

Diploma Thesis

# Development of a holistic evaluation system for floor constructions in wood based high-rise buildings

submitted in satisfaction of the requirements for the degree of

Diplom-Ingenieur

of the TU Wien, Faculty of Civil Engineering

---

Diplomarbeit

## Entwicklung eines ganzheitlichen Bewertungssystems für Deckenkonstruktionen bei Holzhochhäusern

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

eingereicht an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen

von

**Alex Müllner, BSc**

Matr.Nr.: 1026339

unter der Anleitung von

Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Alireza Fadai**

Institut für Architekturwissenschaften  
Tragwerksplanung und Ingenieurholzbau  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13/259.2, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Juni 2018

---



## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich allen voran bei Herrn Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Alireza Fadaei** bedanken, da er mir einerseits diese Arbeit ermöglicht, und mich andererseits dabei auch bestmöglich unterstützt hat.

Weiters möchte ich mich bei meiner Familie und allen meinen Freunden und Kollegen für die wunderbare Unterstützung auf dem langen und intensiven Weg durch das Studium bedanken. Spezieller Dank gilt dabei meiner Freundin Sandra, die in guten wie in schlechten Zeiten immer an meiner Seite steht, und mir wieder neue Kraft gibt.





## Kurzfassung

Der moderne Holzbau charakterisiert sich durch einen Trend hin zu immer höheren und gleichzeitig effizienteren Bauwerken. Neben ökonomischen Qualitätskriterien rücken auch ökologische Faktoren immer weiter in den Fokus des generellen Interesses. Diese Charakteristika werden auf Bauteilebene durch eine Vielzahl von Randbedingungen bestimmt, wodurch eine ganzheitliche Betrachtung von Tragstrukturen unter einer gleichzeitigen Berücksichtigung von statischen, bauphysikalischen, ökonomischen und ökologischen Kriterien schwierig erscheint.

Im Zuge dieser Arbeit soll daher ein ganzheitliches Bewertungssystem zur Analyse von Tragkonstruktionen konzeptionell entwickelt, und in einer weiterführenden softwaretechnischen Programmanwendung umgesetzt werden. Dies geschieht unter der besonderen Betrachtung von Deckenkonstruktionen im mehrgeschossigen Holzbau bzw. Holzhochhausbau bei einem Fluchtniveau von mehr als 22 m. Um eine ganzheitliche Bewertung prinzipiell zu ermöglichen, bedarf es der Festlegung einer Vielzahl von äußeren Randbedingungen. Zu diesem Zweck erfolgt in einem ersten Schritt eine Analyse unterschiedlicher Ausführungsbeispiele des mehrgeschossigen Holzbaus. Anhand dieser Auswertung können verschiedenste Randbedingungen hinsichtlich der statischen und bauphysikalischen Anforderungen, der allgemeinen baulichen Nutzung, sowie der im Holzhochhausbau anwendungsrelevanten Konstruktionstypen, festgelegt werden.

Die Evaluierung dieser maßgebenden Einflussgrößen ermöglicht weiterführend die programmtechnische Entwicklung des besagten Bewertungssystems. Hierzu werden jeweils einzelne Berechnungsroutinen für alle berücksichtigten Konstruktionstypen erstellt. Diese für jede Tragstruktur eigenständigen Algorithmen basieren grundsätzlich alle auf Schleifenberechnungen, wobei die Anzahl an Berechnungsläufen durch die jeweiligen Aufbauvariationen der einzelnen Konstruktionstypen definiert wird. Somit ergibt sich ein für jede Strukturvariante unabhängiges Spektrum an möglichen Lösungen. Aus dieser Bandbreite an Lösungen kann weiterführend eine Ergebnisfilterung erfolgen, wodurch die Ermittlung von jeweils optimalen Aufbauvarianten möglich wird. Betrachtet man diese Ergebnisvarianten für ein komplettes Spektrum an Randbedingungen, können daraus folgend einerseits maßgebliche Anwendungsgrenzen der jeweiligen Konstruktionstypen evaluiert, sowie andererseits dabei entstehende Optimierungspotentiale erkannt und weiterführend analysiert werden. Mithilfe des Bewertungsprogramms werden daher umfassende Aussagen zu den ganzheitlichen Charakteristika der im mehrgeschossigen Holzbau gängigen Deckenkonstruktionen möglich.



## Abstract

Modern timber construction is characterized by a trend towards ever higher and at the same time more efficient buildings. In addition to economic quality criteria, ecological factors are increasingly becoming the focus of general interest. These characteristics are determined by a variety of boundary conditions, making a holistic approach of load bearing structures whilst a simultaneous consideration of statical, building physical, economical and environmental criteria difficult.

In the course of this work, therefore a holistic evaluation system for the analysis of load bearing structures shall be conceptually developed, and furthermore implemented in an in-house software application. This is done under the special consideration of floor constructions in wood based high-rise buildings with an escape level of more than 22 m. Enabling a holistic evaluation requires the definition of a variety of external boundary conditions. To achieve this, an analysis of different design examples of multi-storey timber constructions is done. On the basis of these evaluations, a wide variety of boundary conditions can be defined with regards to the statical and building physical requirements, the general structural use, as well as the application-relevant constructions in wood based high-rise buildings.

The evaluation of these decisive influencing variables further enables the software based development of the before mentioned evaluation system. For this purpose, individual calculation routines are created for all considered construction types. These algorithms, which are independent for each load bearing structure, are all based on calculating loops fundamentally. The number of calculation runs within each loop is defined by the respective structural variations of the individual construction types. With this computations results in a range of possible solution can be calculated and a further result filtering can be carried out, whereby the determination of optimal construction variants becomes possible. If one considers these possible variants of results for a complete spectrum of boundary conditions, the evaluation of the application limits of the respective load bearing construction types, as well as accompanying optimization potentials becomes feasible. Consequently comprehensive statements on the holistic characteristics of floor constructions in wood based high-rise buildings can be done by means of the evaluation system.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>13</b>
<b>2. Die Entwicklung des mehrgeschossigen Holzbaus</b>	<b>15</b>
2.1. Der ressourceneffiziente Baustoff Holz	15
2.2. Bauen mit Holz in Österreich.	16
2.3. Wachsende Holzbauten im nationalen und internationalen Kontext	18
2.4. Anforderungen an den mehrgeschossigen Holzbau bzw. Holzhochhausbau.	20
2.4.1. Definition der Gebäudeklassen.	20
2.4.2. Brandschutz bei Gebäuden der Gebäudeklasse 5 und höher	21
2.5. Konstruktive Ausführungsmöglichkeiten im mehrgeschossigen Holzbau	23
2.5.1. Gliederung der Ausführungsmöglichkeiten nach statischen Kriterien	23
2.5.2. Plattenbauweise	24
2.5.3. Skelettbauweise.	25
2.5.4. Zellenbauweise	28
2.6. Resümee	29
<b>3. Entwicklung eines ganzheitlichen Bewertungssystems für Deckenkonstruktionen</b>	<b>33</b>
3.1. Allgemeines Programmkonzept	33
3.2. Definition der Ergebnis- und Einflussparameter	33
3.3. Definition der Randbedingungen	34
3.3.1. Bauliche Nutzung und damit in Verbindung stehende Randbedingungen	34
3.3.2. Brandschutztechnische Randbedingungen	36
3.3.3. Konstruktionstypologische Randbedingungen.	36
3.4. Entwicklung der Programmroutine	38
3.4.1. Allgemeines Lösungskonzept, Anzahl der möglichen Lösungen.	38
3.4.2. Allgemeine Berechnung.	40
3.4.3. Statische Berechnung	40
3.4.4. Bauphysikalische Berechnung	41
3.4.5. Ökonomische Berechnung	42
3.4.6. Ökologische Berechnung	42
3.4.7. Ergebnismatrix	44

---

3.5.	Konstruktionstypen Massivbauweise Holz . . . . .	44
3.5.1.	Allgemeines. . . . .	44
3.5.2.	Statische Berechnung . . . . .	45
3.5.3.	Bauphysikalische Berechnung . . . . .	46
3.6.	Konstruktionstypen Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton. . . . .	46
3.6.1.	Allgemeines. . . . .	46
3.6.2.	Statische Berechnung . . . . .	47
3.6.3.	Bauphysikalische Berechnung . . . . .	48
3.7.	Konstruktionstypen Rippenbauweise Holz ohne Verbundbeton. . . . .	49
3.7.1.	Allgemeines. . . . .	49
3.7.2.	Statische Berechnung . . . . .	50
3.7.3.	Bauphysikalische Berechnung . . . . .	50
3.8.	Konstruktionstyp Massivbauweise konventionell, Stahlbetondecke . . . . .	51
3.8.1.	Allgemeines. . . . .	51
3.8.2.	Statische Berechnung . . . . .	52
3.8.3.	Bauphysikalische Berechnung . . . . .	53
3.9.	Konstruktionstyp Massivbauweise konventionell, Hohldielendecke . . . . .	54
3.9.1.	Allgemeines. . . . .	54
3.9.2.	Statische Berechnung . . . . .	55
3.9.3.	Bauphysikalische Berechnung . . . . .	55
<b>4.</b>	<b>Variantenstudie zur ganzheitlichen Bewertung von Deckenkonstruktionen</b>	<b>57</b>
4.1.	Ziele . . . . .	57
4.2.	Spektrum der Randbedingungen . . . . .	57
4.3.	Bewertungsergebnisse Massivbauweise Holz . . . . .	59
4.3.1.	Gekapselte Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton . . . . .	59
4.3.2.	Frei belassene Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton . . . . .	63
4.4.	Bewertungsergebnisse Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton . . . . .	68
4.4.1.	Gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmiteln. . . . .	68
4.4.2.	Frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmiteln. . . . .	72
4.5.	Bewertungsergebnisse Rippenbauweise Holz ohne Verbundbeton . . . . .	78
4.5.1.	Gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton. . . . .	78
4.5.2.	Frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton . . . . .	82
4.6.	Bewertungsergebnisse Massivbauweise konventionell . . . . .	87

Inhaltsverzeichnis	11
4.6.1. Stahlbetondecke . . . . .	87
4.6.2. Hohldielendecke . . . . .	92
4.7. Vergleich der Bewertungsergebnisse . . . . .	96
4.7.1. Ökonomischer und statischer Ergebnisvergleich . . . . .	96
4.7.2. Ökologischer Ergebnisvergleich . . . . .	104
<b>5. Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>107</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>111</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>115</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>117</b>
<b>Anhang</b>	





# Kapitel 1

## Einleitung

In der heutigen EDV-gestützten Planung von Tragkonstruktionen besteht der Wunsch nach möglichst disziplinsübergreifenden Softwarepaketen für verschiedene Teilbereiche des Bauingenieurwesens. Partielle Inhalte wie Statik, Bauphysik, Ökologie oder auch Ökonomie sollen in einer universellen, und aufeinander abgestimmten, Programmstruktur bearbeitbar sein, bzw. weiterführend zu einem ganzheitlich optimierten Ressourceneinsatz am Bauwerk selbst führen. Eine steigende Berechnungskomplexität mit steigender Anzahl an Programmparametern, sowie eine mögliche Korrelation der genannten Eingangsgrößen untereinander, führen allerdings zu einer baupraktisch nur schwer realisierbaren Softwarelösung, welche alle genannten Teilbereiche vollinhaltlich berücksichtigt.

Im Zuge dieser Diplomarbeit soll daher ein Konzept zur ganzheitlichen Betrachtung von Tragkonstruktionen entwickelt, und in weiterer Folge mit Hilfe einer eigens erstellten Softwareapplikation beschrieben und analysiert werden. Aufgrund des weitreichenden Umfangs der Thematik werden gewisse Randbedingungen zur Spezifikation von zu untersuchenden Tragkonstruktionen erforderlich. Aus diesem Grund liegt der Fokus der Arbeit im Speziellen auf der Untersuchung von Deckenkonstruktionen im Kontext des mehrgeschossigen Holzbaus bzw. des Holzhochhausbaus (Gebäudeklasse 5 und höher<sup>1</sup>), wobei sich für diese Einsatzbedingungen aus normativer Sicht spezielle Bauteilanforderungen ergeben.

Unter der Berücksichtigung der erwähnten besonderen normativen Anforderungen an Hochhäuser im Allgemeinen, bzw. an Holzwerkstoffe in der dortigen Anwendung im Speziellen, kann durch das entwickelte Softwarekonzept einer ganzheitlichen Betrachtung weiterführend eine Aussage zum ebenfalls ganzheitlich optimierten Einsatz der untersuchten Konstruktionsvarianten getroffen werden.

Ziel der Arbeit ist es daher, eine einerseits möglichst einfache und intuitive digitale Entscheidungshilfe für Planende zu entwickeln, sowie andererseits die daraus resultierenden Anwendungsgrenzen der einzelnen Konstruktionsvarianten zu evaluieren und zu bewerten. Unter der Berücksichtigung der komplexen Anforderungen an den Holzhochhausbau geschieht

---

<sup>1</sup> Begriffsbestimmung gemäß Österreichisches Institut für Bautechnik [14]

dies jeweils unter dem Aspekt einer möglichst ganzheitlichen Betrachtung, im Sinne von statischen, bauphysikalischen, ökologischen, sowie auch ökonomischen Kriterien.

## Kapitel 2

### Die Entwicklung des mehrgeschossigen Holzbaus

#### 2.1. Der ressourceneffiziente Baustoff Holz

Holz als natürlicher und nachwachsender Rohstoff prägte das Bauwesen bereits lange vor Beginn der baulichen Neuzeit, gehen erste historische Bauwerke unter der Verwendung dieses Materials doch bis zur Antike und noch weiter zurück. Berücksichtigt man den Siegeszug der mineralischen Baustoffe in Form von Stahlbeton ab Beginn des 20. Jahrhunderts, lässt sich bei einem Blick in die Gegenwart trotz der anhaltenden Dominanz dieses Materials wieder ein Trend hin zur vermehrten Anwendung von Holz- und Holzwerkstoffen in der konstruktiven Ausführung von Gebäuden erkennen. Intensive Baustoff- und Bauteilforschung erweitern die allgemeinen Möglichkeiten des Holzbaus, wodurch speziell der mehrgeschossige Holzbau weiter in den Fokus rückt.

Die Beweggründe hinter dem seit einigen Jahren vermehrt anhalten Trend hin zum konstruktiven Holzbau sind vielseitig. Als wesentlicher Aspekt lässt sich ein durch den voranschreitenden Klimawandel bedingtes Umdenken in Umgang und Nutzung von Ressourcen im Allgemeinen feststellen. Speziell im Bauwesen rückt daher die ressourceneffiziente Materialisierung immer weiter in den Fokus, wodurch der Einsatz von Holz- und Holzwerkstoffen positiv beeinflusst wird. Einen wesentlichen Faktor in der Verwendung der Ressource Holz stellt die regionale, nachhaltige Verfügbarkeit des Baustoffs dar.

