwendet direkt die Werte aus dem Graph der Nachweisserien, verzichtet dabei jedoch auf eine zusätzliche Sicherheit; oder man verwendet einen abschnittsweise linearen Verlauf der Vordimensionierungsfunktion (Abbildung 29) mit zwei linearen Funktionen für die unterschiedlichen Stützweitenbereiche 2,0 bis 4,0 m und 4,0 bis 5,0 m.

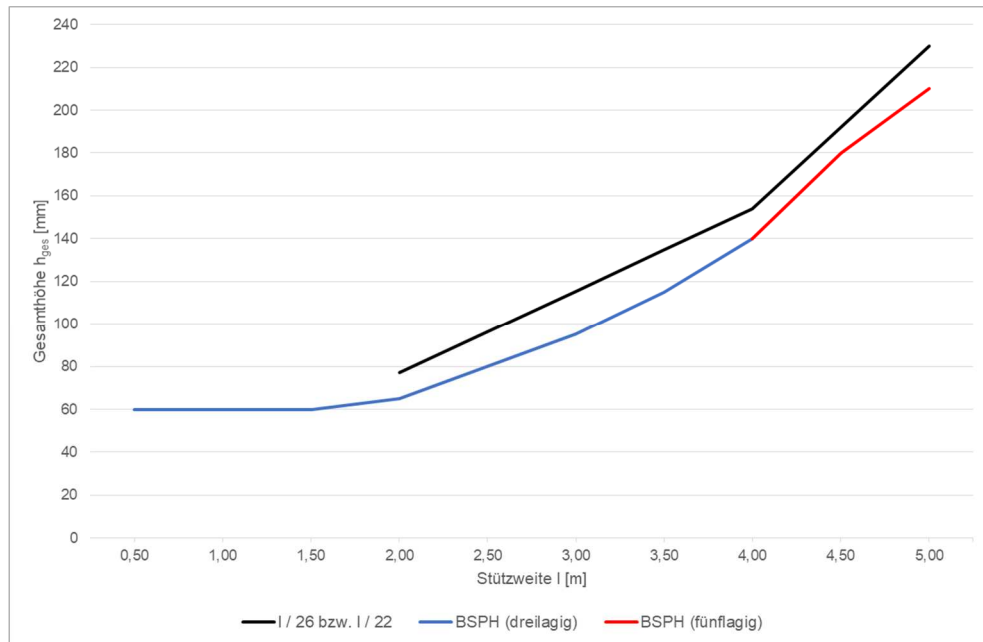


Abbildung 29: Abschnittsweise lineare Vordimensionierungsformel, BSPH, Geschosdecke

Alternativ ist eine quadratische Funktion denkbar, die den Verlauf des Graphen mit größerer Genauigkeit beschreibt (Abbildung 30). Die Funktion  $h_{\text{erf}} = 9 \cdot l^2 - 18 \cdot l + 82$  wurde von einem den Vordimensionierungszusammenhang mit einem Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,98$  beschreibenden Polynom abgeleitet. Der Unterschied zum exakteren Polynom besteht darin, dass die Kurve auf der y-Achse um „15 mm“ nach oben verschoben wurde, um auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse zu liefern. Vorteil dieser quadratischen Funktion ist, dass sie für den gesamten Stützweitenbereich von 0,0 bis 5,0 m einsetzbar ist, also auch die Mindestplattendicke enthält. Nachteil ist ihre „Unhandlichkeit“ im Vergleich zu linearen Funktionen der Form „l / k“.

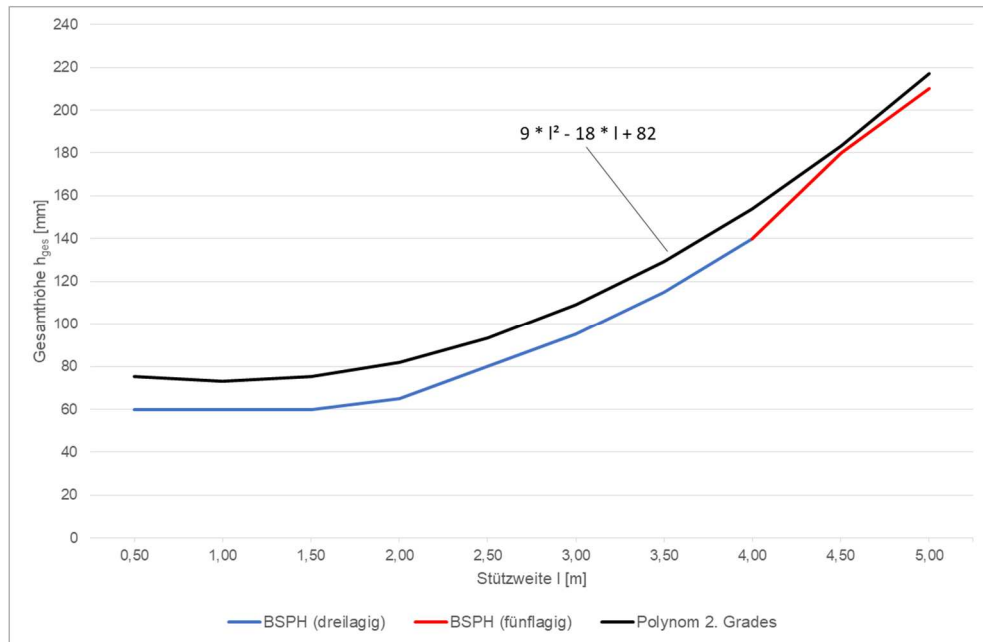


Abbildung 30: Polynom 2. Grades zur Vordimensionierung, BSPH, Geschossdecke

Der Vordimensionierungszusammenhang für Dacheindeckungen lässt sich durch die lineare Funktion  $h_{\text{erf}} = l / 32$  abbilden (Abbildung 31). Die Funktion gilt für den Stützweitenbereich 2,5 bis 5,0 m. Für kleinere Stützweiten ist die Mindestplattendicke von 60 mm für dreilagige BSPH-Platten zu beachten. Der Querschnittswechsel geschieht bei einer Stützweite von 5,0 m. Die Formel gilt für Einfeldsysteme; für Zweifeldsystem darf die Ersatzstützweite um ein Viertel abgemindert werden:  $l_1 = l \cdot 0,75$  (Abbildung 32). Der Stützweitenbereich erweitert sich bei Zweifeldträgern auf bis zu 10,0 m.

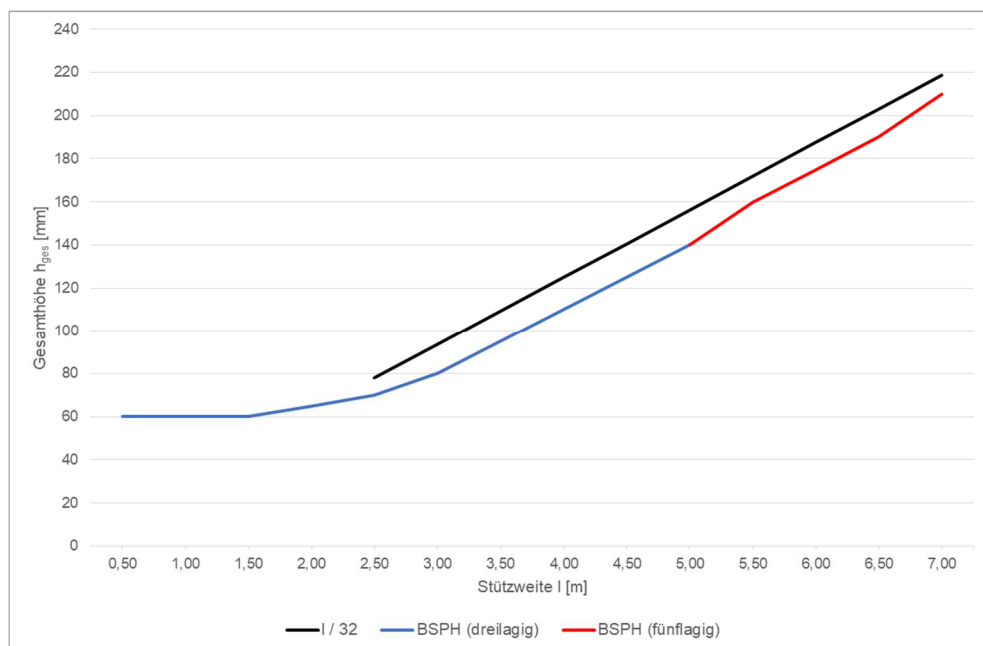


Abbildung 31: Lineare Vordimensionierungsformel, BSPH, Dacheindeckung, Einfeld

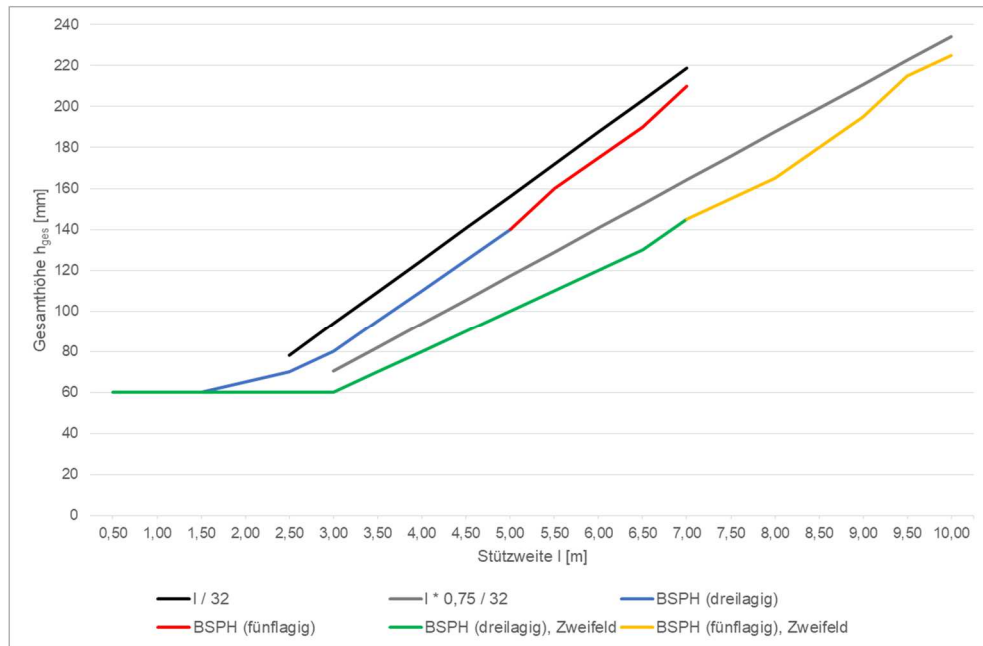


Abbildung 32: Lineare Vordimensionierungsformel inkl. Abminderungsfaktor für Zweifeldsysteme

## 7.2 Ergebnisse der Nachweisserien für OSB

Analog zum vorherigen Abschnitt werden in diesem die zusammengefassten OSB-Systeme und deren Ergebnisse beschrieben sowie mögliche Vordimensionierungswerkzeuge entwickelt. Abbildung 33 bis Abbildung 36 zeigen die OSB-Systeme, die zu Gruppen zusammengefasst werden können. Die zusammengefassten Systeme weisen ähnliche Ergebnisverläufe und vergleichbare Bemessungssituationen auf.

Gruppe 5: OSB, Einfeldträger, Wohnraum (Abbildung 33). Es wird eine Stützweite von bis zu 1,25 m erzielt. Der Verformungsnachweis und das Steifigkeitskriterium sind maßgebend.