Bei einer Gesamtfläche des österreichischen Bundesgebietes von 8,4 Mio. Hektar sind ca. 4,0 Mio. Hektar bewaldet, was einem prozentuellen Anteil von etwa 48 %, und somit annähernd der Hälfte der gesamten Republik entspricht. Steiermark und Kärnten stellen dabei mit einem Bewaldungsanteil von mehr als 60 % die waldreichsten Gebiete Österreichs dar. Mit diesem Durchschnittswert liegt Österreich im europäischen Spitzenfeld, wobei die prozentuelle Bewaldung des Bundesgebietes seit den 1960er Jahren stetig um ca. 0,8 % pro Dekade weiterhin steigt. Das prozentual größte Vorkommen von Holzressourcen in Österreich stellt Nadelholz mit einem Prozentsatz von etwa 66,9 % dar. 53,7 % des erwähnten Gesamtvolumens entfallen dabei bereits auf Fichtenholz, wodurch die Fichte als die mit Abstand weitverbreitetste Holzart in Österreich bezeichnet werden kann. Laubholz dagegen bildet mit einem Prozentsatz von nur 23,8 % weniger als ein Viertel des österreichischen Holzbestandes ab, die restlichen 9,3 % des Gesamtvolumens entfallen auf Sträucher und Blöße [1].

Die jährliche Wachstumsrate der Ressource Holz liegt in absoluten Zahlen bei etwa 30 Mio. m<sup>3</sup>, wodurch sich ideale Voraussetzungen zur Nutzung dieses ursprünglichen, und doch hoch innovativen Baustoffs ergeben. Eine nachhaltige Nutzung in der Verwendung des Materials steht hierbei grundsätzlich im Vordergrund, so werden nur etwa drei Viertel des jährlichen Nachwuchs (ca. 25,9 Mio. m<sup>3</sup>) der Holzindustrie zur weiteren Verarbeitung zugeführt [2]. Neben der Verwendung als Brennholz, Industrierundholz oder Ähnlichem, stehen inklusive zusätzlichem Sägerundholz-Import etwa 19,7 Mio. m<sup>3</sup> zur Verarbeitung der Sägeindustrie zur Verfügung. Aus der dortigen Verwertung resultieren, nach Abzug von Sägenebenprodukten und Schnittholz-Export, etwa 4 Mio. m<sup>3</sup> Schnittholz zur weiteren Verwendung als Konstruktionsholz [1].

## 2.2. Bauen mit Holz in Österreich

Betrachtet man die allgemeine bzw. innerstädtische Entwicklung des Holzbaus in Österreich bzw. Wien, lässt sich sowohl im ländlichen, als auch im urbanen Raum, ein deutliches Wachstum an Holzbauten (Gebäude mit mehr als 50 % der tragenden Konstruktion aus Holz- oder Holzwerkstoffen) erkennen (siehe Abbildung 2.1 und Abbildung 2.2).

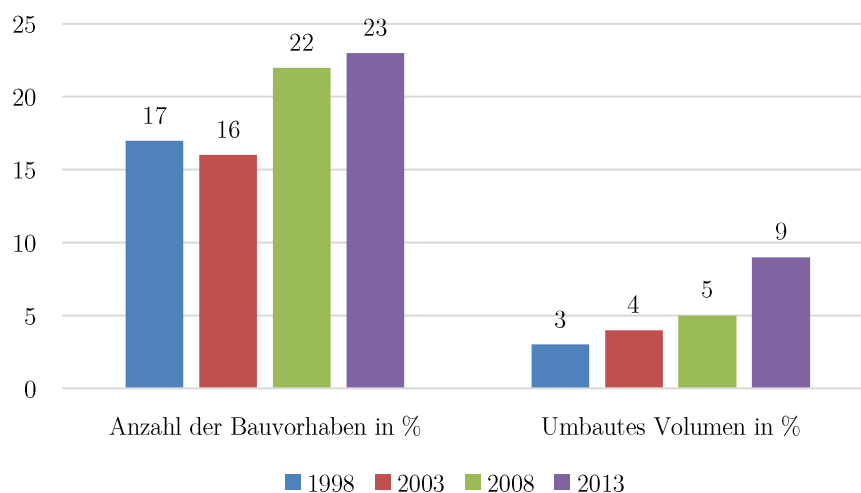


Abbildung 2.1: Holzbauanteil in Wien, Betrachtungszeitraum 1998-2013 [3]

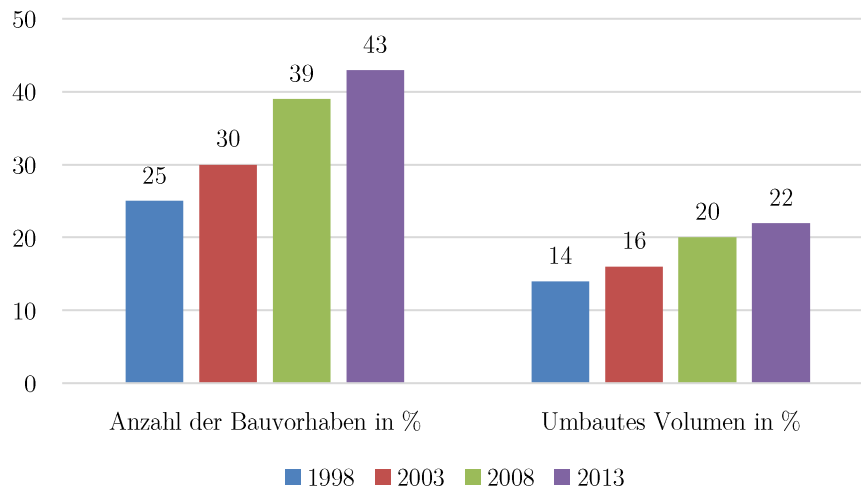


Abbildung 2.2: Holzbauanteil in Österreich, Betrachtungszeitraum 1998-2013 [3]

Im Betrachtungszeitraum von 1998 bis 2013 stieg der österreichweite Anteil an Holzbauten um 18 % (Steigerung von 25 % auf 43 %). Das umbaute Volumen vergrößerte sich dabei allerdings nur um 8 % (Steigerung von 14 % auf 22 %). Vergleicht man dazu explizit den urbanen Raum in Form von Wien, so ergibt sich hier nur eine geringere Steigerung der prozentuellen Bauvorhaben in Holz um 6 % innerhalb von 15 Jahren, allerdings verdreifacht sich das umbaute Volumen von 3% auf 9 % [3]. Dieser Umstand verdeutlicht den Trend hin zu mehrgeschossigen Holzbauten mit wesentlich gesteigerter Gebäudekubatur im Vergleich zu geringgeschossigen, geringervolumigen Bauwerken.

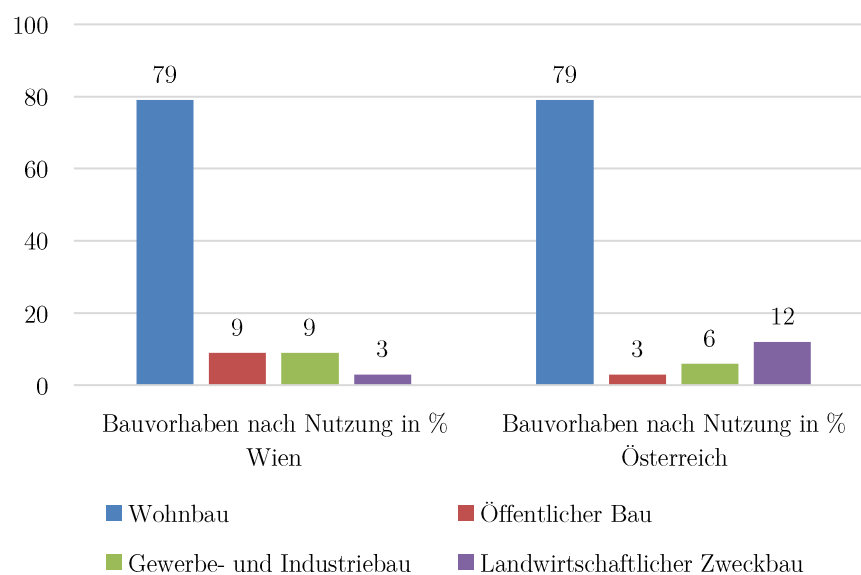


Abbildung 2.3: Holzbau in Wien und Österreich nach Art der Nutzung, Betrachtungszeitraum 2013 [3]

Betrachtet man die Holzbauten in Wien und Österreich (Betrachtungszeitraum 2013) nach der Art Nutzung bzw. der Widmung (siehe Abbildung 2.3), so lässt sich erkennen, dass mehr als drei Viertel (79 % in Wien als auch bundesweit) aller Holzbauten im Bereich des Wohnbaus umgesetzt wurden. Dieser Umstand kann als weiterer Anreiz zur Förderung des mehrgeschossigen Holzbaus, mit speziellem Augenmerk auf den Wohnbau gesehen werden.

### 2.3. Wachsende Holzbauten im nationalen und internationalen Kontext

Aufgrund der einleitend erwähnten Vorteile des Baustoffs Holz besteht seit Beginn der 2000er Jahre speziell in Mittel- und Nordeuropa ein allgemeiner Trend zum Bauen mit Holz. Neben der Umsetzung im klassischen Ingenieurholzbau in Form von weitgespannten Tragwerken im Veranstaltungs- und Industriebau, zeigt sich seit einigen Jahren vor allem auch eine Bewegung hin zum mehrgeschossigen Holzbau für Wohn- und Bürobauten, welche in ersten Anfängen auch bereits bis zum Holzhochhausbau reicht. Ein kurzer Abriss dieser Entwicklung soll anhand der nachfolgenden Abbildung 2.4 gegeben werden.

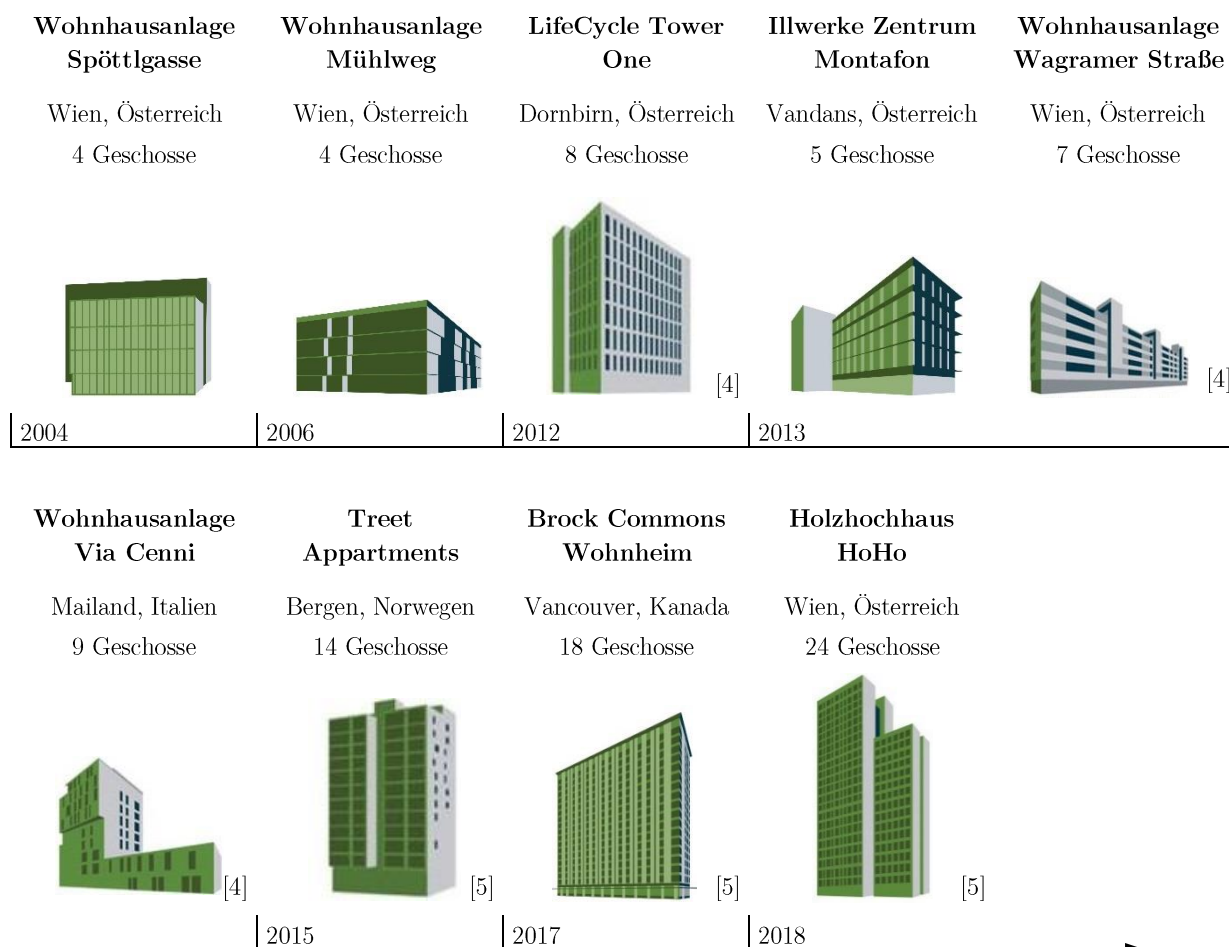


Abbildung 2.4: Chronologische Entwicklung des mehrgeschossigen Holzbaus

Grundsätzlich begründet wurden die neuen Möglichkeiten im Holzbau durch eine Änderung der Wiener Bauordnung im Rahmen einer Technikonovelle im Jahr 2001. Dadurch wurde es erstmals möglich, mehrgeschossige Holzbauten mit bis zu fünf Stockwerken mit mineralischem Erdgeschoss herzustellen [6]. Diese normative Neuinterpretation bedingte einen weiterführenden Impuls mit speziellem Fokus auf den mehrgeschossigen Holzwohnbau. So wurden im Zuge eines von der Stadt Wien beauftragten Bauträgerwettbewerbs „Holz- und Holzmischbauweise“ ab dem Jahr 2004 mehrere großmaßstäbliche Wohnbauprojekte mit ca. 270 Wohneinheiten in Holzmassivbauweise realisiert [7] [8]. Als Beispiele lassen sich hierbei die Wohnhausanlage Spöttlgasse, sowie die Wohnhausanlage Mühlweg nennen (siehe Abbildung 2.4). Eine weitere Technikonovelle im Jahr 2007 ermöglichte schließlich die normativen Rahmenbedingungen zum Einsatz des konstruktiven Holzbaus bei Gebäuden der Gebäudeklasse 5 [9].