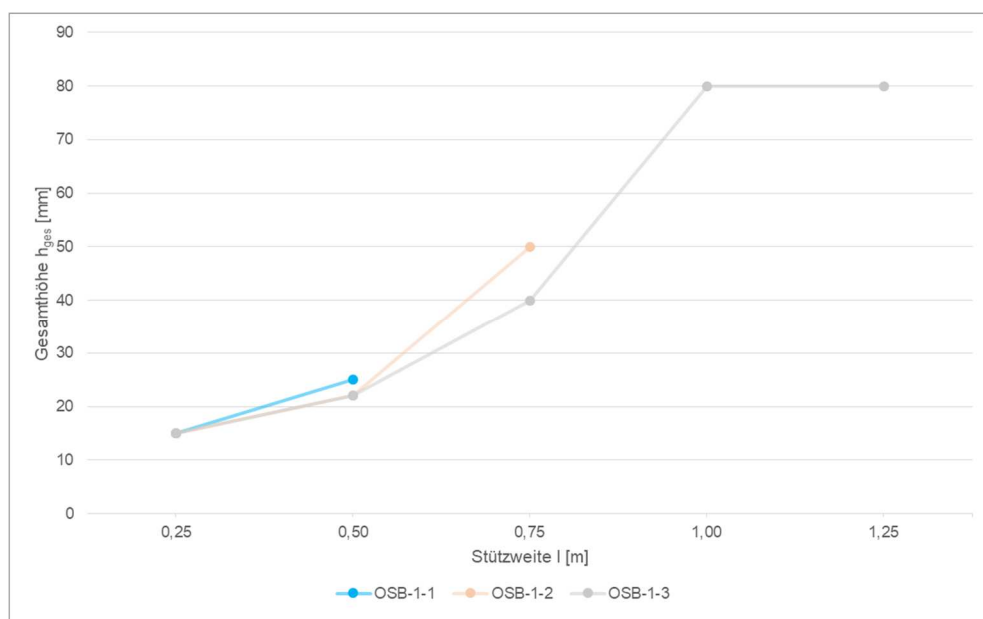


Abbildung 33: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei OSB, Einfeldträger, Wohnraum

Gruppe 6: OSB, Einfeldträger, Dacheindeckung (Abbildung 34). Es wird eine Stützweite von bis zu 1,25 m erzielt. Der Verformungsnachweis ist maßgebend. Bei der kleinsten Stützweite entspricht die Plattenhöhe der Mindestplattenhöhe bei Dächern (gemäß Abschnitt 6.6).

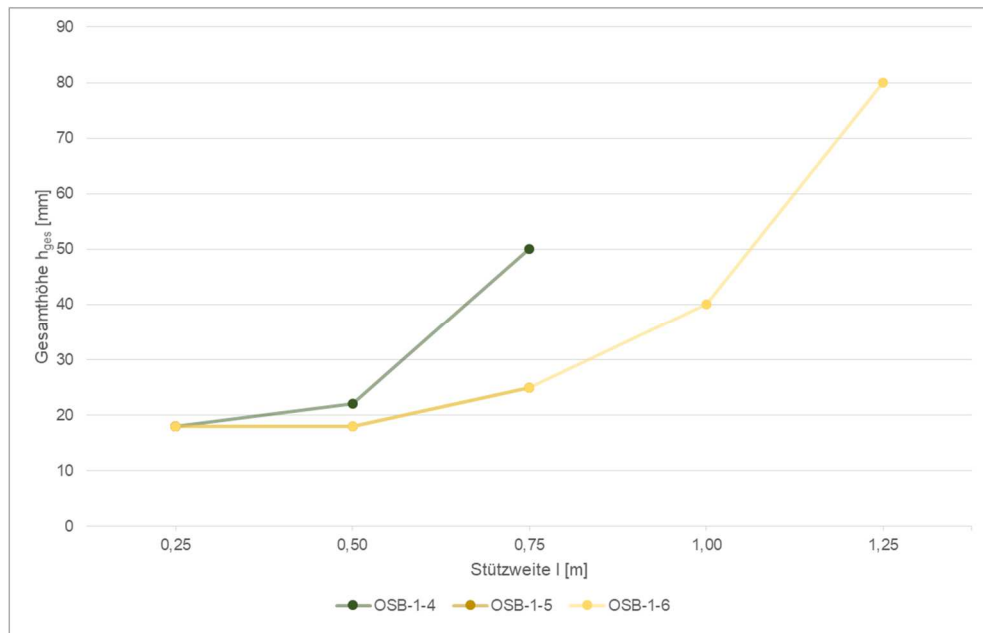


Abbildung 34: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei OSB, Einfeldträger, Dacheindeckung

Gruppe 7: OSB, Zweifeldträger, Wohnraum (Abbildung 35). Es wird eine Stützweite von bis zu 1,25 m erzielt. Der Durchbiegungsnachweis ist maßgebend.

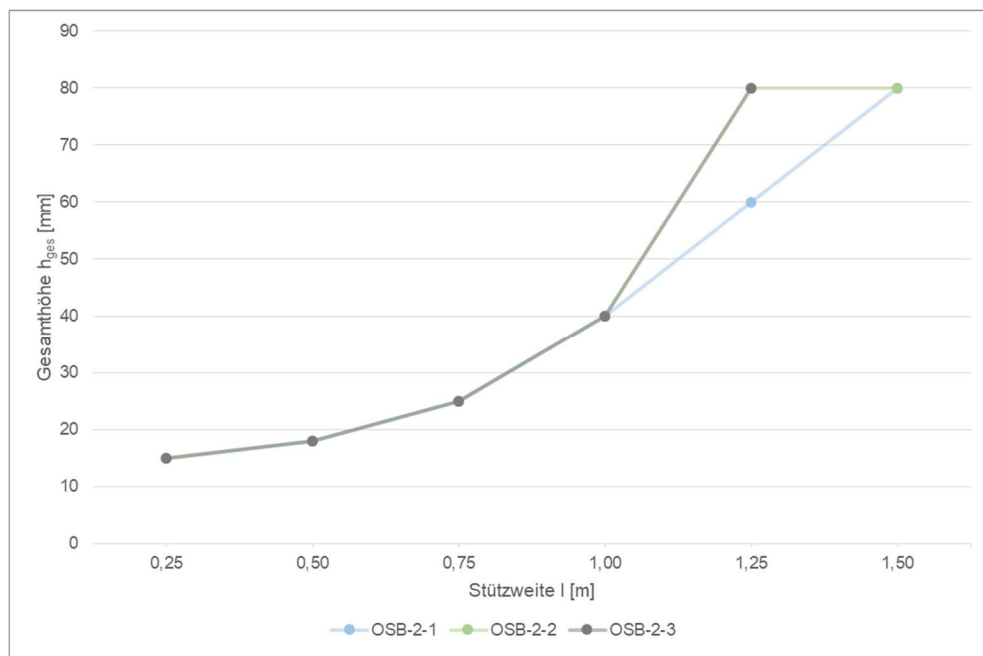


Abbildung 35: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei OSB, Zweifeldträger, Wohnraum

Gruppe 8: OSB, Zweifeldträger, Dacheindeckung (Abbildung 36). Es wird eine Stützweite von bis zu 1,75 m erzielt. Der Durchbiegungsnachweis ist maßgebend. Bei den kleinen Stützweiten bis 0,50 m entspricht die Plattenhöhe der Mindestplattenhöhe bei Flachdächern.

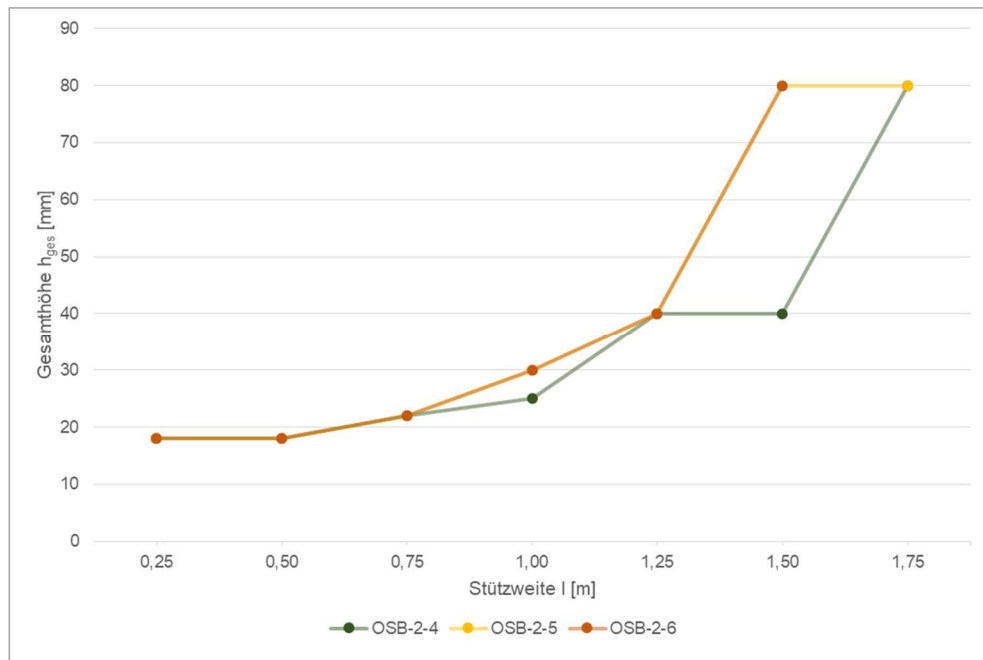


Abbildung 36: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei OSB, Zweifeldträger, Dacheindeckung

### 7.2.1 Vergleiche für das Variieren einzelner Parameter

Der Unterschied zwischen den Nutzungsgebieten Dacheindeckung und Geschossdecke fällt bei OSB-Platten weniger deutlich aus, als bei BSPH. Die maximal erreichbare Stützweite liegt jeweils bei 1,25 m, lediglich die erforderlichen Plattenhöhen sind bei Flachdächern kleiner (siehe Abbildung 37). Die Verformungen bei OSB-Platten steigen ab einer Stützweite von 1,25 m bei Einfeldträgern derart stark, dass die Nachweise aufgrund der begrenzten Plattenhöhen nicht mehr erfüllt werden können.

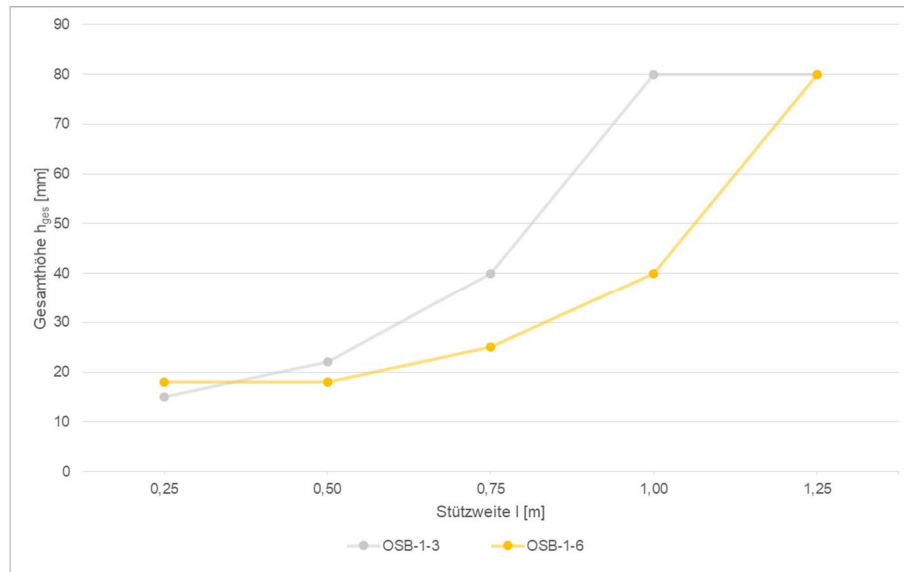


Abbildung 37: Vergleich der Anwendungsgebiete Wohnraum und Dacheindeckung bei OSB

Die Wahl der technischen Klasse hat maßgebliche Auswirkungen auf die Dimensionierung von OSB-Platten (siehe Abbildung 33). Durch bessere Materialkennwerte bei OSB/4 und vor allem OSB nach a. b. Z. steigt die maximal erreichbare Stützweite, während die Plattenhöhe bei kleineren Stützweiten abnimmt. OSB-Platten nach a. b. Z. werden mit größeren Einzelhöhen von bis zu 40 mm hergestellt, was ebenfalls zu verbesserten Querschnittseigenschaften führt.

Das Variieren der Nutzungsklasse macht nur einen geringen Unterschied. Abbildung 38 zeigt die beiden (teilweise übereinander liegenden) Verläufe. NKL 1 ermöglicht eine größere Stützweite. Die Verläufe sind ansonsten identisch. Es kann allgemein festgestellt werden, dass die Nutzungsklasse eine geringere Auswirkung auf die Vordimensionierung hat, als die übrigen Parameter.

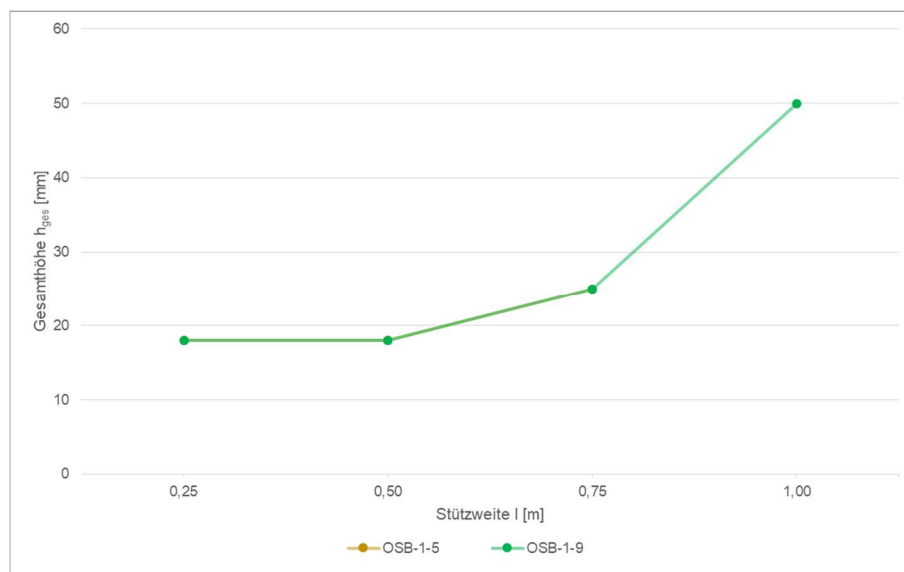


Abbildung 38: Vergleich der Nutzungsklassen 1 und 2 bei OSB (Dacheindeckung)

Bei Systemen mit Wohnnutzung bietet ein Zweifeldsystem Vorteile, was die erforderliche Plattenhöhe anbelangt (Abbildung 39, OSB-1-3 und OSB-2-3). Bei Dacheindeckungssystemen lässt sich mit einem Zweifeldsystem eine größere Stützweite erzielen und die Plattenhöhen sind reduziert (OSB-1-6 und OSB-2-6). Die Auswirkungen der unterschiedlichen statischen Systeme sind unterschiedlich zu denen bei BSPH: Da bei OSB im Geschossbau nicht der Schwingungsnachweis, sondern die Verformung und das Steifigkeitskriterium maßgebend sind, verbessert ein Zweifeldsystem die Nachweise deutlicher.

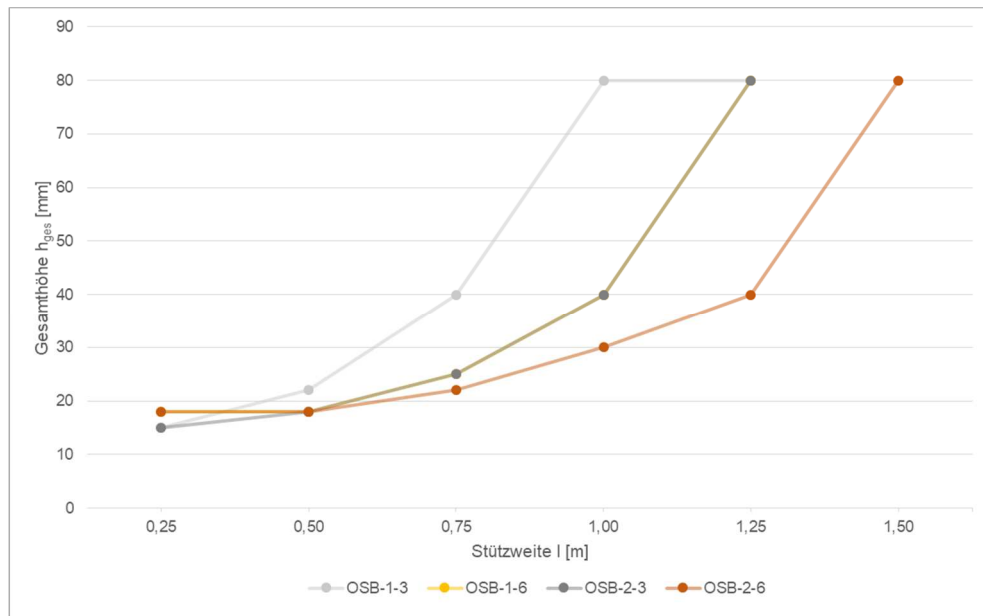


Abbildung 39: Vergleich der statischen Systeme Einfeld und Zweifeld bei OSB (Wohnraum und Dacheindeckung)

Anhand Abbildung 35 und Abbildung 36 kann die Auswirkung unterschiedlicher Stützweitenverhältnisse abgelesen werden. Bei einer Geschossdecke sind die Unterschiede gering: Die Graphen der drei Nachweiserien liegen zum Großteil übereinander. In den genauen Ergebnissen der Nachweise ergeben sich nur geringfügige Differenzen. Durch die großen Sprünge zwischen gängigen OSB-Formaten kommen diese bei der Wahl der Plattenstärken aber nicht zum Ausdruck. Bei den Dacheindeckungssystemen ermöglicht ein gleichmäßiges Stützweitenverhältnis 1/1 die größte Stützweite und niedrigere Platten (Abbildung 36). Ähnlich den Ergebnissen bei BSPH ist auch beim Werkstoff OSB darauf zu achten, bei der Nutzung als Dacheindeckung gleichmäßige Stützweitenverhältnisse zu verwenden, um maximale Stützweiten zu ermöglichen.



Analog zu BSPH wird auch für OSB ein System mit einer reduzierten Aufbaulast von  $0,3 \text{ kN/m}^2$  angelegt, um dessen Auswirkung auf die notwendige Plattenhöhe bei Flachdächern zu ermitteln. In Abbildung 40 ist der Vergleich der Systeme mit regulärem und leichtem Dachaufbau dargestellt. Die reduzierte Auflast sorgt für eine größere maximale Stützweite und eine geringere notwendige Plattenhöhe. Auch hier wird unter Umständen der Lastfall Windsog – in noch stärkerem Maß als bei BSPH – maßgebend, da die tragende Holzplatte ein geringeres Eigengewicht hat.

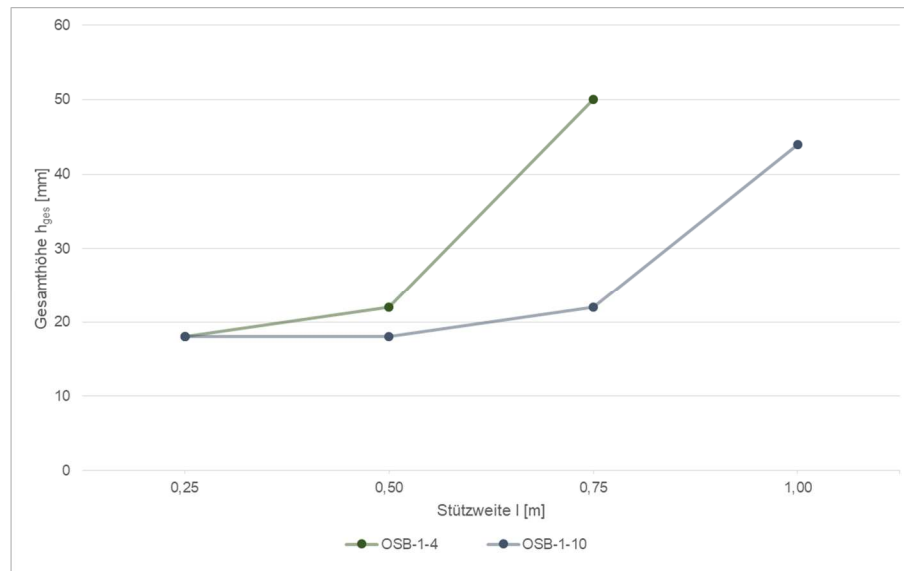


Abbildung 40: Vergleich der Aufbaulasten  $1,5 \text{ kN/m}^2$  und  $0,3 \text{ kN/m}^2$  bei OSB (Dacheindeckung)

Bei der Analyse der Auswirkungen unterschiedlicher Parametervariationen stellt sich heraus, dass die Ergebnisse beim Holzwerkstoff OSB eine Darstellung als zusammenfassende Kurve, bzw. abschnittsweise lineare Funktion, nur begrenzt zulassen. Die abschnittsweise lineare Interpolation, die bei BSPH der Veranschaulichung und Vereinfachung dient, ist bei OSB nicht unbedingt zielführend. Die gängigen OSB-Plattenhöhen verursachen Sprünge in den Ergebnisverläufen, die das Entwickeln einer linearen Vordimensionierungsfunktion erschweren. Wie bereits in diesem Abschnitt beschrieben, ist bei OSB eine Vordimensionierung mithilfe einer Tabelle unter Umständen sinnvoller.

### 7.2.2 Erstellen von Vordimensionierungswerkzeugen

Analog zur Vorgehensweise bei BSPH werden in diesem Abschnitt Vordimensionierungswerkzeuge für OSB aufgezeigt. Die Diagramme der Dimensionierungszusammenhänge basieren auch hier auf Kostenvergleichen (Abbildung 41 und Abbildung 42).

Die Vergleiche der Kosten beider technischer Klassen zeigen, dass bei Geschossdecken OSB/3 zu wählen ist, sofern es die statischen Nachweise zulassen. Bei der Nutzung als Dacheindeckung sollte OSB/3 nur bis zu einer Stützweite von ungefähr 0,50 m eingesetzt werden, da bei größeren Stützweiten OSB nach a. b. Z. günstiger ist.