Als österreichweit erstes Beispiel für den mehrgeschossigen Holzbau an der Grenze zum Holzhochhausbau kann der 2012, mit großem internationalen Widerhall, fertiggestellte LifeCycle Tower One in Dornbirn gesehen werden (siehe Abbildung 2.4). Das Gebäude wurde mit acht Geschossen ausgeführt und stellt das erste Ausführungsbeispiel eines systematisierten Baukastensystems für Holzhochhäuser mit bis zu 100 m Gebäudehöhe dar [10].

Neben weiteren im Folgejahr 2013 fertiggestellten österreichischen Projekten in Vorarlberg und Wien (Illwerkezentrum Montafon und Wohnhausanlage Wagramer Straße, siehe Abbildung 2.4) mit fünf bzw. sieben Geschossen, wurde in diesem Jahr ebenfalls ein neunstöckiger Wohnbau in Holzbauweise in Mailand, Italien fertiggestellt. Der beschriebene Gebäudekomplex Via Cenni ist nicht nur Italiens erster reiner Holzbau mit mehr als drei Geschossen, sondern stellt mit 124 Wohneinheiten auch Europas größte Wohnanlage auf Brettsperrholzbasis dar [11] [12].

Zwei Jahre später im Jahr 2015 gelang mit den 14 stöckigen Treet Apartments im norwegischen Bergen nicht nur der Sprung zum Holzhochhaus, sondern mit einer Gebäudehöhe von 49 m auch zum Fertigstellungszeitpunkt höchsten Holzgebäude der Welt (siehe Abbildung 2.4) [13]. Übertroffen wurde dieser Rekord allerdings bereits wieder zwei Jahre später durch das im Jahr 2017 fertiggestellte Brock Commons Wohnheim im kanadischen Vancouver. Mit einer Höhe von 55 m bzw. 18 Geschossen stellt es aktuell das höchste Holzgebäude der Welt dar.

Dieses Charakteristikum tritt allerdings nur als temporärer Zustand in Erscheinung, da mit der geplanten Fertigstellung des Holzhochhauses HoHo in Wien, Ende 2018 bzw. Anfang 2019, ein neues Zeitalter des mehrgeschossigen Holzbaus bzw. Holzhochhausbaus eingeläutet werden soll (siehe Abbildung 2.4). Mit 24 Geschossen bzw. einer Gesamthöhe von 84 m [12] übersteigt es den aktuellen Rekordhalter Brock Commons Wohnheim um beinahe 30 m, und setzt somit nicht nur konstruktive, sondern auch ausführungstechnisch neue Maßstäbe.

## **2.4. Anforderungen an den mehrgeschossigen Holzbau bzw. Holzhochhausbau**

Die rasante Entwicklung des mehrgeschossigen Holzbaus bzw. Holzhochhausbaus lässt sich als das Resultat einer umfassenden themenrelevanten Forschung, sowie auch einer daraus resultierenden verbesserten normativen Bemessungsgrundlage beschreiben.

Spricht man vom mehrgeschossigen Holzbau, bzw. weiterführend vom Holzhochhausbau, so tritt die in den Begriffsbestimmungen der OIB-Richtlinien [14] deklarierte Gebäudeklasse speziell in den Vordergrund. Je nach Charakterisierung des Gebäudes nach der Gebäudeklasse entstehen unterschiedliche Anforderungen an einzelne Bauteile, bzw. das Bauwerk als Gesamtkonzept. Neben allgemeinen nutzungsbedingten Anforderungen wie Hygiene, Nutzungssicherheit und Wärme- bzw. Schallschutz, stehen vor allem brandschutztechnische Anforderungen, sowie damit in Verbindung stehende Parameter wie Brennbarkeit, Fluchtniveau oder Fluchtwegsgeometrie im Vordergrund.

### **2.4.1. Definition der Gebäudeklassen**

Die Definition der Gebäudeklassen erfolgt, wie bereits eingangs erwähnt, nach den Begriffsbestimmungen der OIB-Richtlinien [14], herausgegeben durch das Österreichische Institut für Bautechnik. Eine ständig fortschreitende Adaption dieser Begriffsbestimmungen (wiederkehrende Novellierung) trägt wesentlich zu gesteigerten Möglichkeiten des mehrgeschossigen Holzbaus bei. Nach dem Stand der aktuellen Novelle aus dem Jahr 2015 werden Gebäude hinsichtlich der Gebäudeklasse in fünf Kategorien (Gebäudeklasse 1 bis Gebäudeklasse 5) unterteilt [14]. Gebäudeklassen an sich werden anhand der Gebäudehöhe, bzw. genauer anhand des erforderlichen Fluchtniveaus definiert. Für stetig weiterwachsende mehrgeschossige Holzbauten bzw. Holzhochhäuser, stehen daher die Gebäudeklassen mit den höchsten Fluchtniveaus (Gebäudeklasse 5 und höher) im Fokus der Betrachtung.

Der aktuelle Normungsstand nach den Begriffsbestimmungen der OIB-Richtlinien [14] definiert Bauwerke der Gebäudeklasse 5 als Gebäude mit einem Fluchtniveau von nicht mehr als 22 m, die nicht in die Gebäudeklassen 1, 2, 3 oder 4 fallen. Als Fluchtniveau wird dabei die Höhendifferenz zwischen der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen oberirdischen Geschosses und der an das Gebäude angrenzenden Geländeoberfläche nach Fertigstellung im Mittel verstanden [15]. Gebäude mit einem, diesen Grenzwert von 22 m überschreitenden Fluchtniveau, werden als Sondergebäude bzw. Hochhäuser definiert und unterliegen daher gesonderten normativen Anforderungen.



### 2.4.2. Brandschutz bei Gebäuden der Gebäudeklasse 5 und höher

Die normativen Grundlagen der brandschutztechnischen Anforderungen an Gebäude der Gebäudeklasse 5 und höher sind Teil der OIB-Richtlinie 2 [16], bzw. der darauf aufbauenden, weiterführenden Zusatzrichtlinie OIB-Richtlinie 2.3 [17].

Die OIB-Richtlinie 2 [16] kann hierbei als allgemeines Grunddokument verstanden werden. Sie beinhaltet die allgemeinen Anforderungen an den Brandschutz, sowie die für Gebäudeklasse 1 bis 5 resultierenden Anforderungen an den Feuerwiderstand von Bauteilen. Bei Gebäuden der Gebäudeklasse 5 (Fluchtniveau  $\leq 22$  m), wird hier zwischen Gebäuden mit höchstens, oder mehr als sechs oberirdischen Geschossen unterschieden. Besitzt ein Gebäude ein höheres Fluchtniveau als für Gebäudeklasse 5 zulässig (Fluchtniveau  $> 22$  m), so werden gesonderte Anforderungen an den Feuerwiderstand geltend. Hierzu verweist die OIB-Richtlinie 2 [16] auf die weiterführende OIB-Richtlinie 2.3 [17].

Für die im Fokus der Arbeit stehenden Deckenkonstruktionen im mehrgeschossigen Holzbau können in Abhängigkeit des Fluchtniveaus folgende Anforderungen an den Feuerwiderstand nach OIB-Richtlinie 2 [16] bzw. OIB-Richtlinie 2.3 [17] tabellarisch zusammengefasst werden (siehe Tabelle 2.1).

**Tabelle 2.1: Anforderungen an den Feuerwiderstand von Deckenkonstruktionen nach Fluchtniveau**

Brandabschnittsbildende Wände und Decken			
	Gebäudeklasse 5 Fluchtniveau $\leq 22$ m $\leq 6$ oberirdische Geschosse	Gebäudeklasse 5 Fluchtniveau $\leq 22$ m $> 6$ oberirdische Geschosse	Fluchtniveau $> 22$ m
Brandabschnittsbildende Wände an der Nachbargrundstücks- bzw. Bauplatzgrenze	REI 90 und A2	REI 90 und A2	REI 90 und A2
Sonstige brandabschnittsbildende Wände oder Decken	REI 90	REI 90 und A2	REI 90 und A2
Decken und Dachsrägen mit einer Neigung $\leq 60^\circ$			
	Gebäudeklasse 5 Fluchtniveau $\leq 22$ m $\leq 6$ oberirdische Geschosse	Gebäudeklasse 5 Fluchtniveau $\leq 22$ m $> 6$ oberirdische Geschosse	Fluchtniveau $> 22$ m
Decken über dem obersten Geschoss	R 60	R 60	REI 90 und <small>BROOF</small>
Trenndecken über dem obersten Geschoss	REI 60	REI 60	REI 90 und <small>BROOF</small>
Trenndecken über sonstigen oberirdischen Geschossen	REI 90	REI 90 und A2	REI 90 und A2
Decken innerhalb von Wohnungen bzw. Betriebseinheiten in oberirdischen	R 60	R 90 und A2	REI 90 und A2
Decken über unterirdischen Geschossen	REI 90 und A2	REI 90 und A2	REI 90 und A2

Wie aus Tabelle 2.1 ersichtlich, ergibt sich für Deckenkonstruktionen der Gebäudeklasse 5 (Fluchtniveau  $\leq 22$  m) mit nur wenigen Ausnahmen eine Feuerwiderstandsdauer von REI 90. Für Gebäude mit einem Fluchtniveau  $> 22$  m ist ausnahmslos eine Feuerwiderstandsdauer von REI 90 zu gewährleisten. Laut Definition dieser Charakterisierung nach ÖNORM EN 13501-2 [18] müssen hierbei die funktionalen Kriterien Tragfähigkeit (R), Raumabschluss (E) und Wärmedämmung (I) über einen Zeitraum von 90 min erhalten bleiben. Bei Gebäuden der Gebäudeklasse 5 können als Ausnahmen Deckenkonstruktionen über dem obersten Geschoss genannt werden, da hier eine Widerstandsdauer von 60 min als ausreichend definiert ist.

Hinsichtlich der Definition der Brennbarkeit nach ÖNORM EN 13501-1 [19] werden für Gebäude der Gebäudeklasse 5 teilweise nichtbrennbare (A2) Kern- bzw. Verkleidungsbaustoffe gefordert. Für Gebäude mit einem Fluchtniveau  $> 22$  m ist diese Anforderung bis auf Ausnahme von Decken über dem obersten Geschoss ( $B_{\text{ROOF}}$ , schwerentflammbar) durchgehend zu erfüllen.

Tabelle 2.1 zeigt deutlich, dass speziell für Gebäude mit einem Fluchtniveau  $> 22$  m höchste Anforderungen an den Feuerwiderstand, sowie auch an die Brennbarkeit von Deckenkonstruktionen gestellt werden. Können diese Anforderungen nur unter erheblicher Beeinträchtigung des Widmungszwecks sichergestellt werden, besteht daher zusätzlich die Möglichkeit, unter Einhaltung der allgemeinen Schutzziele des Brandschutzes, von den angeführten Anforderungen abzuweichen.

Diese alternative Konzeptionsweise erfolgt grundsätzlich nach dem zugehörigen OIB-Leitfaden zur OIB-Richtlinie 2 [20] und kann sowohl für Gebäude der Gebäudeklasse 5 (Fluchtniveau  $\leq 22$  m), als auch für Gebäude mit einem höheren Fluchtniveau, und damit unabhängig von der eigentlichen Fluchthöhe, angewendet werden.

Ziel des Leitfadens ist es ein, trotz normativer Abweichungen, äquivalentes Sicherheitsniveau zu gewährleisten. Erreicht werden kann diese Forderung durch eine Ausführung von zusätzlichen baulichen bzw. anlagetechnischen Kompensationsmaßnahmen in Form von Löschanlagen, oder durch eine Kapselung der tragenden Bauteile. Diese normative Gegebenheit ermöglicht dem mehrgeschossigen Holzbau bzw. Holzhochhausbau ein unglaubliches Potential, da unter der Einhaltung der allgemeinen Schutzziele, keine direkten Einschränkungen der Gebäudehöhe von Holzgebäuden mehr gegeben sind, und die Holzbauweise damit als an sich äquivalente Konstruktionsform zu konventionellen Bauweisen gesehen werden kann.

## **2.5. Konstruktive Ausführungsmöglichkeiten im mehrgeschossigen Holzbau**

Neben der angeführten normativen Entwicklung, haben vor allem konstruktive Innovationen zu einer wesentlichen Weiterentwicklung des mehrgeschossigen Holzbaus geführt. Anhand der eingangs erläuterten Ausführungsbeispiele für mehrgeschossige Holzbauten im Zeitraum von 2004 bis heute, sollen diese konstruktiven Entwicklungen aufgezeigt und weiterführend analysiert werden.

### **2.5.1. Gliederung der Ausführungsmöglichkeiten nach statischen Kriterien**

In der ingenieurmäßigen Konzeption von Gebäuden spielt die statische Wirkung des Gesamttragwerks eine wesentliche Rolle. Neben nutzungsbedingten Lasteinwirkungen müssen vor allem dynamisch wirkende Beanspruchungen wie Wind oder Erdbeben durch das Gebäude aufgenommen und dissipiert, bzw. an die Fundamentstruktur weitergegeben werden können. Wesentlichen Anteil an dem durch die äußere Belastung entstehenden Kraftfluss innerhalb einer Struktur haben einerseits die Tragwerksform selbst, sowie andererseits auch die damit einhergehenden Bauteil- und Knotensteifigkeiten, welche gerade beim Baustoff Holz besonders in den Fokus rücken. Hinsichtlich der Tragwerksform der Gesamtkonstruktion können die analysierten Ausführungsbeispiele in drei grundlegende Bauweisen unterteilt werden:

- Plattenbauweise
- Skelettbauweise
- Zellenbauweise

Abhängig von der Bauweise der Gesamtkonstruktion ergeben sich unterschiedliche Anforderungen an die jeweiligen Komponenten der ganzheitlichen Struktur. Betrachtet man im Speziellen die im Fokus der Arbeit stehenden Deckenkonstruktionen, können die wesentlichen Einflussfaktoren auf Bauteilebene wie folgt beschrieben werden:

- Aussteifungskonzept/Horizontale Lastableitung des Gebäudes
- Wand-Deckenanschlüsse bzw. allgemeine Knotenanschlüsse
- Deckentyp
  - Tragwerksform
  - Verbundwirkung
  - Spannweite

Wie die Aufzählungen verdeutlichen, hängt ein ganzheitliches strukturelles Gebäudekonzept einerseits von der Bauweise der Gesamtstruktur ab, wird aber andererseits auch wesentlich durch die Tragstruktur auf Bauteilebene bestimmt. In den nachfolgenden Kapiteln sollen daher

die analysierten Ausführungsbeispiele anhand dieser Feststellungen gegliedert, und weiterführend auf ihre Potentiale hin untersucht werden.