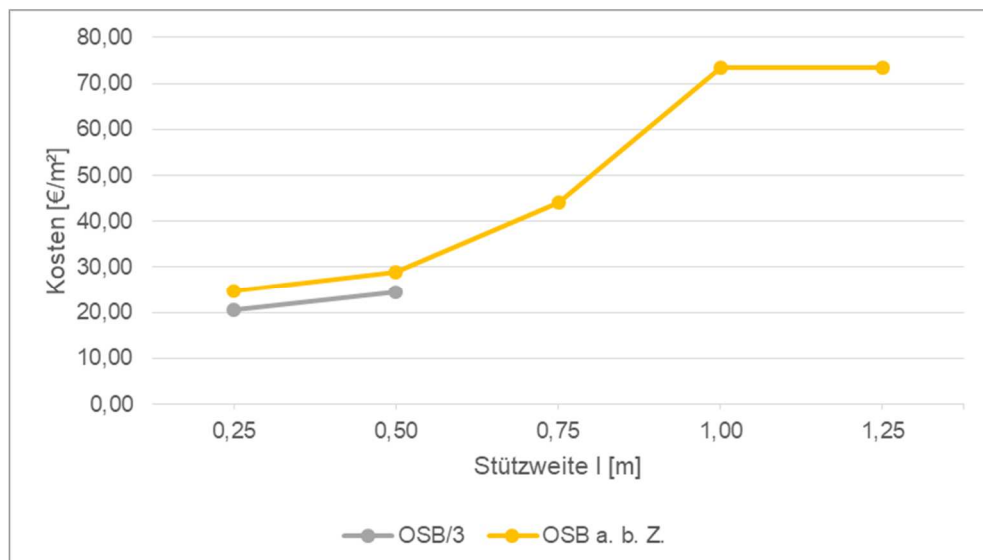


Abbildung 41: Vergleich der Kosten pro Quadratmeter zwischen OSB/3 und OSB nach a. b. Z., Geschossdecke

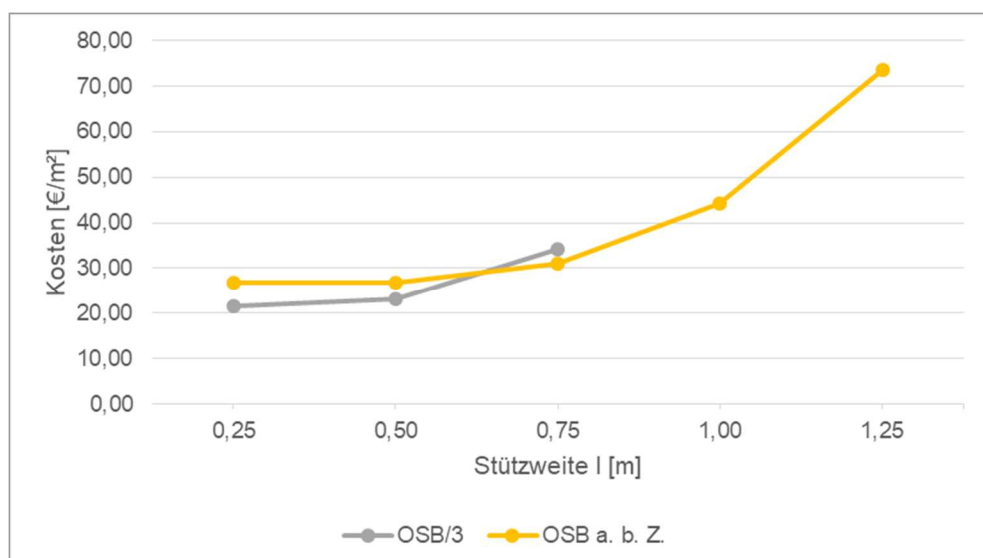


Abbildung 42: Vergleich der Kosten pro Quadratmeter zwischen OSB/3 und OSB nach a. b. Z., Dacheindeckung

Abbildung 43 zeigt den Vordimensionierungszusammenhang für Geschossdecken aus OSB sowie eine lineare Vordimensionierungsfunktion. Die Funktion  $l / 14$  gilt für den Stützweitenbereich 0,00 m bis 1,25 m, die Mindestplattendicke ist statisch nicht relevant. Bis 0,50 m sollte OSB/3 eingesetzt werden, ab dieser Stützweite ist OSB nach a. b. Z. günstiger. Das Diagramm und die lineare Funktion kann auf Ein- und Zweifeldsysteme angewandt werden. Für Zweifeldsystem darf nicht mit 0,7 abgemindert werden. Aufgrund der Sprünge der Querschnittshöhen und der geringen maximalen Stützweite muss die lineare Funktion derart gewählt werden, dass sie bei einer Stützweite von 1,00 m die erforderliche Plattenhöhe leicht unterschätzt. Bei den restlichen Stützweiten liegt die Funktion auf der sicheren Seite.

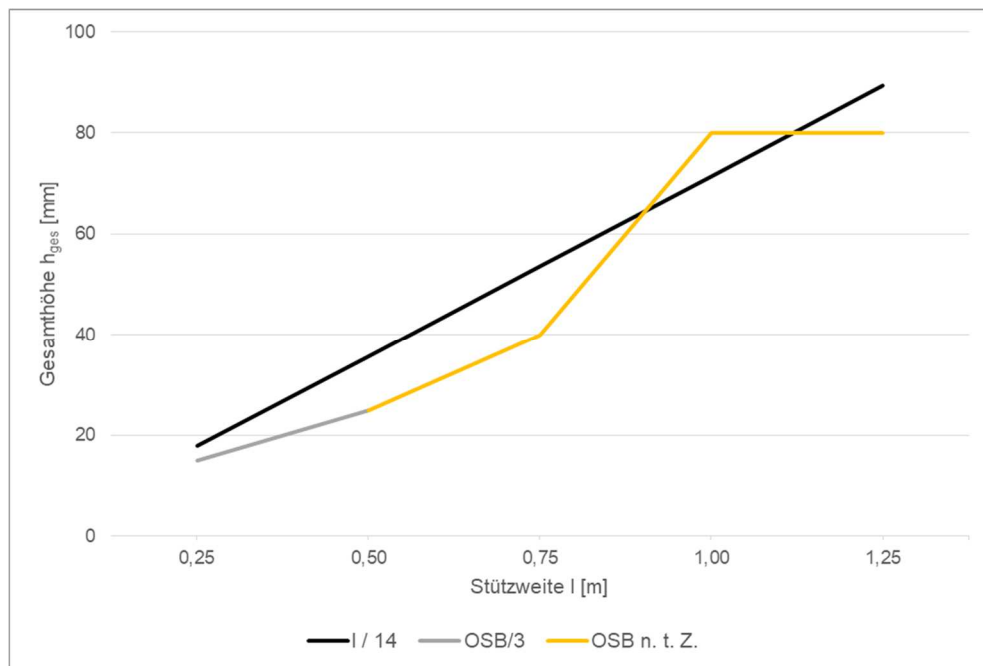


Abbildung 43: Lineare Vordimensionierungsformel, OSB, Geschossdecke

In Abbildung 44 ist der Vordimensionierungszusammenhang für Dacheindeckungen dargestellt. Die Funktion  $l_i / 25$  gilt für den Stützweitenbereich 0,0 bis 1,00 m. Es lässt sich zwar eine Stützweite von bis 1,25 m erzielen, dies ist jedoch nur beim Verwenden unökonomischer, doppelt verlegter OSB-Platten möglich. Die Mindestplattendicke von 18 mm für Flachdächer ist zu beachten. OSB/3 ist bis zu einer Stützweite von 0,50 m die günstigere Variante, bei größeren Stützweiten ist OSB nach a. b. Z. ökonomischer, bzw. OSB/3 erfüllt die statischen Nachweise nicht. Das Diagramm und die Formel gelten für Einfeldsysteme. Für Zweifeldsystem darf die Ersatzstützweite um 30% verringert werden:  $l_i = l * 0,70$ . Der Stützweitenbereich erweitert sich bei Zweifeldsystemen auf bis zu 1,75 m (siehe Abbildung 45). Unter Umständen wäre es bei der Vordimensionierungsformel für OSB bei Dacheindeckungen angebracht, eine abschnittsweise lineare Formel mit unterschiedlichen Steigungen zu ermitteln. Da der relevante Stützweitenbereich jedoch eher klein ist und in Abschnitte von 0,25 m geteilt werden müsste, wurde hierauf verzichtet.

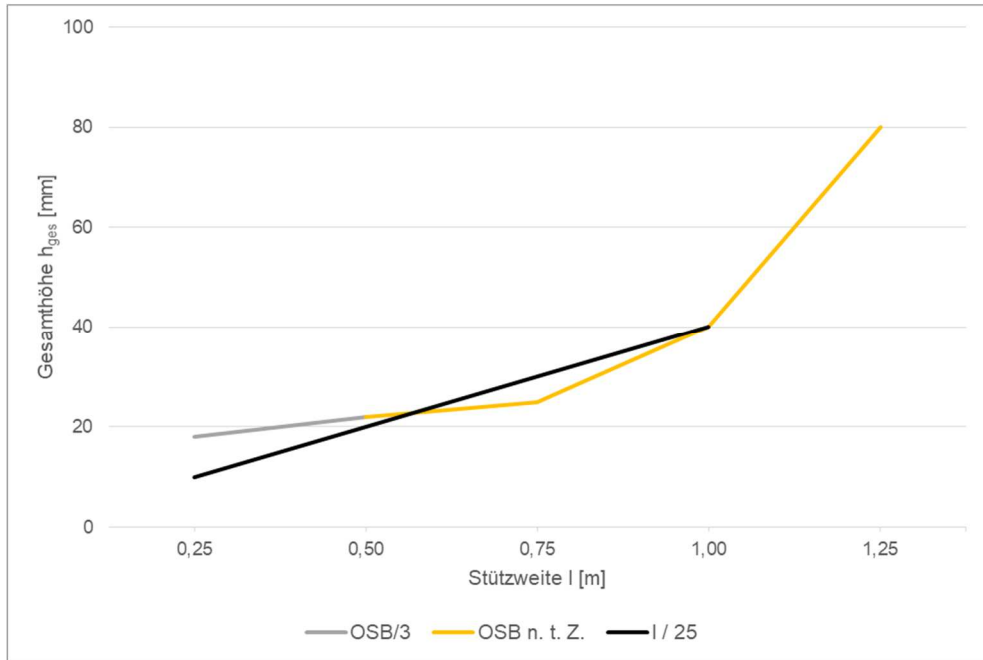


Abbildung 44: Lineare Vordimensionierungsformel, OSB, Dacheindeckung, Einfeld

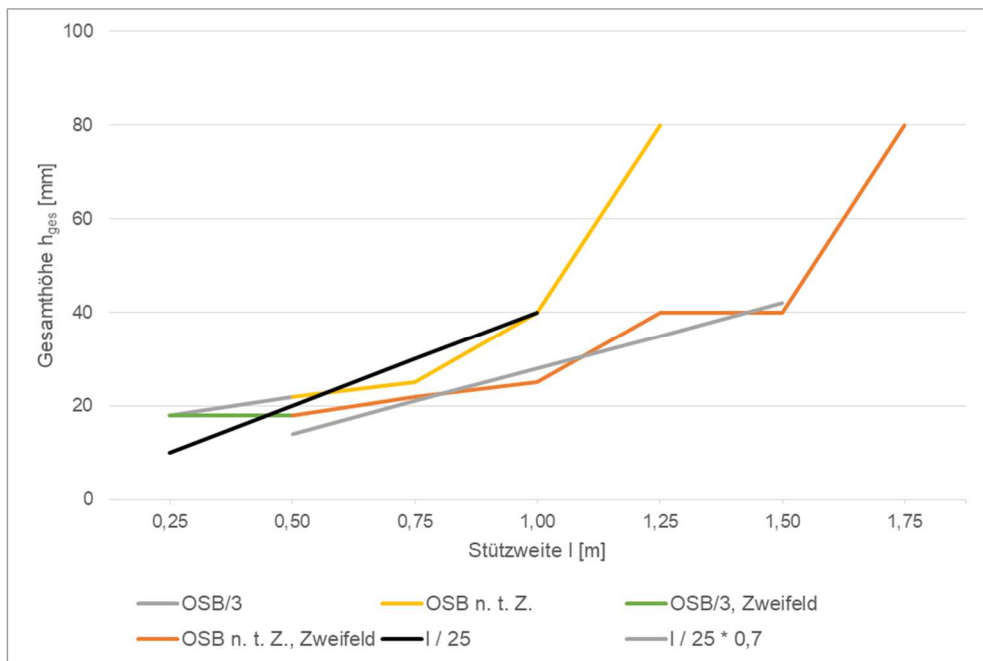


Abbildung 45: Lineare Vordimensionierungsformel inkl. Abminderungsfaktor für Zweifeldsysteme, Dacheindeckung

### 7.3 Zusammenführen zu einer Plattenvordimensionierung

Da die beiden Holzwerkstoffe OSB und BSPH und deren unterschiedliche Querschnittskategorien und technische Klassen jeweils spezifische, optimale Stützweitenabschnitte haben, werden in diesem Abschnitt kombinierte Vordimensionierungswerkzeuge erstellt. Ein kombiniertes Diagramm der beiden Holzwerkstoffe hat das Ziel, für möglichst viele Stützweiten eine ökonomisch sinnvolle Wahl des Werkstoffs und der Plattenhöhe zu gewährleisten und damit eine breitere Anwendbarkeit zu bieten, als ein Vordimensionierungsdiagramm für einen einzelnen Werkstoff. Eine kombinierte Darstellung kann aufbauend auf den in den vorherigen Abschnitten vorgestellten Dimensionierungszusammenhängen erstellt werden.

Die Ergebnisse in den Abschnitten 7.1 und 7.2 machen deutlich, dass ein Zusammenfassen der Anwendungsgebiete Geschossdecke und Dacheindeckung nicht sinnvoll ist. Die Ergebnisse der beiden Bereiche sind dafür zu unterschiedlich. Bei den kombinierten Vordimensionierungsdiagrammen wird dementsprechend auch danach unterschieden, wo die Holzwerkstoffplatte zum Einsatz kommen soll. In der einschlägigen Literatur zur Vordimensionierung wird ebenso zwischen den beiden Anwendungsfällen unterschieden (z. B. [21]).

Erneut wird der Einfeldträger als das statische Ausgangssystem gewählt. Eine Modifikation für Zweifeldsysteme kann für den Anwendungsfall der Dacheindeckung vorgenommen werden.

Zusätzlich zu den Übergängen innerhalb eines Werkstoffs zwischen Querschnittsarten und technischen Klassen müssen für kombinierte Diagramme Übergänge zwischen den Holzwerkstoffen festgelegt werden. Das Vorgehen hierfür entspricht dem in Abschnitt 7.1.1 beschriebenen: Anhand der Kosten pro verlegtem Quadratmeter Holzwerkstoffplatte wird für jede Stützweite entschieden, welche die günstigste Variante ist. In beiden Anwendungsgebieten liegt der Übergang zwischen OSB nach a. b. Z. und dreilagigem BSPH an dem Punkt, an dem Letzteres die kostengünstigere Variante darstellt.

Bei den Übergängen zwischen den Materialien ist zu beachten, dass diese auf Kosteneinschätzungen basieren, die Fluktuationen unterworfen sind. Sowohl Materialkosten als auch Lohn- und Verlegekosten können sich mit der Zeit verändern. Es handelt sich dementsprechend bei den angegebenen Stützweiten der Materialübergänge um Richtwerte – sofern es sich um Materialübergänge aus ökonomischen Gründen handelt.

#### 7.3.1 Kombiniertes Vordimensionierungsdiagramm für Geschossdecken

Abbildung 46 zeigt den kombinierten Dimensionierungszusammenhang für Geschossdecken. Das Diagramm gilt für Einfeldträger und Zweifeldträger gleichermaßen. Als Nutzungsklasse ist NKL 1 für beheizte Innenräume angesetzt.

Zusätzlich zu den erforderlichen Höhen der Holzwerkstoffquerschnitte zeigt das Diagramm die Kosten der Platten pro Quadratmeter. Anhand der Kosten lässt sich ablesen, weshalb die Übergänge zwischen den Querschnittsarten und Holzwerkstoffen an den jeweiligen Stellen stattfinden. Die Kosten sind als gepunktete Linien dargestellt, die auf der rechten y-Achse abgetragen werden.

Der Übergang zwischen OSB/3 und OSB nach a. b. Z. geschieht an der Stelle, an der OSB/3 die erforderlichen statischen Nachweise nicht mehr erfüllen kann. Der Übergang zwischen OSB nach a. b. Z. und dreilagigem BSPH geschieht bei 0,75 m, da ab dieser Stützweite BSPH günstiger ist als OSB. Der letzte Übergang, von dreilagigem zu fünfflagigem BSPH geschieht ebenfalls aus Gründen der statischen Nachweise: Dreilagige BSPH-Platten dürfen in Geschossdecken nur bis zu einer Stützweite von vier Metern eingesetzt werden, da sie bei größeren Stützweiten die Nachweise im GzG nicht erfüllen können.

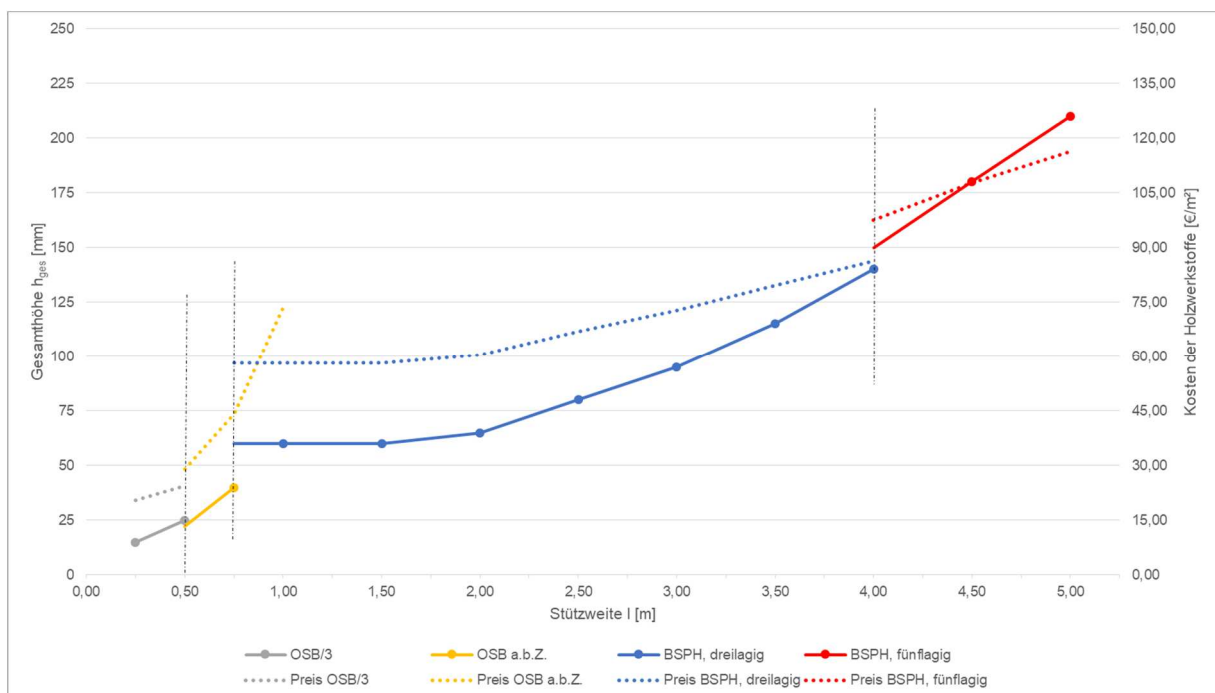


Abbildung 46: Kombiniertes, kostenbasierter Dimensionierungszusammenhang für Geschossdecken

Bei allen drei Übergängen zwischen den Baustoffen geschieht ein Sprung in der erforderlichen Querschnittshöhe. Beim Übergang auf dreilagiges BSPH bei 0,75 m Stützweite ist der Sprung besonders ausgeprägt. Die große Diskrepanz zwischen den Querschnittshöhen entsteht aus den Mindestmaßen für BSPH-Platten (siehe Abschnitt 6.6). Der Sprung zwischen drei- und fünfflagigem BSPH ist dadurch begründet, dass bei gleicher Stützweite bei fünfflagigem BSPH ein geringfügig größerer Querschnitt benötigt wird (vgl. Abbildung 19).

Durch die Mindesthöhe von BSPH-Platten ist der Bereich zwischen der Stützweite 0,75 m und 1,50 m nicht effizient genutzt. Alternative für diesen Stützweitenbereich wäre ein dritter, hier nicht untersuchter Holzwerkstoff oder kleinere BSPH-Platten.

Bei Geschossdecken entspricht der untersuchte Stützweitenbereich den in realen Bausituationen anzutreffenden Stützweiten. Bei Decken mit Balken als lastverteilende Bauteile werden schlanke OSB-Platten benötigt, bei zwischen Wänden spannenden Decken können die dickeren BSPH-Platten eingesetzt werden.

### 7.3.2 Kombiniertes Vordimensionierungsdiagramm für Hallendächer

Abbildung 47 zeigt den kombinierten Dimensionierungszusammenhang für Dacheindeckungen. Das Diagramm gilt für Einfeldträger. Als Nutzungsklasse ist NKL 2 für unbeheizte, nicht der Witterung ausgesetzte Bauteile angesetzt.

Die Übergänge von OSB/3 auf OSB nach a. b. Z. und von OSB nach a. b. Z. auf dreilagiges BSPH geschehen aus ökonomischen Gründen an der Stelle, an der der tragfähigere Werkstoffe günstiger ist. Der Übergang, von dreilagigem zu fünflagigem BSPH geschieht aus statischen Gründen: Dreilagige BSPH-Platten können als Dacheindeckung aus statischen Gründen nur bis zu einer Stützweite von fünf Metern eingesetzt werden.