### 2.5.2. Plattenbauweise

Die Plattenbauweise stellt die ursprünglichste Form des mehrgeschossigen Holzbaus dar. Bei diesem Konstruktionsprinzip werden sowohl die tragenden Wand-, als auch die Deckenelemente, mittels plattenförmigen Massivholzbauteilen ausgeführt. Das Grundprinzip dieser Bauweise kann in Abbildung 2.5 betrachtet werden.

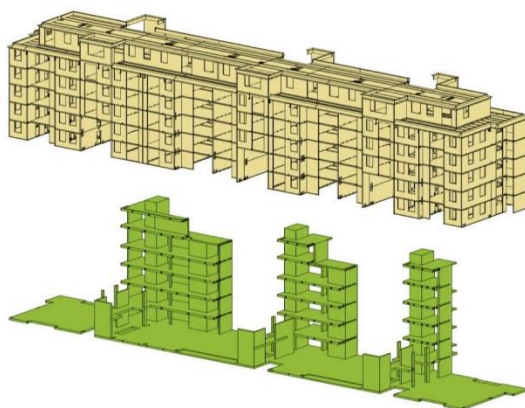
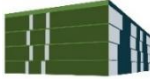




Abbildung 2.5: Grundprinzip der Plattenbauweise [21]

Als Beispiele für diese Bauweise können anhand der Analyse realisierter Ausführungsbeispiele folgende Bauwerke nach Tabelle 2.2 genannt werden.

Tabelle 2.2: Analytierte Ausführungsbeispiele in Plattenbauweise

Bauwerk	Tragwerksform Deckenkonstruktion	Verbundwirkung Deckenkonstruktion	Kompensations- maßnahme Deckenkonstruktion
 Wohnhausanlage Spöttlgasse Wien, Österreich	Massivbauweise	kein Verbund	Kapselung
 Wohnhausanlage Mühlweg Wien, Österreich	Massivbauweise	kein Verbund	Kapselung
 Wohnhausanlage Wagramer Straße Wien, Österreich [4]	Massivbauweise	Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln	Kapselung
 Wohnhausanlage Via Cenni Mailand, Italien [4]	Massivbauweise	kein Verbund	Kapselung

Als wesentlicher Vorteil der analysierten Ausführungsbeispiele kann die großflächig vorhandene kombinierte Platten- und Scheibenwirkung der einzelnen Elemente genannt werden. Erforderliche Bauwerkskerne zur Bauwerksaussteifung können daher nicht nur als mineralische Stahlbeton- (z.B. Wohnhausanlage Wagramer Straße), sondern auch als reine Massivholzkonstruktion ausgeführt werden. Voraussetzung dafür ist eine dementsprechende Berücksichtigung der brandschutztechnischen Anforderungen, sowie eine entsprechende Dimensionierung der erforderlichen Knotenverbindungen. Die Verbindung dieser Wand-Deckenanschlüsse erfolgt dabei in der Regel mittels konventionellen, stiftförmigen Verbindungsmitteln. Bei einer entsprechenden Dimensionierung dieser Verbindungsmittel kann eine sehr hohe Knotensteifigkeit bei gleichzeitiger Duktilität der Verbindung erreicht werden, wodurch ein ausreichendes dissipatives Verhalten im Erdbebenfall sichergestellt werden kann. Ein entsprechendes Konzept dieser Ausführungsvariante wurde beim neugeschossigen Wohnbau Via Cenni in Mailand, Italien umgesetzt.

Die Plattenbauweise im mehrgeschossigen Holzbau charakterisiert sich durch Deckenkonstruktionen in Massivbauweise, in Form von Brettsperrholzelementen mit oder ohne zusätzliche Verbundmaßnahmen. So wurden bei den analysierten Objekten in Plattenbauweise hauptsächlich konventionelle Brettsperrholzelemente ohne zusätzliche Verbundwirkung verwendet (Wohnhausanlage Spöttlgasse, Wohnhausanlage Mühlweg, bzw. Wohnhausanlage Via Cenni). Lediglich für die Wohnhausanlage Wagramer Straße, wurden Brettsperrholzelemente mit zusätzlichem Verbundbeton und stiftförmigen Verbindungsmitteln verwendet. Die Deckenspannweite hängt bei der Plattenbauweise wesentlich vom baulichen Konzept und der fertigungstechnischen Limitierung in Massivbauweise ab. Im gegenständlichen Fall der analysierten Objekte betragen die minimale bzw. maximale Spannweite 4,6 m [22] bzw. 6,8 m [23] bei Brettsperrholzdecken ohne Verbund (Wohnhausanlage Mühlweg bzw. Wohnhausanlage Via Cenni). Bei Brettsperrholzdecken mit zusätzlichem Verbundbeton und stiftförmigen Verbindungsmitteln kann eine maximale Spannweite von 6,25 m [8] (Wohnhausanlage Wagramer Straße) festgestellt werden.

Aus brandschutztechnischer Sicht charakterisieren sich alle Deckenkonstruktionen in Massivbauweise durch bauliche Kompensationsmaßnahmen in Form einer gekapselten Ausführung.

### 2.5.3. Skelettbauweise

Im Gegensatz zur Plattenbauweise beschränkt sich die Skelettbauweise auf vertikale Scheibenelemente im Bereich der Kernaussteifung. Bei einem entsprechenden Lastaufnahmevermögen der Kernstruktur werden somit keine zusätzlichen vertikalen Scheibenelemente an der Außenseite des Gebäudes notwendig. Die äußere Struktur muss nur eine vertikale Tragfunktion übernehmen und kann daher mittels gelenkig angeschlossenen

Stützen ausgeführt werden. Das Grundprinzip dieser Bauweise kann in Abbildung 2.6 betrachtet werden.

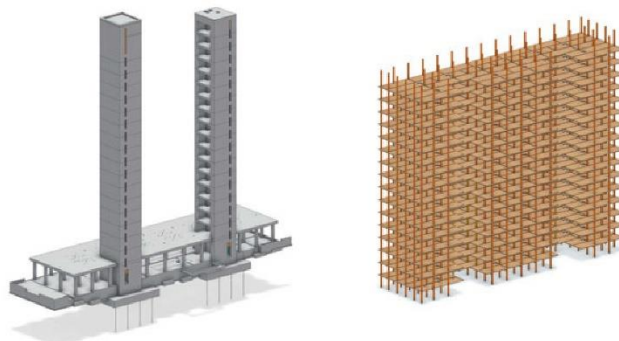






Abbildung 2.6: Grundprinzip der Skelettbauweise [12]

Als Beispiele für diese Bauweise können anhand der Analyse realisierter Ausführungsbeispiele folgende Bauwerke nach Tabelle 2.3 genannt werden.

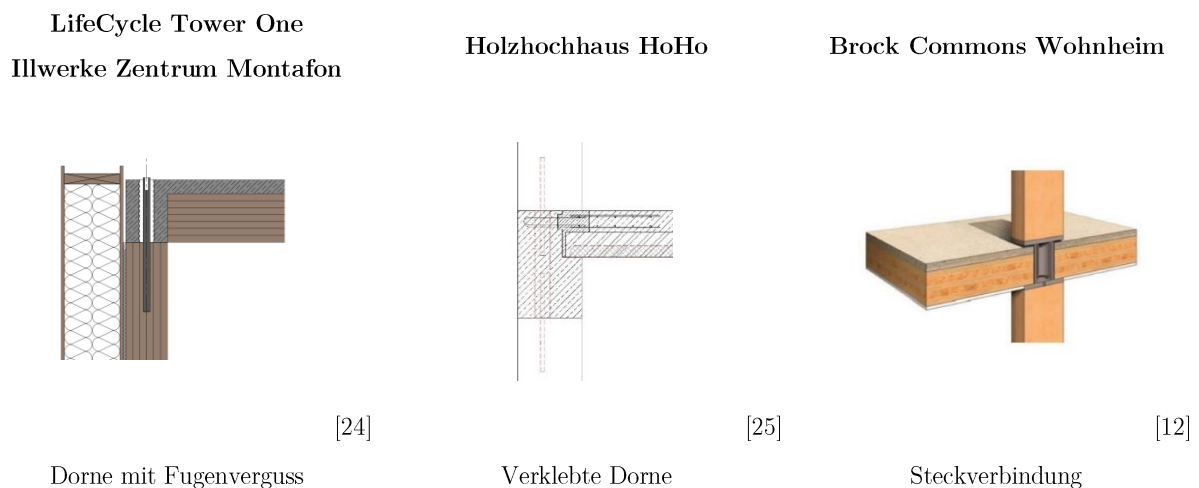
Tabelle 2.3: Analytierte Ausführungsbeispiele in Skelettbauweise

Bauwerk	Tragwerksform Deckenkonstruktion	Verbundwirkung Deckenkonstruktion	Kompensations- maßnahme Deckenkonstruktion	
 [4]	LifeCycle Tower One Dornbirn, Österreich	Rippenbauweise	Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmiteln	Löschanlage
	Illwerke Zentrum Montafon Vandans, Österreich	Rippenbauweise	Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmiteln	Löschanlage
 [5]	Brock Commons Wohnheim Vancouver, Kanada	Massivbauweise	kein Verbund	Kapselung
 [5]	Holzhochhaus HoHo Wien, Österreich	Massivbauweise	Verbundbeton mit Kervenverbindung	Löschanlage

Die horizontale Scheibenwirkung zur Übertragung von horizontalen Lasten, wie Erdbeben- oder Windeinwirkungen, auf den Gebäudekern wird in der Skelettbauweise nur über die geschossweise Schubsteifigkeit der einzelnen Decken aktiviert. Hierfür muss eine dementsprechende Elementsteifigkeit der geschossweisen Deckenkonstruktionen bereitgestellt werden. Diese Anforderung kann grundsätzlich anhand verschiedener Arten von Deckenkonstruktionen realisiert werden. So wurde bei den analysierten Ausführungsbeispielen neben der Massivbauweise, in Form von Brettsper Holzdecken ohne Verbund (Brock Commons

Wohnheim) bzw. Brettsper Holzdecken mit zusätzlichem Verbundbeton mit Kerfenverbindung (Holzhochhaus HoHo), ebenfalls die Rippenbauweise, in Form von Rippendecken mit zusätzlichem Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln (LifeCycle Tower One, bzw. Illwerkezentrum Montafon) zur Anwendung gebracht.

Neben der Form der Deckenkonstruktion ist die Knotenausbildung zwischen horizontalen und vertikalen Tragelementen an der Gebäudeaußenseite in der Skelettbauweise ebenfalls von zentraler Bedeutung. Bei einer gelenkigen Lagerung der Stützen wird eine passgenaue Lagesicherung der vertikalen Tragelemente erforderlich. Diesem Umstand wurde bei den analysierten Ausführungsbeispielen mittels Dornen (LifeCycle Tower One, Illwerke Zentrum Montafon und Holzhochhaus HoHo) bzw. Steckverbindungen (Brock Commons Wohnheim) Rechnung getragen. Beim Holzhochhaus HoHo wurde die Einzelverbindung der Deckenelemente zusätzlich um einen umlaufenden Stahlbetonringzuganker ergänzt. Dadurch kann eine ideale horizontale Scheibenwirkung der einzelnen Geschosse erreicht werden. Eine Übersicht über die verschiedenen Möglichkeiten der Knotenausbildung ist in Abbildung 2.7 ersichtlich.



**Abbildung 2.7: Knotenausbildung zwischen Deckenscheiben und Stützen in Skelettbauweise**

Aus brandschutztechnischer Sicht charakterisieren sich die Deckenkonstruktionen in Massiv-, sowie auch Rippenbauweise durch unterschiedliche Arten von Kompensationsmaßnahmen. Unabhängig von der Konstruktionsform finden in der Massivbauweise sowohl bauliche (Brock Commons Wohnheim), als auch anlagentechnische (Holzhochhaus HoHo) Kompensationsmaßnahmen, in Form einer Kapselung bzw. Löschanlage, Anwendung. Innerhalb der analysierten Ausführungsbeispiele in Rippenbauweise werden lediglich anlagentechnische Kompensationsmaßnahmen in Form einer Löschanlage ausgeführt. Hierbei können die Vorteile der Rippenbauweise ideal genutzt werden. Da sich aufgrund des Rippenzwischenraums der Konstruktion ein ausgezeichneter Pufferraum zur Leitungsführung ergibt, kann eine weiterführende Querschnittserhöhung der Deckenstruktur aufgrund der anlagentechnischen Kompensationsmaßnahme vermieden werden.

Die Deckenspannweite in der Skelettbauweise wird wesentlich durch den Achsraster der Stützelemente, sowie die Tragwerksform der jeweiligen Deckenkonstruktion beeinflusst. Am analysierten Beispiel des Brock Commons Wohnheims liegt die Deckenspannweite bei regelmäßigem Stützraster und einer Ausführung in Massivbauweise in Form von Brettsperrholzelementen ohne Verbund bei lediglich 4 m [23]. Werden die Deckenelemente als direktes Einfeldträgersystem zwischen Gebäudeaußenseite und Gebäudekern ausgeführt, ergeben sich je nach Deckentyp größere Spannweiten. So beträgt die Deckenspannweite bei einer Ausführung in Massivbauweise in Form von Brettsperrholzelementen mit zusätzlichem Verbundbeton mit Kervenverbindung (Holzhochhaus HoHo in Wien) bis zu 6,7 m [25]. Bei einer Ausführung in Rippenbauweise, in Form von Rippendecken mit zusätzlichem Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln, werden bei den analysierten Ausführungsbeispielen (LifeCycle Tower, bzw. Illwerkezentrum Montafon) Spannweiten von bis zu 8,1 m [23] maßgebend.

#### 2.5.4. Zellenbauweise

Die Zellenbauweise kann als Mischform von Platten- und Skelettbauweise gesehen werden. Als analysiertes Ausführungsbeispiel zu dieser Bauweise können die Treet Apartments in Bergen, Norwegen nach Tabelle 2.4 genannt werden.