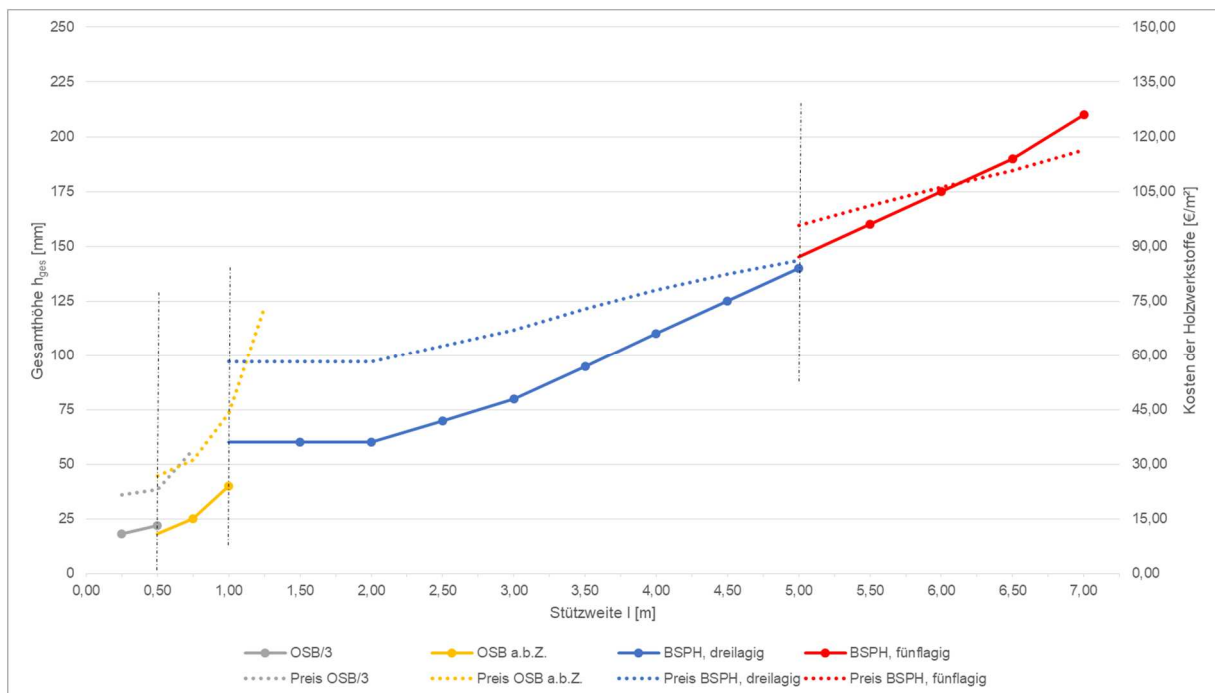


Abbildung 47: Kombiniertes, kostenbasierter Dimensionierungszusammenhang für Dacheindeckungen

Ähnlich dem Diagramm für Geschossdecken enthält der Dimensionierungszusammenhang für Dacheindeckungen Sprünge in der Querschnittshöhe. Gründe dafür sind auch hier unterschiedliche erforderliche Querschnittshöhen der Holzwerkstoffe bei gleicher Stützweite.

Ebenso ähnlich den Geschossdecken ist der Bereich zwischen 1,00 m und 2,00 m Stützweite. Dort ist die Mindesthöhe für dreilagige BSPH-Platten vorgesehen, bei der die statischen Nachweise nicht ausgereizt werden.

Für Dacheindeckungen, die als Zweifeldträger eingesetzt werden, zeigt Abbildung 48 den Dimensionierungszusammenhang. Statt diesem Diagramm kann das oben gezeigt Diagramm für Einfeldträger mit dem auf der sicheren Seite liegenden Faktor 0,8 modifiziert werden. Dabei wird die größere erzielbare Stützweite bei Zweifeldträgern allerdings nicht erfasst, wie sie in Abbildung 48 sichtbar ist.

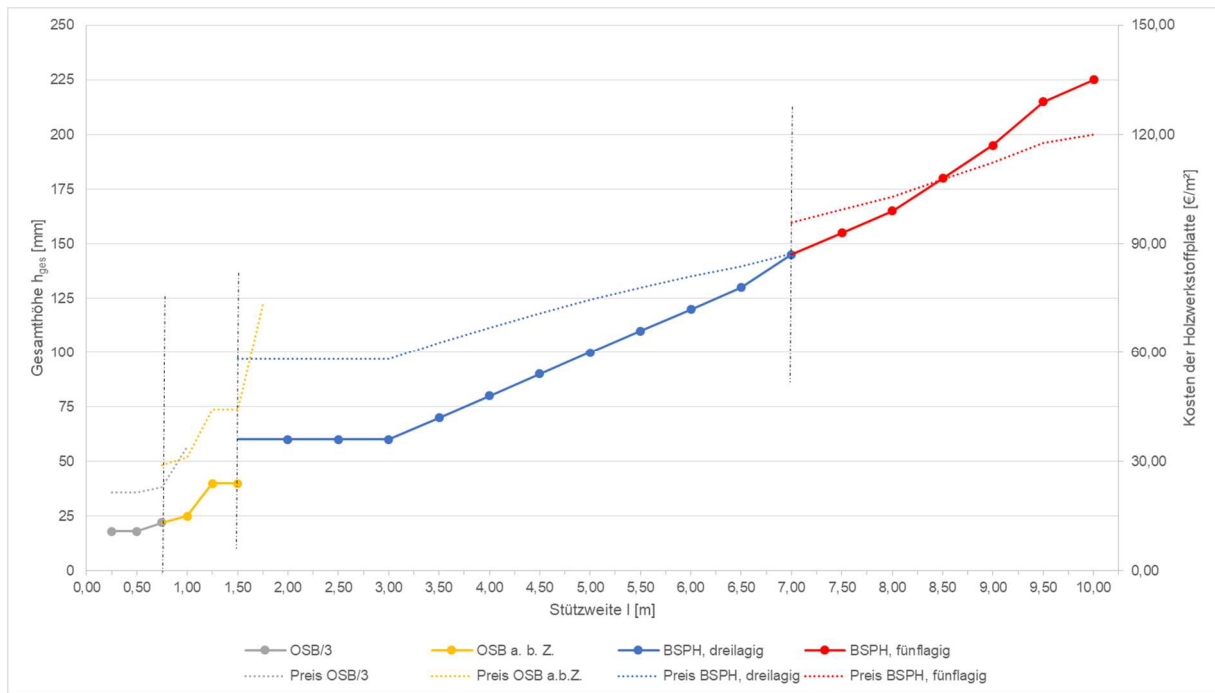


Abbildung 48: Kombiniertes, kostenbasierter Dimensionierungszusammenhang für Dacheindeckungen, Zweifeldträger

Der untersuchte Stützweitenbereich bei Dacheindeckungen entspricht weitestgehend den in realen Bausituationen anzutreffenden Stützweiten. Bei Hallenbauten sind durch die Dacheindeckung mitunter große Längen zwischen Haupt- oder Nebenträgern zu überbrücken. Der von fünflagigem BSPH abgedeckte Bereich oberhalb von 8 Metern ist eher selten anzutreffen: Bei Zweifeldsystemen wären hier Plattenlängen von mehr als 16 Metern notwendig, die vor Ort gefertigt werden müssten.



## 8 Zusammenfassung und Fazit

Die vorliegende Arbeit behandelt die Vordimensionierungszusammenhänge der plattenförmigen Holzwerkstoffe Brettsper Holz und OSB. Das Ermitteln von möglichst allgemein anwendbaren Vordimensionierungswerkzeugen steht dabei im Vordergrund. Die betrachteten Anwendungsfälle sind Geschossdecken im Wohnungsbau sowie Dacheindeckungen im Hallenbau. In beiden Fällen werden Einfeld- und Zweifeldsysteme untersucht.

Die Untersuchungen zu den Dimensionierungszusammenhängen erfolgen bei beiden Werkstoffen anhand von stützweitenbasierten Nachweisserien, die ein Spektrum von Systemen abdecken. Eine Nachweisserie wird durch ihre Parameter charakterisiert. Die möglichen Werte der Parameter basieren auf einer Recherche zu üblicherweise anzutreffenden baulichen Situationen. Für die beiden Holzwerkstoffe wird jeweils ein Nachweisformat gewählt, das Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit enthält.

Mithilfe der Nachweisserien und den zugehörigen Diagrammen werden Dimensionierungszusammenhänge sichtbar. Anhand vergleichender Diagramme werden die Auswirkungen der einzelnen Parameter dargestellt und redundante Nachweisserien zusammengefasst. Die zusammengefassten Nachweisserien stellen repräsentative Fälle dar, anhand derer Vordimensionierungswerkzeuge bestimmt werden können.

Basierend auf einer Recherche zu den Kosten verlegter Holzwerkstoffplatten werden die Übergangsbereiche zwischen den Holzwerkstoffen festgelegt. Die Quadratmeterkosten enthalten sowohl Materialkosten als auch Einbau- und Lohnkosten.

Für beide Werkstoffe werden lineare Vordimensionierungsformeln der Form „ $h_i = l_i / k$ “ erstellt, mit deren Hilfe sich erforderliche Mindestplattenhöhen allein anhand der Stützweite ermitteln lassen. Zusätzlich zu den linearen Formeln lassen sich die auf den Kosten der Holzwerkstoffplatten basierenden Diagramme zur Vordimensionierung heranziehen.

Um eine ökonomischere Form der Vordimensionierung zu bieten, werden im letzten Abschnitt der Arbeit kombinierte, ebenfalls kostenbasierende Diagramme entwickelt. Diese decken einen Stützweitenraum von 0,25 bis 5,0 Meter bzw. 7,0 Meter ab und zeigen für jeden Stützweiteschritt die günstigste Wahl des Holzwerkstoffs auf.

Besonders erwähnenswertes Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist, dass eine Unterscheidung zwischen Einfeld- und Zweifeldsystemen bei der Vordimensionierung von Geschossdecken nicht sinnvoll ist. Der bei anderen Baustoffen bekannte positive Effekt eines zusätzlichen, gleichgroßen zweiten Feldes tritt hier nicht auf. Der maßgebliche Schwingungsnachweis wird durch das zweite Feld nicht verbessert. Die in dieser Arbeit entwickelten Vordimensionierungsformeln für Geschossdecken sind daher nicht durch die üblichen Beiwerte für Zweifeldsysteme zu reduzieren.

Im Stützweitenbereich zwischen ca. 0,75 und 2,0 Metern scheint weder der Einsatz von OSB noch von Brettsperrholz eine ökonomisch sinnvolle Wahl. OSB-Platten erreichen diese Stützweiten aus statischen Gründen nicht bzw. nur unter erheblichem Kostenaufwand und die kleinsten Querschnitte der Brettsperrholzplatten werden in diesem Bereich noch nicht ausgelastet. Das Hinzunehmen eines dritten Holzwerkstoffes, der diesen Stützweitenbereich abdeckt, ist für zukünftige Untersuchungen in Erwägung zu ziehen.

Da Brettsperrholz vermehrt in Bereichen mit größeren zu erwartenden Nutzlasten eingesetzt wird (bspw. in Bürogebäuden oder Gebäuden mit Versammlungsräumen) wären ausblickend auch für diese Einsatzgebiete Vordimensionierungszusammenhänge zu untersuchen. Im Zuge dessen wäre zusätzlich eine Betrachtung größerer Plattenquerschnitte mit sieben oder neun Lagen angebracht.