Tabelle 2.4: Analysiertes Ausführungsbeispiel in Zellenbauweise

Bauwerk	Tragwerksform Deckenkonstruktion	Verbundwirkung Deckenkonstruktion	Kompensations- maßnahme Deckenkonstruktion
 Treet Apartments Bergen, Norwegen [5]	Massivbauweise (Holz & Stahlbeton)	kein Verbund	keine bzw. Kapselung

Das analysierte Ausführungsbeispiel charakterisiert sich hinsichtlich des Kraftflusses durch einen aussteifenden Kern, welcher allerdings zusätzlich durch ein an der Gebäudeaußenseite situiertes, lastableitendes Brettschichtholz-Stabwerk unterstützt wird. Das Grundprinzip dieser Bauweise kann in Abbildung 2.8 betrachtet werden.



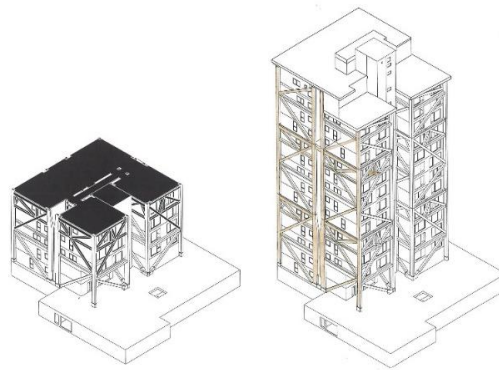


Abbildung 2.8: Grundprinzip der Zellenbauweise [11]

Mehrere aussteifende Supergeschosse aus Stahlbeton (siehe Abbildung 2.8 links) führen zu einer schubsteifen Verbindung zwischen Kern und lastableitendem Stabwerk. Zwischen dem Haupttragwerk implementierte, vorgefertigte Raumzellen aus Brettsperrholz können daher rein selbsttragend ausgeführt werden. Sie müssen lediglich Lasten aus einer internen Nutzung aufnehmen und weiterführend in die Haupttragstruktur einleiten.

Die Deckenkonstruktionen der vorgefertigten Raumzellen sind in Massivbauweise in Form von Brettsperrholzelementen ohne Verbund ausgeführt, wobei hier zwischen drei verschiedenen Modulvarianten unterschieden werden kann. Je nach Modultyp variiert die maximale Deckenspannweite zwischen 4 m bzw. 5,3 m [26].

Aus brandschutztechnischer Sicht weicht dieses in Norwegen situierte Gebäude klar von den in Österreich geforderten Konzepten zur Sicherstellung des Brandschutzes ab, da hier trotz einer frei belassenen, und somit brennbaren, Deckenuntersicht keine zusätzliche anlagentechnische Kompensationsmaßnahme in Form einer Löschanlage ausgeführt wird.

## 2.6. Resümee

Eine überblicksmäßige Analyse der gezeigten Ausführungsbeispiele im mehrgeschossigen Holzbau lässt auf ein grundsätzliches Einsatzpotential des Baustoffs Holz schließen. Die Bauwerksform im Allgemeinen, sowie die Tragwerksform auf Bauteilebene im Speziellen, bedingen die wesentlichen strukturellen Eigenschaften der Gesamtkonstruktion. Resümierend lassen sich daher unterschiedliche Randbedingungen für die im Fokus der Arbeit stehenden Deckenkonstruktionen im mehrgeschossigen Holzbau bzw. Holzhochhausbau erkennen. Diese Ergebnisse sollen im Folgenden zusammengefasst, und weiterführend zur Entwicklung eines ganzheitlichen Bewertungssystems von Deckenkonstruktionen im Holzhochhausbau (Fluchtniveau > 22m) genutzt werden. Eine Übersicht über die für das Bewertungssystem maßgebenden Randbedingungen kann der nachfolgenden Tabelle 2.5 bzw. Tabelle 2.6 entnommen werden.

Tabelle 2.5: Randbedingungen des mehrgeschossigen Holzbaus in Massivbauweise


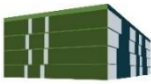







Bauwerk	Verbundwirkung Deckenkonstruktion	Maximale Spannweite Deckenkonstruktion	Kompensations- maßnahme Deckenkonstruktion
 Wohnhausanlage Spöttlgasse Wien, Österreich	kein Verbund	ca. 6,00 m	Kapselung
 Wohnhausanlage Mühlweg Wien, Österreich	kein Verbund	ca. 4,60 m	Kapselung
 Wohnhausanlage Wagramer Straße Wien, Österreich [4]	Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmiteln	ca. 6,25 m	Kapselung
 Wohnhausanlage Via Cenni Mailand, Italien [4]	kein Verbund	ca. 6,80 m	Kapselung
 Treet Appartments Bergen, Norwegen [5]	kein Verbund	ca. 5,30 m	keine bzw. Kapselung
 Brock Commons Wohnheim Vancouver, Kanada [5]	kein Verbund	ca. 4,00 m	Kapselung
 Holzhochhaus HoHo Wien, Österreich [5]	Verbundbeton mit Kervenverbindung	ca. 6,70 m	Löschanlage

Tabelle 2.6: Randbedingungen des mehrgeschossigen Holzbaus in Rippenbauweise

Bauwerk	Verbundwirkung Deckenkonstruktion	Maximale Spannweite Deckenkonstruktion	Kompensations- maßnahme Deckenkonstruktion
 LifeCycle Tower One Dornbirn, Österreich [4]	Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmiteln	ca. 8,10 m	Löschanlage
 Illwerke Zentrum Montafon Vandans, Österreich	Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmiteln	ca. 8,10 m	Löschanlage

Hinsichtlich der baulichen Nutzung des mehrgeschossigen Holzbaus stellen sich die analysierten Beispiele sowohl als Wohn-, als auch Bürobauten, dar. Anhand der chronologischen Entwicklung der analysierten Objekte lässt sich, speziell im Lauf der letzten Jahre, allerdings ein vermehrter Trend hin zum mehrgeschossigen Holzbau für Bürogebäude bzw. zu einer kombinierten Nutzung aus Wohn- und Bürogebäude erkennen.

Aus Sicht der Tragwerksform kann anhand Tabelle 2.5 bzw. Tabelle 2.6 eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen Massiv- und Rippenbauweise der jeweiligen Deckenkonstruktionen getroffen werden. Diese unterschiedlichen Formen von Tragstrukturen bieten wiederum verschiedene Ausführungsmöglichkeiten auf Bauteilebene hinsichtlich ihrer Verbundwirkung, sowie ihrer brandschutztechnischen Kompensationsmaßnahmen. Anhand dieser Parameter lassen sich weiterführende Randbedingungen zur Entwicklung eines ganzheitlichen Bewertungssystems für Deckenkonstruktionen bei Holzhochhäusern entwickeln, welche nachfolgend in Kapitel 3 genauer beschrieben werden.



## **Kapitel 3**

# **Entwicklung eines ganzheitlichen Bewertungssystems für Deckenkonstruktionen**

### **3.1. Allgemeines Programmkonzept**

Ziel der Arbeit ist es, ein Konzept zur ganzheitlichen Bewertung von verschiedenen Deckenkonstruktionen bei Holzhochhäusern zu entwickeln, wodurch eine Evaluierung der Anwendungsgrenzen der einzelnen Konstruktionsvarianten ermöglicht werden soll. Anhand dieser Entwicklung kann daher einerseits das Potential der einzelnen Deckentypen aufgezeigt, sowie andererseits auch eine planerische Entscheidungshilfe in der Auswahl von geeigneten Deckenkonstruktionen bereitgestellt werden. Ein besonderer Schwerpunkt in der Konzeption des Bewertungssystems liegt in der Findung von gesamtheitlich optimierten Konstruktionsvarianten.

Um diese grundsätzliche Motivation in Form einer programmtechnischen Umsetzung zu realisieren, müssen zu Beginn unter der Berücksichtigung allgemeiner Randbedingungen die gewünschten Ergebnisparameter, sowie alle auf dieses Ergebnis wirkenden Einflussparameter definiert werden.

### **3.2. Definition der Ergebnis- und Einflussparameter**

Als Ergebnisparameter können diejenigen Größen verstanden werden, durch welche schlussendlich ein sinnvoller Einsatz der jeweiligen Deckenkonstruktion definiert werden kann. Im Kontext einer konstruktions- und ressourceneffizienten Tragstruktur werden dafür ein statischer (Aufbauhöhe), ein ökonomischer (Gesamtkosten), sowie ein ökologischer (OI3-Ökoindex) Ergebnisparameter festgelegt.

Diese genannten Ergebnisparameter stehen mit einer Vielzahl von Einflussparametern in gegenseitiger Wechselwirkung. Ein Überblick über die für die Aufbauhöhe, den OI3-Ökoindex, sowie die Gesamtkosten maßgebenden Einflussgrößen kann nach folgender Gliederung gegeben werden:

- Geometrische Einflussgrößen
  - Spannweite
  - Deckenfläche
- Statische Einflussgrößen
  - Belastung aufgrund der baulichen Nutzung / Nutzungskategorie
  - Bauteilnachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) (bzw. ULS – Ultimate limit state)
  - Bauteilnachweise für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) (bzw. SLS - Serviceability limit state)
- Bauphysikalische Einflussgrößen
  - Anforderungen an den Wärmeschutz
  - Anforderungen an den Schallschutz (Luftschall- bzw. Trittschallschutz)
  - Anforderungen an den Brandschutz
- Ökologische Einflussgrößen
  - Ökologische Kennwerte der verwendeten Materialien
- Ökonomische Einflussgrößen
  - Kosten für verwendete Materialien
  - Kosten für erforderliche Arbeiter
  - Stundenaufwände für erforderliche Arbeiten

### 3.3. Definition der Randbedingungen

Die für die Ergebnisparameter maßgebenden Einflussgrößen können durch vordefinierte themenrelevante Randbedingungen eingegrenzt werden. Wie in Kapitel 2.6 festgehalten, resultieren für Holzhochhausbauten (Fluchtniveau  $> 22$  m) aufgrund normativer Anforderungen, sowie infolge der Analyse von mehreren Ausführungsbeispielen des mehrgeschossigen Holzbaus, verschiedene Randbedingungen hinsichtlich der Art der baulichen Nutzung, des Brandschutzes, sowie der Klassifikation der berücksichtigten Konstruktionstypen und dem damit einhergehenden Spannweitespektrum.

#### 3.3.1. Bauliche Nutzung und damit in Verbindung stehende Randbedingungen

Als Art der baulichen Nutzung werden für das Bewertungssystem, sowohl der Bereich des Wohn-, als auch der des Bürobaus festgelegt. Aus dieser Art der baulichen Nutzung resultieren einerseits statische (Lastannahmen für Nutzlasten im Hochbau), sowie auch andererseits bauphysikalische (Wärme- und Schallschutz) Randbedingungen.

Lastannahmen für Nutzlasten von Wohn- und Bürobauten werden nach ÖNORM B 1991-1-1 [27] definiert, und für das Bewertungssystem gemäß dem Spektrum der nachfolgenden Tabelle 3.1 festgelegt.

Tabelle 3.1: Nutzlasten von Wohn- und Bürobauten

Nutzungsmerkmal	Kategorie	Beschreibung	Charakteristische Nutzlast $q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Wohnflächen	A1	Flächen von Räumen in Wohngebäuden und -häusern	2,00
	A2	Flächen von nicht ausbaubaren, begehbaren Dachböden	1,50
Büroflächen	B1	Büroflächen in bestehenden Gebäuden	2,00
	B2	Büroräume in Bürogebäuden	3,00

Die Anforderungen an den Wärmeschutz für Wohn- und Bürobauten werden in der OIB-Richtlinie 6 [28] definiert und werden für das Bewertungssystem gemäß dem Spektrum der nachfolgenden Tabelle 3.2 festgelegt.

Tabelle 3.2: Anforderungen an den Wärmeschutz von Wohn- und Bürobauten

Bauteil	Wärmedurchgangskoeffizient U [W/m <sup>2</sup> K]
Decken gegen Außenluft und gegen Dachräume	$\leq 0,20$
Decken gegen unbeheizte Gebäudeteile	$\leq 0,40$
Decken gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten	$\leq 0,90$
Decken innerhalb von Wohn- und Betriebseinheiten	-

Die Anforderungen an den Schallschutz für Wohn- und Bürobauten werden in der OIB-Richtlinie 5 [29] definiert und werden für das Bewertungssystem gemäß dem Spektrum der nachfolgenden Tabelle 3.3 festgelegt.

Tabelle 3.3: Anforderungen an den Schallschutz von Wohn- und Bürobauten

Nutzung	Bewertetes Schalldämmmaß $R_w$ [dB]	Bewerteter Standard-Trittschallpegel $L'_{nT,w}$ [dB]
Wohnbauten	$\geq 43-58$	$\leq 48-58$
Bürobauten	$\geq 43-53$	$\leq 48-58$

Die in der OIB Richtlinie 5 [29] geforderten Grenzwerte an den Trittschallschutz beziehen sich vollständig auf den bewerteten Standard-Trittschallpegel  $L'_{nT,w}$ . Dieser bewertete Standard-Trittschallpegel ist allerdings von mehreren Faktoren abhängig, welche nicht im direkten Zusammenhang mit der Deckenkonstruktion stehen (Trittschallübertragung über flankierende Bauteile, Volumen des Empfangsraumes). Aus diesem Grund bezieht sich das Bewertungssystem stattdessen auf den äquivalenten bewerteten Normtrittschallpegel  $L_{n,w}$ , welcher ein Maß für den bewerteten Standard-Trittschallpegel ohne Korrekturbeiwerte und äußere Einflüsse darstellt.

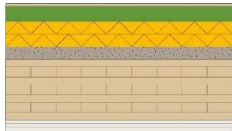

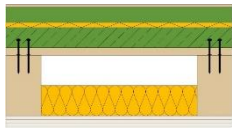
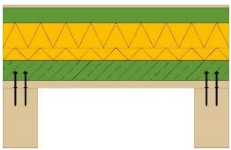
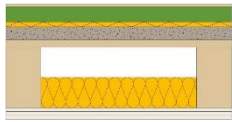
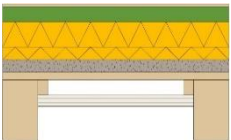
### 3.3.2. Brandschutztechnische Randbedingungen

Als Anforderungen an den Brandschutz werden für das Bewertungssystem nach österreichischem Normungsstand ein Feuerwiderstand von REI 90, sowie eine Brennbarkeit der Kategorie A2 (nicht brennbare Oberflächen) festgelegt. Diese Anforderungen werden grundsätzlich in der OIB-Richtlinie 2 [16] bzw. OIB-Richtlinie 2.3 [17] definiert. Als Möglichkeiten zur Erfüllung dieser Kriterien werden innerhalb des Bewertungssystem bauliche und anlagentechnische Kompensationsmaßnahmen in Form einer Kapselung bzw. einer Löschanlage berücksichtigt.