## Literaturverzeichnis

- [1] Bounin, K., Graf, W. & Schulz, P. (2010). *Handbuch Bauphysik - Schallschutz, Wärmeschutz, Feuchteschutz, Brandschutz*. München: Deutsche Verlags-Anstalt.
- [2] Block, P., Gengnagel, C. & Peters, S. (2015). *Faustformel Tragwerksentwurf*. München: Deutsche Verlags-Anstalt.
- [3] Dederich, L. (2010). *Holz spezial - Flachdächer in Holzbauweise*. Eutin: Fachagentur Holz.
- [4] Derix Holzleimbau. (2017). *Preisliste Brettsperrholz / X-Lam*. Niederkrüchten.
- [5] Detail (2014). Energieeffizienter geförderter Wohnungsbau in Ansbach. In *DETAIL – Zeitschrift für Architektur und Baudetail - Ausgabe 1+2/2014 – Bauen mit Holz*. München: Institut für internationale Architektur-Dokumentation.
- [6] Egger Holzwerkstoffe (2013). *Holzbau Verarbeitungsleitfaden - Egger OSB*. Wismar.
- [7] EnEV 2014 (2013). *Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung*. Bonn: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013.
- [8] Hamm, P. & Richter, A. (2009). Bemessungs- und Konstruktionsregeln zum Schwingungsnachweis von Holzdecken. In: *Fachtagung Holzbau*. Leinfelden-Echterdingen
- [9] KLH Massivholz (2017). *Europäische Technische Bewertung. KLH-Massivholzplatten – Massive plattenförmige Holzbauelemente für tragende Bauteile in Bauwerken*. Österreichisches Institut für Bautechnik.
- [10] Lißner, K. & Rug, W. (2016). *Der Eurocode 5 für Deutschland*. Berlin: DIN Deutsches Institut für Normung e. V.
- [11] Marutzky, R. & Schwab, H. (2009). *Holz spezial - Span- und Faserplatten, OSB*. Braunschweig: Wilhelm-Klauditz-Institut.
- [12] Maßong, F. (2011). *Dachtabellen* (3. Ausg.). Müller.
- [13] MBO (05/2016). *Musterbauordnung*. Bauministerkonferenz.
- [14] Mestek, P. (2010). Berechnung und Bemessung von Brettsperrholz. In: *Fachtagung Holzbau*. Leinfelden-Echterdingen.
- [15] Mestek, P., Werther, N. & Winter, S. (2016). Planen und Bauen mit Brettsperrholz. *holzbau handbuch - Bauen mit Brettsperrholz*, 4-15.
- [16] Pech, A., Kolbitsch, A. & Zach, F. (2007). *Decken*. Wien: Springer Vienna.
- [17] Bogensperger, T., Moosbrugger, T. & Schickhofer, G. (2010). *BSPHandbuch – Holz-Massivbauweise in Brettsperrholz – Nachweise auf Basis des neuen europäischen Normenkonzepts*. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz.
- [18] Schneider, K. (2014). *Bautabellen für Ingenieure*. Köln: Bundesanzeiger Verlag.
- [19] Schulze, H. (2005). *Holzbau*. Wiesbaden: B.G. Teubner Verlag.
- [20] Sedlbauer, K., Schunk, E., Barthel, R. & Künzel, H. (2010). *Flachdach Atlas*. München: Detail.
- [21] Staffa, M. (2014). *Tragwerkslehre*. Berlin: Beuth Verlag.
- [22] Wallner-Novak, M., Koppelhuber, J., & Pock, K. (2013). *Brettsperrholz Bemessung*. Wien: proHolz Austria.

## DIN- und EN-Normen

- [23] DIN 1052-10. (05/2012). *Herstellung und Ausführung von Holzbauwerken. Teil 10: Ergänzende Bestimmungen.*
- [24] DIN 4102-1. (05/1998). *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.*
- [25] DIN 4102-4. (05/2016). *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 4: Zusammenstellung und Anwendung klassifizierter Baustoffe, Bauteile und Sonderbauteile.*
- [26] DIN 4109-1. (07/2016). *Schallschutz im Hochbau. Teil 1: Mindestanforderungen.*
- [27] DIN 4109 Beiblatt 2. (11/1989). *Schallschutz im Hochbau; Hinweise für Planung und Ausführung; Vorschläge für einen erhöhten Schallschutz; Empfehlungen für den Schallschutz im eigenen Wohn- oder Arbeitsbereich.*
- [28] DIN 18334. (09/2016). *VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Zimmer- und Holzbauarbeiten.*
- [29] DIN 18339. (09/2016). *VOB Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Klempnerarbeiten.*
- [30] DIN EN 300. (09/2006). *Platten aus langen, flachen, ausgerichteten Spänen (OSB) – Definitionen, Klassifizierung und Anforderungen.*
- [31] DIN EN 338. (07/2016). *Bauholz für tragende Zwecke – Festigkeitsklassen.*
- [32] DIN EN 520. (12/2009). *Gipsplatten – Begriffe, Anforderungen und Prüfverfahren.*
- [33] DIN EN 1990. (12/2010). *Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.*
- [34] DIN EN 1990/NA. (12/2010). *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.*
- [35] DIN EN 1991-1-1. (12/2010). *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau.*
- [36] DIN EN 1991-1-1/NA. (12/2010). *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau.*
- [37] DIN EN 1991-1-3. (12/2010). *Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten.*
- [38] DIN EN 1991-1-3/NA. (12/2010). *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen, Schneelasten.*
- [39] DIN EN 1991-1-4/NA. (12/2010). *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke. Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen, Windlasten.*
- [40] DIN EN 1995-1-1. (12/2010). *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.*
- [41] DIN EN 1995-1-1/NA. (08/2013). *Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau.*

- [42] DIN EN 1995-1-2. (12/2010). *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. Teil 1-2: Allgemeine Regeln – Tragwerksbemessung für den Brandfall.*
- [43] DIN EN 13163. (02/2017). *Wärmedämmstoffe für Gebäude – Werkmäßig hergestellte Produkte aus expandiertem Polystyrol (EPS) - Spezifikation.*
- [44] DIN EN 13501-1. (01/2010). *Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten. Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten.*
- [45] DIN EN 13986. (06/2015). *Holzwerkstoffe zur Verwendung im Bauwesen – Eigenschaften, Bewertung der Konformität und Kennzeichnung.*
- [46] DIN EN 14081-1. (06/2016). *Holzbauwerke – Nach Festigkeit sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt. Teil 1: Allgemeine Anforderungen.*
- [47] DIN EN 16351. (12/2015). *Holzbauwerke – Brettsperrholz – Anforderungen.*

## Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen

- [48] ETA-06/0009. (06/2013). *Binderholz Brettsperrholz BBS.* Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik.
- [49] ETA-06/0138. (02/2017). *KLH-Massivholzplatten.* Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik.
- [50] ETA-11/0189. (04/2016). *Derix X-LAM.* Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik.
- [51] ETA-12/0281. (07/2017). *NORITEC X-LAM.* Wien: Österreichisches Institut für Bautechnik.
- [52] Z-9.1-503. (02/2016). *SWISS KRONO OSB/4.* Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik.
- [53] Z-9.1-566. (01/2013). *EUROSTRAND OSB 4 TOP.* Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik.
- [54] Z-9.1-618. (03/2015). *OSB-Platten „Kronoply F \*\*\*\*“.* Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik.
- [55] Z-9.1-638. (05/2014). *Brettsperrholz „MM crosslam“.* Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik.
- [56] Z-9.1-721. (09/2013). *„ED-BSP“ (Brettsperrholz) aus Fichte, Kiefer und Douglasie.* Berlin: Deutsches Institut für Bautechnik.

## Internetquellen

- [57] all.biz. (2017). *Offizielle Internetpräsenz All-Biz Ltd.* [Bildquelle] Aufrufbar unter: <https://all.biz/>. [Zuletzt aufgerufen: 28.11.2017].
- [58] bausep. (2017). *Offizielle Internetpräsenz bausep GmbH.* Aufrufbar unter: <https://www.bausep.de/>. [Zuletzt aufgerufen: 28.11.2017].
- [59] Baustoffshop. (2017). *Offizielle Internetpräsenz NA-LOG GmbH.* Aufrufbar unter: <http://www.baustoffshop.de/>. [Zuletzt aufgerufen: 28.11.2017].
- [60] EU-Baustoffhandel. (2017). *Offizielle Internetpräsenz Wirbau GmbH.* Aufrufbar unter: <http://www.eu-baustoffhandel.de/>. [Zuletzt aufgerufen: 28.11.2017].
- [61] Gebhardt Shop. (2017). *Offizielle Internetpräsenz Gebhardt Bauzentrum GmbH.* Aufrufbar unter: <https://www.gebhardt-shop.de/>. [Zuletzt aufgerufen: 28.11.2017].
- [62] Holzhandel Deutschland. (2017). *Offizielle Internetpräsenz Heinrich und Henry Luhmann GmbH.* Aufrufbar unter: <http://holzshop-luhmann.de/>. [Zuletzt aufgerufen: 28.11.2017].
- [63] Holzshop Luhmann. (2017). *Offizielle Internetpräsenz Kahrs GmbH.* Aufrufbar unter: <https://holzhandel-deutschland.de/>. [Zuletzt aufgerufen: 28.11.2017].
- [64] Hornbach. (2017). *Offizielle Internetpräsenz Hornbach GmbH.* Aufrufbar unter: <https://www.hornbach.de/>. [Zuletzt aufgerufen: 28.11.2017].
- [65] Obi. (2017). *Offizielle Internetpräsenz Obi Group Holding.* [Bildquelle] Aufrufbar unter: <https://www.obi.de/>. [Zuletzt aufgerufen: 28.11.2017].
- [66] weylandt stahl + holz. (2017). *Offizielle Internetpräsenz Weylandt GmbH.* Aufrufbar unter: <http://onlineshop.weyland.at/de/>. [Zuletzt aufgerufen: 28.11.2017].

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fünfplagige Brettsper Holzplatte [57] .....	1
Abbildung 2: OSB-Platte mit Nut und Feder [65] .....	1
Abbildung 3: Ausschnitt aus einer Vordimensionierungstabelle für OSB-Platten, Egger Holzbau [6] .....	4
Abbildung 4: Vordimensionierungsdiagramm für BSPH [14].....	4
Abbildung 5: Ausschnitt aus einer stützweitenabhängigen Nachweisserie .....	6
Abbildung 6: Beispielhafte Belastung einer Platte.....	7
Abbildung 7: Dreilagiger BSPH-Aufbau [47] .....	22
Abbildung 8: Fünfplagiger BSPH-Querschnitt [47].....	22
Abbildung 9: Rollschubversagen [22].....	25
Abbildung 10: Verformungsanteile aus Biegung und Schub [22].....	25
Abbildung 11: Symmetrischer Querschnitt mit Bezeichnung der Lagen und Spannungsverläufe [22] ...	27
Abbildung 12: Nachweisserie zu BSPH-2-1.....	54
Abbildung 13: Graphische Darstellung der Zuordnung "Stützweite - Gesamthöhe" für BSPH-2-1.....	54
Abbildung 14: Treppendiagramm der Zuordnung „Stützweite – Gesamthöhe“ für BSPH-2-1.....	55
Abbildung 15: Lineare Interpolation zwischen den Ergebnispunkten für BSPH-2-1.....	56
Abbildung 16: Auf der sicheren Seite liegende, lineare Vordimensionierungsfunktion für BSPH-2-1 ....	57
Abbildung 17: Polynom 2. Grades zu der Zuordnung "Stützweite - Gesamthöhe" für BSPH-1-2.....	58
Abbildung 18: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei BSPH, Einfeldträger, Wohnraum .....	60
Abbildung 19: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei BSPH, Einfeldträger, Dacheindeckung .....	61
Abbildung 20: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei BSPH, Zweifeldträger, Wohnraum .....	61
Abbildung 21: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei BSPH, Zweifeldträger, Dacheindeckung.....	62
Abbildung 22: Vergleich der Anwendungsgebiete Wohnraum und Dacheindeckung bei BSPH.....	63
Abbildung 23: Vergleich der Nutzungsklassen 1 und 2 bei BSPH als Dacheindeckung .....	64
Abbildung 24: Vergleich der statischen Systeme Einfeld und Zweifeld bei BSPH (Wohnraum u. Dacheindeckung) .....	65
Abbildung 25: Vergleich der Aufbaulasten 1,5 kN/m <sup>2</sup> und 0,3 kN/m <sup>2</sup> bei BSPH (Dacheindeckung)....	66
Abbildung 26: Vergleich der Kosten pro Quadratmeter zwischen drei- und fünfplagigem BSPH, Geschossdecke.....	67
Abbildung 27: Vergleich der Kosten pro Quadratmeter zwischen drei- und fünfplagigem BSPH, Dacheindeckung.....	67
Abbildung 28: Lineare Vordimensionierungsformel, BSPH, Geschossdecke .....	68
Abbildung 29: Abschnittsweise lineare Vordimensionierungsformel, BSPH, Geschossdecke .....	69
Abbildung 30: Polynom 2. Grades zur Vordimensionierung, BSPH, Geschossdecke .....	70
Abbildung 31: Lineare Vordimensionierungsformel, BSPH, Dacheindeckung, Einfeld.....	70
Abbildung 32: Lineare Vordimensionierungsformel inkl. Abminderungsfaktor für Zweifeldsysteme.....	71