### 3.3.3. Konstruktionstypologische Randbedingungen

Aufgrund der Analyse der Ausführungsbeispiele nach Kapitel 2 können sowohl die Massiv-, als auch die Rippenbauweise, mit oder ohne zusätzlichem Verbundbeton, als maßgebende Konstruktionsformen für den mehrgeschossigen Holzbau bzw. Holzhochhausbau erachtet werden. Um einerseits möglichst ganzheitliche Ergebnisse hinsichtlich der Auswahl von Deckenkonstruktionen in Holzbauweise, sowie andererseits eine ideale Vergleichbarkeit der Strukturen mit konventionellen Bauweisen, zu erreichen, werden in das Bewertungssystem folgende Konstruktionstypen nach Tabelle 3.4 mit einbezogen.

Tabelle 3.4: Berücksichtigte Aufbauvarianten innerhalb des Bewertungssystems

Massivbauweise Holz	
Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton gekapselt	Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton frei belassen
	
Rippenbauweise Holz	
Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmiteln gekapselt	Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmiteln frei belassen
	
Rippendecke ohne Verbundbeton gekapselt	Rippendecke ohne Verbundbeton frei belassen
	

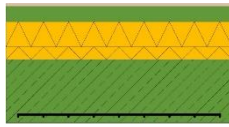


---

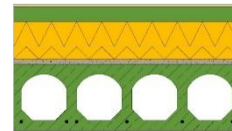
**Massivbauweise konventionell**

---

Stahlbetondecke



Hohldielendecke



Wie aus Tabelle 3.4 ersichtlich, werden für das Bewertungssystem aus Sicht des Holzbaus einerseits die Massivbauweise in Form von Brettsperrholzdecken ohne Verbund, sowie andererseits die Rippenbauweise in Form von Rippendecken mit und ohne Verbund, berücksichtigt. Um den hohen Anforderungen an den Brandschutz im Kontext von Holzhochhausbauten Rechnung zu tragen, werden für die genannten Konstruktionstypen sowohl gekapselte (bauliche Kompensationsmaßnahme), als auch frei belassene Konstruktionsuntersichten mit Löschanlage (anlagetechnische Kompensationsmaßnahme) in der Programmroutine implementiert.

Damit neben der eigentlichen Bewertung von Holzdeckenkonstruktionen im Holzhochhausbau auch eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Holztragwerke mit konventionellen Deckenkonstruktionen ermöglicht wird, werden neben den genannten Holzkonstruktionen zusätzlich auch Konstruktionsvarianten mit mineralischer Tragstruktur berücksichtigt. Diese werden in Massivbauweise, in Form der Stahlbeton-, sowie der Hohldielendecke, in das Bewertungssystem mit einbezogen. Eine spezielle brandschutztechnische Oberflächenkonfiguration wie bei Holztragwerken ist bei diesen Konstruktionstypen aufgrund einer generellen Nichtbrennbarkeit des Konstruktionskerns nicht erforderlich. Vielmehr können die Anforderungen an den Feuerwiderstand hierbei lediglich durch die Ausführung einer gewissen Mindestbetondeckung erfüllt werden.

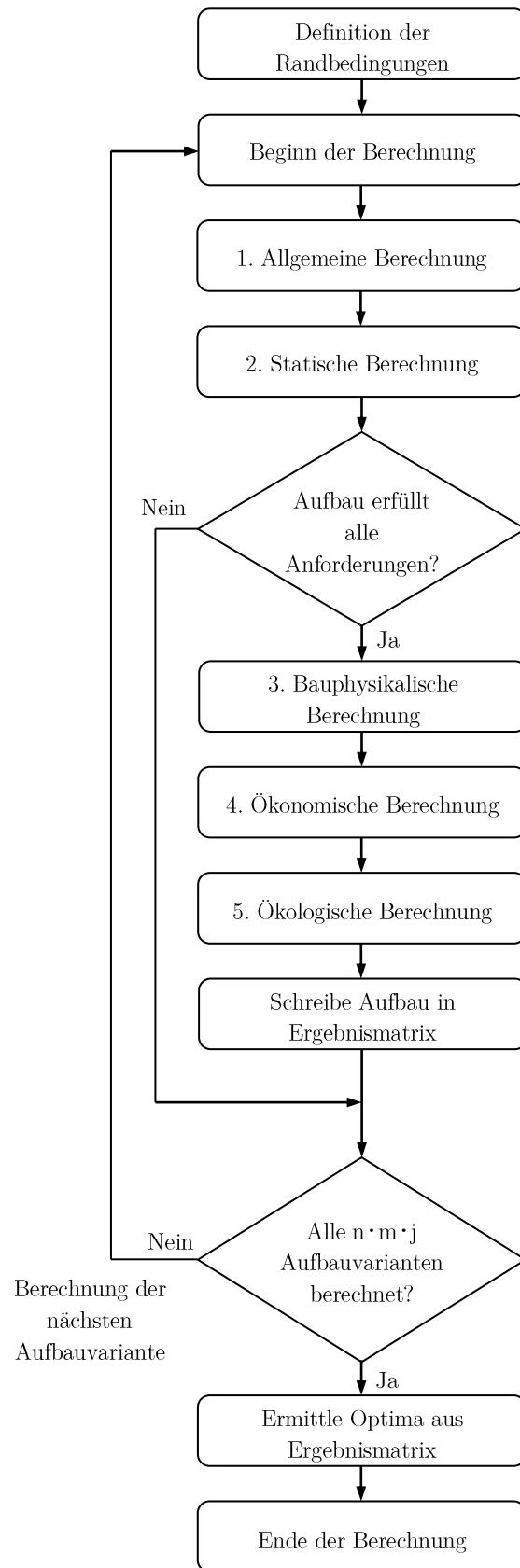
Hinsichtlich dem in der Programmroutine berücksichtigten Spannweitespektrum der einzelnen Tragstrukturen lassen sich aufgrund der analysierten Ausführungsbeispiele je nach Konstruktionstyp unterschiedliche Bandbreiten erkennen. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass für Holztragwerke in Massivbauweise geringere Spannweiten als für aufgelöste Tragwerke in Rippenbauweise umgesetzt werden. So ergibt sich aus der Analyse nach Kapitel 2 ein resultierendes Gesamtspannweitespektrum von 4,0 m bis 8,1 m. Um spannweitenbedingte Einflüsse auf die eingangs definierten Ergebnisparameter allerdings noch besser bewerten zu können, wird diese Variationsbreite innerhalb des Bewertungssystems zusätzlich nach oben hin erweitert. Die Randbedingungen hinsichtlich des Spannweitespektrums werden daher für einen Bereich von 4,0 m bis 10,0 m festgelegt.

## 3.4. Entwicklung der Programmroutine

### 3.4.1. Allgemeines Lösungskonzept, Anzahl der möglichen Lösungen

Mithilfe der Definition der angeführten Ergebnis- und Einflussgrößen, sowie dem damit in Verbindung stehenden Spektrum an Randbedingungen, kann weiterführend ein Algorithmus zur ganzheitlichen Bewertung der beschriebenen Konstruktionsvarianten erstellt werden. Zu diesem Zweck wird für jeden einzelnen Konstruktionstyp eine eigene Routine erstellt, welche mehrere, für bestimmte Randbedingungen innerhalb des Spektrums von Randbedingungen (Spannweite, Wärme-, Schall- und Brandschutz) festgelegte, Aufbauten rechnerisch ermittelt. Die Anzahl  $n$  dieser möglichen Aufbauvarianten ist grundsätzlich vom jeweiligen Konstruktionstyp abhängig und variiert deshalb auch zwischen den verschiedenen Arten von Deckenkonstruktionen. Eine genauere Erläuterung der Anzahl  $n$  an verschiedenen Aufbauvarianten ist daher in den nachfolgenden Detailkapiteln der einzelnen Deckenkonstruktionstypen expliziter ausgeführt.

Die für jeden Konstruktionstyp berechneten  $n$  Möglichkeiten bilden das Gesamtspektrum an möglichen Aufbauvarianten, müssen aber gleichzeitig nicht allen Anforderungen entsprechen, bzw. keine Optima der eingangs definierten Ergebnisparameter darstellen. Zur Ermittlung der gültigen bzw. optimierten Lösungen werden weitere programmtechnische Schritte erforderlich. So muss einerseits eine entsprechende Filterung der nicht gültigen Aufbauten, sowie andererseits eine weiterführende Möglichkeit zur Ermittlung des jeweiligen Variantenoptimums entwickelt werden. Die Ermittlung der jeweiligen Optima kann grundsätzlich nur durch eine Variation der jeweils maßgebenden Bauteilschichten der jeweiligen Konstruktionsvarianten erfolgen, wobei als maßgebende Bauteilschichten je nach Konstruktionstyp zwischen ein und zwei Einzelschichten mit jeweils  $m$  bzw.  $j$  Möglichkeiten definiert werden. Insgesamt werden die eingangs definierten Optima daher für jeden Konstruktionstyp aus  $n \cdot m \cdot j$  Möglichkeiten berechnet. Eine grafische Übersicht über dieses Berechnungsschema für jeden Konstruktionstyp kann nachfolgend aus Abbildung 3.1 entnommen werden.

Abbildung 3.1: Allgemeines Berechnungsschema für  $n \cdot m \cdot j$  Aufbauvarianten pro Konstruktionstyp

Lässt man die Schleifenbildungen zur Variation einzelner Bauteilschichten bzw. Optimierung der berechneten Bauteilaufbauten außer Acht, wird aus Abbildung 3.1 die grundsätzliche Routine zur Berechnung aller Aufbauvarianten pro Konstruktionstyp ersichtlich. Diese gliedert sich demnach chronologisch in eine allgemeine, eine statische, eine bauphysikalische, eine ökonomische, sowie eine ökologische Subroutine. Der genaue Inhalt der einzelnen statischen und bauphysikalischen Teilberechnungen ist grundsätzlich vom jeweiligen Konstruktionstyp abhängig und variiert daher zwischen den verschiedenen Arten von Deckenkonstruktionen. Aus diesem Grund soll nachfolgend eine nur allgemeine Erläuterung der einzelnen statischen und bauphysikalischen Subroutinen erfolgen, konstruktionstypenspezifische Berechnungsschemata sind in den späteren Detailkapiteln der einzelnen Deckenkonstruktionstypen ersichtlich. Die an die statischen und bauphysikalischen Subroutinen anschließenden ökonomischen und ökologischen Subroutinen weisen im Gegensatz dazu einen konstruktionsunabhängigen Berechnungsablauf auf, und werden daher bereits direkt anschließend vollständig beschrieben.

### 3.4.2. Allgemeine Berechnung

Um einen bei gegebenen Randbedingungen statisch und bauphysikalisch adäquaten Querschnitt zu ermitteln, wird in einer ersten allgemeinen Berechnung ein vorläufiger Fußbodenaufbau für den jeweiligen Deckenkonstruktionstyp festgelegt, mit welchem die schallschutztechnischen Randbedingungen durch die Ausführung einer erforderlichen flächenbezogenen Masse erfüllt werden. Diese flächenbezogene Masse für die Anforderungen an den Luft- bzw. Trittschallschutz kann für mehrschichtige, inhomogene Bauteilaufbauten nach aktuellem normativen Stand nicht direkt berechnet, sondern nur in Prüfständen gemessen werden. Aus diesem Grund wird die erforderliche flächenbezogene Masse  $m_{\text{erf}}$  nach ÖNORM B 8115-4 [30] für biegesteife Decken abgeschätzt. Die für den Luft- bzw. Trittschall erforderlichen Massen, ergeben sich daher unter der Berücksichtigung eines aufbauspezifischen Trittschallverbesserungsmaßes  $\Delta L_w$  nach Glg. (3.1), Glg. (3.2) bzw. Glg. (3.3).

$$m_{\text{erf,Luftschall}} = 10^{\left(\frac{R_w + 26}{32,4}\right)} \quad (3.1)$$

$$m_{\text{erf,Trittschall}} = 10^{\left(\frac{L_{n,w} - 164 + \Delta L_w}{35}\right)} \quad (3.2)$$

$$m_{\text{erf}} = \max \begin{cases} m_{\text{erf,Luftschall}} \\ m_{\text{erf,Trittschall}} \end{cases} \quad (3.3)$$

### 3.4.3. Statische Berechnung

In Abhängigkeit der ermittelten flächenbezogenen Masse kann in einem nächsten Schritt die statische Querschnittsfindung bzw. Nachweisführung erfolgen. Hierbei werden mit Hilfe der

ständigen bzw. veränderlichen Lasten (flächenbezogene Masse bzw. Nutzlast) alle für den jeweiligen Konstruktionstyp definierten Konstruktionsvarianten nacheinander für den Grenzzustand der Tragfähigkeit, sowie den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, statisch bemessen. Zur Berücksichtigung der brandschutztechnischen Randbedingungen erfolgt die Bemessung dabei je nach Konstruktionsvariante für einen baulich oder anlagentechnisch geschützten Querschnitt, weshalb sich der Umfang der statischen Nachweiskriterien abhängig von der Schutzart definiert. Hinsichtlich des Tragsystems sind alle Konstruktionsvarianten als statisch bestimmte Einfeldträgersysteme ausgeführt, gleichbedeutend werden alle berücksichtigten Tragstrukturen als einachsig gespannte Deckensysteme behandelt. Zweiachsige Spannweisen, bzw. eine allfällige Membranwirkung, werden in der Berechnung nicht berücksichtigt.

Erfüllt die einzelne Konstruktionsvariante alle statischen Nachweisführungen, so lässt sich bis auf die Ausnahme der für den Wärmeschutz maßgebenden Bauteilschichten, ein konstruktiv vollständiger Aufbau beschreiben. Es kann für die einzelne Konstruktionsvariante also zur nächsten Subroutine zur Definition der für den Wärmeschutz maßgebenden Bauteilschichten übergegangen werden. Erfüllt die einzelne Konstruktionsvariante nicht alle statischen Nachweisführungen, so ist diese Bauteilmodifikation für die definierten Randbedingungen ungeeignet und wird daher weiter nicht näher betrachtet. In diesem Fall ist die Berechnung der einzelnen Konstruktionsvariante beendet und es beginnt die Berechnung der nächsten einzelnen Konstruktionsvariante innerhalb des Aufbautenspektrums des jeweiligen Konstruktionstyps.

#### **3.4.4. Bauphysikalische Berechnung**

Innerhalb dieser Subroutine sind die bauphysikalischen Randbedingungen hinsichtlich des Schall- und Brandschutzes bereits a priori bestimmt. Aus diesem Grund kann die bauphysikalische Subroutine inhaltlich auf die Ermittlung der für den Wärmeschutz maßgebenden Bauteilschichten reduziert werden. Die erforderlichen Eigenschaften dieser Bauteilschichten werden durch den, in den Randbedingungen definierten, erforderlichen Wärmedurchgangskoeffizienten bestimmt. Da dieser durch die Randbedingungen auch bereits a priori bestimmt ist, kann weiterführend auf die, zusätzlich zum statisch definierten Aufbau erforderliche, wärmedämmende Schichtdicke nach ÖNORM EN ISO 6946 [31] rückgerechnet werden.

Durch diesen Berechnungsschritt ist die einzelne Konstruktionsvariante daher nicht nur mehr statisch, sondern ab diesem Zeitpunkt auch bereits bauphysikalisch vollständig definiert. Somit ist auch diese resultierende Gesamtstruktur der jeweiligen einzelnen Konstruktionsvariante vollständig bestimmt, wodurch eine weiterführende ökonomische und ökologische Bewertung der einzelnen Konstruktionsvariante in anschließenden Subroutinen möglich wird.

### 3.4.5. Ökonomische Berechnung

Die ökonomische Berechnung der aus den Vorroutinen bereits volldefinierten Konstruktionsvarianten erfolgt durch eine aufsummierte kalkulatorische Bewertung jeder einzelnen Bauteilschicht des jeweils betrachteten Querschnitts. Um eine optimale Vergleichbarkeit der verschiedenen Konstruktionstypen untereinander zu gewährleisten, beinhaltet die Kostenkalkulation lediglich die Einzelkosten der Teilleistungen als Komponente der Bauwerkskosten nach ÖNORM B 2061 [32]. Baustellengemeinkosten, sowie sämtliche anderen in ÖNORM B 2061 [32] dargestellten Kostengruppen, werden aufgrund der Unmöglichkeit diese mit den vorhandenen Randbedingungen sinnvoll ermitteln zu können, nicht berücksichtigt. Somit erfolgt die Kostenkalkulation ausschließlich für die kalkulatorischen Teilbereiche der Lohnkosten, der Material- und Gerätekosten, sowie der Transportkosten. Grundlegend sei zu den in der Programmroutine ermittelten Kosten ergänzend erwähnt, dass diese als branchenübliche Nettopreise exklusive Mehrwertsteuer implementiert werden.

Zur programminternen Definition der genannten Größen wird innerhalb des Bewertungssystems eine Datenbank mit Kosten- und Aufwandswerten integriert, auf welche innerhalb der ökonomischen Berechnungsroutine zurückgegriffen werden kann. Als Grundlage der Datenbank dienen verschiedenste Preislisten von Herstellern, sowie aus mehreren Interviews mit fach einschlägigen Experten [33] [34] evaluierte Ansätze für Stundenaufwände, sowie Lohn-, Geräte- und Transportkosten. Als Transportkosten werden dabei für Material und Geräte jeweils durchschnittliche Werte angenommen, wobei diesbezüglich speziell auf die geographische Dichte der jeweiligen Produktionsstätten Rücksicht genommen wird.

Abschließend ist zu erwähnen, dass jedes Bauprojekt eine eigene spezielle Charakteristik besitzt und somit die Material- und Aufwandswerte von Projekt zu Projekt stark variieren können. Als Beispiel hierfür sei angeführt, dass Materialkosten stark standortabhängig, und Stundenaufwände sowie Bruttomittelöhne immer stark von den jeweiligen Firmen und Baustellen abhängig sind, und sich somit selten als allgemeingültige Werte festlegen lassen. Die ermittelten Kosten verstehen sich somit lediglich als Richtwert. Für eine genaue, nutzerspezifische Kalkulation ist es unbedingt erforderlich die jeweiligen Kostengrundlagen den jeweiligen projektspezifischen Umständen anzupassen.

### 3.4.6. Ökologische Berechnung

Die ökologische Berechnung der aus den Vorroutinen bereits volldefinierten Konstruktionsvarianten erfolgt durch eine Bewertung der ökologischen Qualität des betrachteten Querschnitts nach dem OI3-Ökoindex [35]. Bei diesem durch das Österreichische Institut für Bauen und Ökologie entwickelten Bewertungsverfahren handelt es sich um eine, auf mehreren Umweltkategorien basierende, quantitative, punktebasierte Bewertungsmethode.

Hierbei erfolgt eine Bewertung nach einem Punkteschema zwischen 0 und 100 Punkten, als Umweltkategorien werden dabei der Primärenergieinhalt an nicht-erneuerbaren Ressourcen PENRT, das Treibhauspotential GWP (100 Jahre bezogen auf 1994), sowie das Versauerungspotential AP berücksichtigt [35]. Zur programminternen Definition der genannten Größen wird innerhalb des Bewertungssystems eine Datenbank mit allen baustoffrelevanten Werten der einzelnen Umweltkategorien integriert, auf welche innerhalb der ökologischen Berechnungsroutine zurückgegriffen werden kann. Als Grundlage der Datenbank dient das durch das Österreichische Institut für Bauen und Ökologie entwickelte Berechnungsprogramm Baubook [36].

Die Ermittlung dieses Ökoindikators kann ganzheitlich konstruktions- ( $OI3_{KON}$ ) oder partiell schichtbezogen ( $\Delta OI3_{BS}$ ) erfolgen, wobei die Berechnung sich grundsätzlich immer auf einen Ergebniswert pro  $m^2$  bezieht. Die Bewertung des konstruktionsbezogenen Ökoindikators  $OI3_{KON}$  erfolgt dabei, aufsummiert für alle Bauteilschichten, anhand der Teilindikatoren für jede der genannten Umweltkategorie gemäß der nachfolgenden Glg. (3.4) [35].

$$OI3_{KON} = \frac{1}{3} OI_{PENRT} + \frac{1}{3} OI_{GWP} + \frac{1}{3} OI_{AP} \quad (3.4)$$

Da es sich bei dem  $OI3$ -Ökoindex, wie eingangs erwähnt, um ein punktebezogenes Bewertungsschema handelt, muss auf die in Glg. (3.4) festgehaltenen Terme eine zusätzliche Skalierungsfunktion zur Adaption auf den definierten Wertebereich von 0 bis 100 Punkten angewendet werden. Die Funktionen dieser Skalierungsfaktoren können aus realen Konstruktions- und Gebäudedaten abgeleitet werden, wobei dabei alle Teilindikatoren mittels linearen Funktionen beschrieben werden können (siehe Glg. (3.5), Glg. (3.6), bzw. Glg. (3.7)).

$$f(x)_{PENRT} = \frac{1}{10}(x-500) \quad (3.5)$$

$$f(x)_{GWP} = \frac{1}{2}(x+50) \quad (3.6)$$

$$f(x)_{AP} = \frac{100}{0,25}(x-0,21) \quad (3.7)$$

Unter der Berücksichtigung dieser linearen Skalierungsfunktionen kann Glg. (3.4) demnach für ein punktebezogenes Ergebnis gemäß nachfolgender Glg. (3.8) erweitert werden [35].

$$OI3_{KON} = \frac{1}{3} \left[ \frac{1}{10}(PENRT-500) + \frac{1}{2}(GWP+50) + \frac{100}{0,25}(AP-0,21) \right] \quad (3.8)$$

Durch die Adaption von Glg. (3.4) mittels Skalierungsfunktionen wird eine definierte Punktebewertung des konstruktionsbezogenen Ökoindikators  $OI3_{KON}$  für einen Wertebereich zwischen 0 und 100 Punkten möglich, wodurch weiterführend eine dementsprechende Aussage

zur Ressourceneffizienz des jeweiligen Bauteils getroffen werden kann. Wie bereits eingangs erwähnt, kann die Ermittlung des Ökoindikators auch auf partieller Schichtebene erfolgen. Eine ebenfalls punktebezogene Ermittlung der jeweiligen Schichteigenschaften ( $\Delta\text{OI3}_{\text{BS}}$ ) kann gemäß nachfolgender Glg. (3.9) erfolgen.

$$\Delta\text{OI3}_{\text{BS}} = \frac{1}{3} \left[ \frac{1}{10} (\text{PENRT})_{\text{BS}} + \frac{1}{2} (\text{GWP})_{\text{BS}} + \frac{100}{0,25} (\text{AP})_{\text{BS}} \right] \quad (3.9)$$

### 3.4.7. Ergebnismatrix

Nach Abschluss der ökonomischen und ökologischen Subroutinen ist die jeweilige Aufbauvariante vollständig bestimmt, sowie weiterführend auch vollständig bewertet. Dementsprechend liegen alle eingangs definierten Ergebnisparameter vor und die Ergebnisse können in eine abschließende Ergebnismatrix geschrieben werden. Dieser Vorgang wird für alle  $n \cdot m \cdot j$  Aufbauvarianten des jeweiligen Konstruktionstyps wiederholt und die Ergebnismatrix vollständig befüllt. Somit kann abschließend das Optimum eines jeden Ergebnisparameters des jeweiligen Konstruktionstyps ermittelt werden.

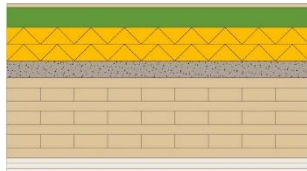
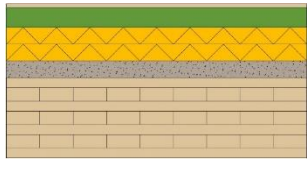
## 3.5. Konstruktionstypen Massivbauweise Holz

### 3.5.1. Allgemeines

Im Kontext der Holzkonstruktionen in Massivbauweise werden für das Bewertungssystem zwei verschiedene Konstruktionsvarianten berücksichtigt. Dabei handelt es sich einerseits um die gekapselte Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton (siehe Tabelle 3.5, links), sowie andererseits um die frei belassene Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton (siehe Tabelle 3.5, rechts). Grundsätzlich erscheint ebenfalls eine weiterführende Betrachtung von Konstruktionsvarianten in Massivbauweise Holz mit Verbundbeton als sinnvoll. Diese Bauteiltypologie ist zum aktuellen Zeitpunkt allerdings noch nicht vollständig in die Programmroutine eingearbeitet, und wird daher im Zuge dieser Arbeit inhaltlich nicht berücksichtigt.



Tabelle 3.5: Varianten Konstruktionstyp Massivbauweise Holz

Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton gekapselt	Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton frei belassen
	
Bodenbelag (fix)	Bodenbelag (fix)
Zementestrich (variabel aus Routine)	Zementestrich (variabel aus Routine)
Trennfolie (fix)	Trennfolie (fix)
Wärmedämmung (abhängig von Randbedingungen)	Wärmedämmung (abhängig von Randbedingungen)
Trittschalldämmung (abhängig von Randbedingungen)	Trittschalldämmung (abhängig von Randbedingungen)
Kiesschüttung (abhängig von Randbedingungen)	Kiesschüttung (abhängig von Randbedingungen)
Rieselschutz (abhängig von Randbedingungen)	Rieselschutz (abhängig von Randbedingungen)
Brettsperrholz (variabel aus Routine)	Brettsperrholz (variabel aus Routine)
Kapselung Gipskarton 3-lagig (fix)	

Eine tragende Funktion wird bei diesem Konstruktionstyp durch das mehrschichtige Brettsperrholzelement erreicht. Hierbei handelt es sich um vorgefertigte Elemente, weshalb fixierte Querschnittsgeometrien (Einzelschichtdicken) vorgegeben sind. Für das Bewertungssystem werden 14 verschiedenen Typen von Brettsperrholzelementen berücksichtigt ( $n=14$ ). Eine Schichtdickenvariation erfolgt für eine Schicht in Form des Zementestrichs zwischen 4 cm und 10 cm ( $m=7, j=1$ ), woraus sich unter der Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen eine Ergebnismatrix mit insgesamt  $n \cdot m \cdot j = 98$  Aufbauvarianten ergibt.

### 3.5.2. Statische Berechnung

Die statische Bemessung des mehrschichtigen Brettsperrholzaufbaus erfolgt nach dem baustatischen Modell des Timoschenko Trägers. Die Biegesteifigkeit des Querschnitts  $EI$  lässt sich hier als Summe der Eigensteifigkeitswerte und der Steineranteile nach Glg. (3.10) ermitteln [37].

$$EI = \sum (E_i \cdot I_i) + \sum (E_i \cdot A_i \cdot e_{s,i}^2) \quad (3.10)$$

Aus der Biegesteifigkeit der Gesamtstruktur und den maßgebenden Einwirkungen können folglich die Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt werden. Diese Nachweise werden abhängig von der brandschutztechnischen Kompensationsmaßnahme in Form einer Kalt- (gekapselte Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton), bzw. Kalt- und Heißbemessung (Brettsperrholzdecke Abbrand), durchgeführt. Das Nachweisspektrum umfasst hierbei die

Nachweise der zulässigen Längsspannungen, sowie der für Brettsperrholz essentiellen Schubspannungen (Rollschub) nach Pfaller [37].

Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit erfolgen die Nachweise der zulässigen Durchbiegungen (elastische Anfangs- bzw. gesamte Enddurchbiegung), sowie der Schwingungsnachweis (Steifigkeits- und Frequenzkriterium bzw. Schwingbeschleunigung falls erforderlich) nach ÖNORM B 1995-1-1 [38].

### **3.5.3. Bauphysikalische Berechnung**

Wie bereits in Kapitel 3.4.2 bzw. Kapitel 3.4.4 erläutert, erfolgen die Nachweise der Anforderungen an den Wärmeschutz nach ÖNORM EN ISO 6946 [31], bzw. die Nachweise der Anforderungen an den Schallschutz nach ÖNORM B 8115-4 [30].

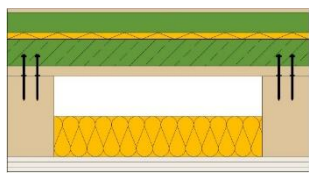
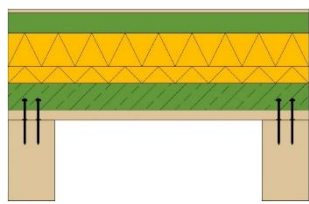
Aufgrund der Querschnittsgeometrie kann der Nachweis der Anforderungen an den Wärmeschutz für beide Konstruktionsvarianten für homogene Aufbauten erfolgen. Grundsätzlich besitzen Brettsperrholzelemente gute Wärmedämmeigenschaften, sodass geringe Anforderungen an den Wärmeschutz üblicherweise mit der für den Schallschutz erforderlichen Trittschalldämmung erfüllt werden können, bei höheren Anforderungen an den Wärmeschutz besteht die Möglichkeit den Aufbau um eine zusätzliche Wärmedämmschicht zu erweitern. Geringe Anforderungen an den Schallschutz können üblicherweise ohne zusätzliche konstruktive Maßnahmen erfüllt werden, bei höheren Anforderungen an den Schallschutz besteht die Möglichkeit den Aufbau um eine zusätzliche Kiesschicht zu erweitern.