Abbildung 33: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei OSB, Einfeldträger, Wohnraum .....	71
Abbildung 34: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei OSB, Einfeldträger, Dacheindeckung .....	72
Abbildung 35: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei OSB, Zweifeldträger, Wohnraum .....	72
Abbildung 36: Zusammenhang zwischen Stützweite und Gesamthöhe bei OSB, Zweifeldträger, Dacheindeckung.....	73
Abbildung 37: Vergleich der Anwendungsgebiete Wohnraum und Dacheindeckung bei OSB.....	74
Abbildung 38: Vergleich der Nutzungsklassen 1 und 2 bei OSB (Dacheindeckung) .....	74
Abbildung 39: Vergleich der statischen Systeme Einfeld und Zweifeld bei OSB (Wohnraum und Dacheindeckung) .....	75
Abbildung 40: Vergleich der Aufbaulasten 1,5 kN/m <sup>2</sup> und 0,3 kN/m <sup>2</sup> bei OSB (Dacheindeckung).....	76
Abbildung 41: Vergleich der Kosten pro Quadratmeter zwischen OSB/3 und OSB nach a. b. Z., Geschossdecke.....	77
Abbildung 42: Vergleich der Kosten pro Quadratmeter zwischen OSB/3 und OSB nach a. b. Z., Dacheindeckung .....	77
Abbildung 43: Lineare Vordimensionierungsformel, OSB, Geschossdecke.....	78
Abbildung 44: Lineare Vordimensionierungsformel, OSB, Dacheindeckung, Einfeld.....	79
Abbildung 45: Lineare Vordimensionierungsformel inkl. Abminderungsfaktor für Zweifeldsysteme, Dacheindeckung.....	79
Abbildung 46: Kombiniertes, kostenbasierter Dimensionierungszusammenhang für Geschossdecken....	81
Abbildung 47: Kombiniertes, kostenbasierter Dimensionierungszusammenhang für Dacheindeckungen	82
Abbildung 48: Kombiniertes, kostenbasierter Dimensionierungszusammenhang für Dacheindeckungen, Zweifeldträger .....	83
Abbildung 49: Gesamtkosten der Holzwerkstoffplatten, BSPH und OSB, in €/m <sup>2</sup> .....	94



## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Modifikationsbeiwert $k_{mod}$ und Verformungsbeiwert $k_{def}$ gemäß EC 5.....	18
Tabelle 2: Einwirkungskombinationen für Durchbiegungsnachweise [18].....	19
Tabelle 3: Charakteristische Baustoffkennwerte für Brettspertholz aus allgemeinen bauaufs. Zulassungen.....	24
Tabelle 4: Beiwerte $k_{DLT}$ zur Berechnung von Durchbiegungen bei Durchlaufträgern mit gleichen Stützweiten [18] .....	30
Tabelle 5: Schwingungsklassen von Decken gemäß EC 5 .....	31
Tabelle 6: Beiwerte $k_f$ für Frequenzen von Durchlaufträgern [18] .....	32
Tabelle 7: Abbrandraten $\beta_n$ für BSPH [17, 22] .....	34
Tabelle 8: Charakteristische Baustoffkennwerte für OSB/3 und OSB/4 [30].....	38
Tabelle 9: Charakteristische Baustoffkennwerte aus allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für OSB .....	39
Tabelle 10: Zusammenfassung der Parameter mit ihren möglichen Werten.....	42
Tabelle 11: Exemplarischer Aufbau der Geschossdecke .....	45
Tabelle 12: Exemplarischer Aufbau auf der Dacheindeckung.....	46
Tabelle 13: Nutzungsklassen (NKL).....	48
Tabelle 14: Mindest- und Maximalhöhen der Holzwerkstoffplatten.....	49
Tabelle 15: Untersuchte BSPH-Systeme, Einfeld.....	51
Tabelle 16: Untersuchte BSPH-Systeme, Zweifeld.....	51
Tabelle 17: Untersuchte OSB-Systeme, Einfeld .....	51
Tabelle 18: Untersuchte OSB-Systeme, Zweifeld .....	51
Tabelle 19: Materialkosten OSB/3, verschiedene Hersteller .....	93
Tabelle 20: Materialkosten OSB nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung, verschiedene Hersteller .....	93
Tabelle 21: Ermittlung der Einbaukosten von OSB und BSPH .....	93

## Anhang

Höhe [mm]	EU-Baustoffhandel [€/m <sup>2</sup> ]	Holzhandel-Deutschland [€/m <sup>2</sup> ]	Baustoff Shop [€/m <sup>2</sup> ]	Baustoff Shop [€/m <sup>2</sup> ]	Bausep [€/m <sup>2</sup> ]	Hornbach [€/m <sup>2</sup> ]	Durchschnitt [€/m <sup>2</sup> ]
15	5,64	5,60	5,93	5,66	5,65	5,90	5,70
18	6,75	7,11	6,72	6,82	6,79	7,10	6,84
22	8,24	8,69	8,21	8,37	8,29	8,69	8,36
25	9,35	9,88	9,34	10,12	-	8,86	9,67

Table 19: Materialkosten OSB/3, verschiedene Hersteller

Höhe [mm]	Gebhardt H-Z [€/m <sup>2</sup> ]	Luhmann H-Z [€/m <sup>2</sup> ]	Luhmann H-Z [€/m <sup>2</sup> ]	Weyland S + H [€/m <sup>2</sup> ]	Durchschnitt [€/m <sup>2</sup> ]
15	10,08	10,23	9,70	9,67	9,92
18	12,11	12,26	11,66	11,61	11,91
22	14,80	14,99	14,22	14,19	14,55
25	17,14	17,37	-	16,45	16,99
30	-	21,42	-	21,01	21,22
40	-	29,40	-	29,24	29,32

Table 20: Materialkosten OSB nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung, verschiedene Hersteller

	[mm]	Gesamtkosten, gemäß ZÜBLIN [€/m <sup>2</sup> ]	Materialkosten, gemäß Recherche bei Herstellern [€/m <sup>2</sup> ]	Differenz [€/m <sup>2</sup> ]	Lohnkosten + Verlegekosten, gemäß Sirados [€/m <sup>2</sup> ]	Mittelwerte [€/m <sup>2</sup> ]
OSB 3	18	25,00	6,77	18,23	9,81	<b>14,82</b>
OSB 3	25	28,00	9,64	18,36	9,81	
TOP 4	22	27,00	14,11	12,89	9,81	
BSPH, 3-lagig	70	68,00	38,22	29,78	19,47	<b>24,52</b>
BSPH, 3-lagig	100	77,00	50,10	26,90		
BSPH, 5-lagig	120	87,00	61,49	25,51		
Brettstapel	160				20,05	
Brettstapel	200				22,50	
Brettstapel	240				27,41	

Table 21: Ermittlung der Einbaukosten von OSB und BSPH

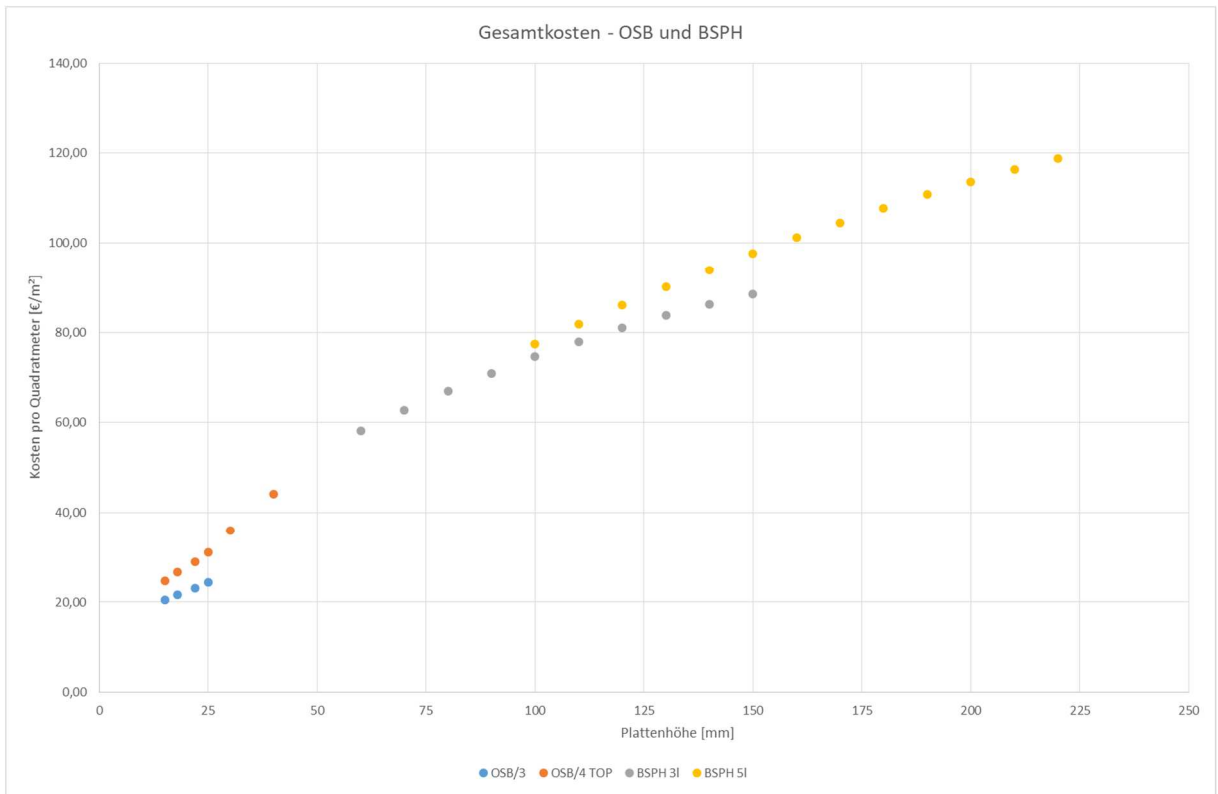


Abbildung 49: Gesamtkosten der Holzwerkstoffplatten, BSPH und OSB, in €/m<sup>2</sup>

# ERKLÄRUNG

**Name:** Müller  
**Vorname:** Jonas  
**Matrikelnummer:** 6037147  
**Studiengang:** Bauingenieurwesen Master

Ich versichere, dass ich die vorliegende Thesis mit dem Titel

## **„Vordimensionierung von Holzwerkstoffplatten“**

selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erbracht habe.

Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

---

Ort und Datum

---

Unterschrift des Studierenden