## **3.6. Konstruktionstypen Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton**

### **3.6.1. Allgemeines**

Im Kontext der Holzkonstruktionen in Rippenbauweise mit Verbundbeton werden für das Bewertungssystem zwei verschiedene Konstruktionsvarianten berücksichtigt. Dabei handelt es sich einerseits um die gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln (siehe Tabelle 3.6, links), sowie andererseits um die frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln (siehe Tabelle 3.6, rechts).

Tabelle 3.6: Varianten Konstruktionstyp Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton

Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln gekapselt	Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln frei belassen
	
Bodenbelag (fix)	Bodenbelag (fix)
Zementestrich (variabel aus Routine)	Zementestrich (variabel aus Routine)
Trennfolie (fix)	Trennfolie (fix)
Trittschalldämmung (fix)	Wärmedämmung (abhängig von Randbedingungen)
Verbundbeton (variabel aus Routine)	Trittschalldämmung (abhängig von Randbedingungen)
Holzschalung (fix)	Verbundbeton (variabel aus Routine)
Holzrippen (abhängig von Randbedingungen)	Holzschalung (fix)
Verbundschrauben (abhängig von Randbedingungen)	Holzrippen (abhängig von Randbedingungen)
Wärmedämmung (abhängig von Randbedingungen)	Verbundschrauben (abhängig von Randbedingungen)
Kapselung Gipskarton 3-lagig (fix)	

Eine tragende Funktion wird bei diesem Konstruktionstyp durch die Holzrippen, sowie die im Verbund wirkenden Schichten, in Form der Holzschalung bzw. des Verbundbetons, erreicht. Erzeugt wird die Verbundwirkung hierbei durch stiftförmige Verbindungsmittel zwischen den Holzrippen und dem Verbundbeton. Für das Bewertungssystem werden sowohl Rippen aus Konstruktionsvollholz, als auch aus Brettschichtholz, für unterschiedliche Querschnittsgeometrien und Achsabstände berücksichtigt, wobei je nach Rippengeometrie, zwischen einer und vier Verbindungsmittelreihen pro Rippe, mit je zwei verschiedenen effektiven Verbindungsmittelabständen, geltend werden. Somit ergeben sich innerhalb des Bewertungssystems 126 verschiedene Aufbaumöglichkeiten für diesen Konstruktionstyp ( $n=126$ ). Zusätzlich erfolgt eine Schichtdickenvariation für zwei Schichten in Form des Zementestrichs zwischen 4 cm und 10 cm ( $m=7$ ), sowie des Verbundbetons zwischen 6 cm und 18 cm in 2 cm Inkrementen ( $j=7$ ), woraus sich unter der Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen eine Ergebnismatrix mit insgesamt  $n \cdot m \cdot j = 6174$  Aufbauvarianten ergibt.

### 3.6.2. Statische Berechnung

Die statische Bemessung der mehrschichtigen Verbundkonstruktion erfolgt anhand des  $\gamma$ -Verfahrens für nachgiebig verbundene Biegestäbe nach ÖNORM EN bzw. B 1995-1-1 [38] [39]. Die effektive Biegesteifigkeit des Querschnitts  $EI_{ef}$  lässt sich hier als Summe der

Eigensteifigkeitswerte und der Steineranteile multipliziert mit dem Abminderungsbeiwert  $\gamma$  nach Glg. (3.11) bzw. Glg. (3.12) ermitteln [38] [39].

$$EI_{ef} = \sum E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2 \quad (3.11)$$

$$\gamma_i = \frac{1}{1 + \pi^2 \cdot \frac{E_i \cdot A_i \cdot s_i}{K_i \cdot l^2}} \quad (3.12)$$

Aus der Biegesteifigkeit der Gesamtstruktur und den maßgebenden Einwirkungen können folglich die Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit geführt werden. Diese Nachweise werden abhängig von der brandschutztechnischen Kompensationsmaßnahme in Form einer Kalt- (gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton), bzw. Kalt- und Heißbemessung (frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton), durchgeführt. Für die Bemessung der Konstruktion im Grenzzustand der Tragfähigkeit ergeben sich bei diesem Konstruktionstyp drei nachweisrelevante, strukturelle Teilbereiche in Form des Beton- bzw. Holzquerschnitts, sowie der verbundbildenden stiftförmigen Verbindungsmittel. Am Betonquerschnitt erfolgen die Nachweise der zulässigen maximalen Randspannung sowie der zulässigen Randspannung in der Fuge. Am Holzquerschnitt werden die Nachweise der zulässigen Schwerpunkts-, Biegerand- und Schubspannungen geführt. Für die Schraubenverbindung erfolgt der Nachweis des zulässigen Schubflusses in der Fuge.

Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit erfolgen die Nachweise der zulässigen Durchbiegungen (elastische Anfangs- bzw. gesamte Enddurchbiegung), sowie der Schwingungsnachweis (Steifigkeits- und Frequenzkriterium bzw. Schwingbeschleunigung falls erforderlich) nach ÖNORM B 1995-1-1 [38].

### 3.6.3. Bauphysikalische Berechnung

Wie bereits in Kapitel 3.4.2 bzw. Kapitel 3.4.4 erläutert, erfolgen die Nachweise der Anforderungen an den Wärmeschutz nach ÖNORM EN ISO 6946 [31], bzw. die Nachweise der Anforderungen an den Schallschutz nach ÖNORM B 8115-4 [30].

Aufgrund der Querschnittsgeometrie erfolgt der Nachweis der Anforderungen an den Wärmeschutz für die gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton für einen inhomogenen Aufbau. Der Nachweis der Anforderungen an den Wärmeschutz der frei belassenen Rippendecken mit Verbundbeton kann aufgrund des Wegfalls der Wärmedämmung in den Rippenzwischenräumen für einen homogenen Aufbau erfolgen. Bei geringen Anforderungen an den Wärmeschutz kann der Nachweis üblicherweise mit der für den Schallschutz erforderlichen Trittschalldämmung erfüllt werden, bei höheren Anforderungen an den Wärmeschutz besteht die Möglichkeit den Aufbau um eine zusätzliche Wärmedämmschicht zu erweitern. Diese Ergänzung erfolgt je nach Aufbauvariante als Hohlraumdämmung innerhalb der

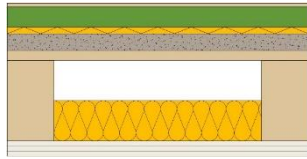
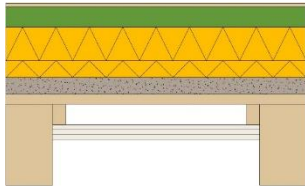
Rippenkonstruktion (gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton), oder als Schichtergänzung zur Trittschalldämmung (frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton). Die Anforderungen an den Schallschutz werden durch die konstruktive Struktur in Form des Verbundestrichs und der damit verknüpften Verbundschichten erfüllt, eine zusätzliche Schichtergänzung ist bei diesem Konstruktionstyp daher nicht erforderlich.

### 3.7. Konstruktionstypen Rippenbauweise Holz ohne Verbundbeton

#### 3.7.1. Allgemeines

Im Kontext der Holzstrukturen in Rippenbauweise werden, neben den Konstruktionstypen mit Verbundbeton, zwei zusätzliche Konstruktionsvarianten ohne Verbundbeton für das Bewertungssystem berücksichtigt. Dabei handelt es sich einerseits um die gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton (siehe Tabelle 3.7, links), sowie andererseits um die frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton (siehe Tabelle 3.7, rechts).

Tabelle 3.7: Varianten Konstruktionstyp Rippenbauweise Holz ohne Verbundbeton

Rippendecke ohne Verbundbeton gekapselt	Rippendecke ohne Verbundbeton frei belassen
	
Bodenbelag (fix)	Bodenbelag (fix)
Zementestrich (variabel aus Routine)	Zementestrich (variabel aus Routine)
Trennfolie (fix)	Trennfolie (fix)
Trittschalldämmung (fix)	Wärmedämmung (abhängig von Randbedingungen)
Kiesschüttung (abhängig von Randbedingungen)	Trittschalldämmung (abhängig von Randbedingungen)
Rieselschutz (abhängig von Randbedingungen)	Kiesschüttung (abhängig von Randbedingungen)
Holzschalung (fix)	Rieselschutz (abhängig von Randbedingungen)
Holzrippen (abhängig von Randbedingungen)	Holzschalung (fix)
Wärmedämmung (abhängig von Randbedingungen)	Holzrippen (abhängig von Randbedingungen)
Kapselung Gipskarton 3-lagig (fix)	Partielle Kapselung Gipskarton 3-lagig (fix)

Eine tragende Funktion wird bei diesem Konstruktionstyp durch die Holzrippen, sowie die damit in Verbindung stehende Holzschalung erreicht. Für das Bewertungssystem werden dabei sowohl Rippen aus Konstruktionsvollholz, als auch aus Brettschichtholz, für unterschiedliche Querschnittsgeometrien und Achsabstände berücksichtigt. Somit ergeben sich innerhalb des Bewertungssystems 17 verschiedene Aufbaumöglichkeiten für diesen Konstruktionstyp (n=17).

Eine Schichtdickenvariation erfolgt für eine Schicht in Form des Zementestrichs zwischen 4 cm und 10 cm ( $m=7$ ,  $j=1$ ), woraus sich unter der Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen eine Ergebnismatrix mit insgesamt  $n \cdot m \cdot j = 119$  Aufbauvarianten ergibt.

### 3.7.2. Statische Berechnung

Die statische Bemessung dieses Konstruktionstyps erfolgt lt. den allgemeinen Nachweiskriterien für Holzkonstruktionen nach ÖNORM B 1995-1-1 [38]. Die Nachweise werden abhängig von der brandschutztechnischen Kompensationsmaßnahme in Form einer Kalt- (gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton), bzw. Kalt- und Heißbemessung (frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton), durchgeführt. Im Grenzzustand der Tragfähigkeit werden die Nachweise der zulässigen Längs- sowie Schubspannungen geführt. Für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit erfolgen die Nachweise der zulässigen Durchbiegungen (elastische Anfangs- bzw. gesamte Enddurchbiegung), sowie der Schwingungsnachweis (Steifigkeits- und Frequenzkriterium bzw. Schwingbeschleunigung falls erforderlich) nach ÖNORM B 1995-1-1 [38].

### 3.7.3. Bauphysikalische Berechnung

Wie bereits in Kapitel 3.4.2 bzw. Kapitel 3.4.4 erläutert, erfolgen die Nachweise der Anforderungen an den Wärmeschutz nach ÖNORM EN ISO 6946 [31], bzw. die Nachweise der Anforderungen an den Schallschutz nach ÖNORM B 8115-4 [30].

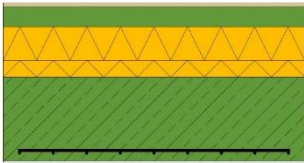
Aufgrund der Querschnittsgeometrie erfolgt der Nachweis der Anforderungen an den Wärmeschutz für die gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton für einen inhomogenen Aufbau. Der Nachweis der Anforderungen an den Wärmeschutz der frei belassenen Rippendecke ohne Verbundbeton kann aufgrund des Wegfalls der Wärmedämmung in den Rippenzwischenräumen für einen homogenen Aufbau erfolgen. Bei geringen Anforderungen an den Wärmeschutz kann der Nachweis üblicherweise mit der für den Schallschutz erforderlichen Trittschalldämmung erfüllt werden, bei höheren Anforderungen an den Wärmeschutz besteht die Möglichkeit den Aufbau um eine zusätzliche Wärmedämmschicht zu erweitern. Diese Ergänzung erfolgt je nach Aufbauvariante als Hohlraumdämmung innerhalb der Rippenkonstruktion (gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton), oder als Schichtergänzung zur Trittschalldämmung (frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton). Geringe Anforderungen an den Schallschutz können üblicherweise ohne zusätzliche konstruktive Maßnahmen erfüllt werden, bei höheren Anforderungen an den Schallschutz besteht die Möglichkeit den Aufbau um eine zusätzliche Kiesschicht zu erweitern.

### 3.8. Konstruktionstyp Massivbauweise konventionell, Stahlbetondecke

#### 3.8.1. Allgemeines

Um eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Holztragwerke mit konventionellen Deckenkonstruktionen zu ermöglichen, werden neben den vorgestellten Konstruktionstypen auf Holzbasis, auch Konstruktionstypen mit mineralischer Tragstruktur in das Bewertungssystem implementiert. Eine der für das Bewertungssystem berücksichtigten Varianten in konventioneller, mineralischer Massivbauweise stellt der Konstruktionstyp Stahlbetondecke dar (siehe Tabelle 3.8). Im Vergleich zu den Deckenkonstruktionen in Holzbauweise wird bei diesem Konstruktionstyp nur eine Aufbauvariante konzipiert, da die Anforderungen an den Brandschutz bei mineralischer Bauweise bereits lediglich anhand einer definierten Mindestquerschnittsdicke erfüllt werden können.

**Tabelle 3.8: Variante Konstruktionstyp Massivbauweise konventionell, Stahlbetondecke**

Stahlbetondecke

Bodenbelag (fix)
Zementestrich (variabel aus Routine)
Trennfolie (fix)
Wärmedämmung (abhängig von Randbedingungen)
Trittschalldämmung (abhängig von Randbedingungen)
Stahlbetonplatte (abhängig von Randbedingungen)
Deckenputz (fix)

Eine tragende Funktion wird bei diesem Konstruktionstyp durch die massive, mineralische Stahlbetondecke erreicht. Die Querschnittsfindung hinsichtlich Bauteildicke und Bewehrungsgrad erfolgt innerhalb des Bewertungssystems als iterativer Prozess, in Form einer Annäherung von Trag- und Gebrauchstauglichkeitsnachweisen. Somit ergibt sich für diesen Konstruktionstyp eine variable Anzahl an Aufbaumöglichkeiten, welche allerdings durch die gegebenen Randbedingungen begrenzt ist ( $1 \leq n \leq 50$ ). Eine Schichtdickenvariation erfolgt für eine Schicht in Form des Zementestrichs zwischen 4 cm und 10 cm ( $m=7, j=1$ ), woraus sich unter der Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen eine Ergebnismatrix mit insgesamt  $n \cdot m \cdot j = 7$  (minimal), bzw.  $n \cdot m \cdot j = 350$  (maximal) Aufbauvarianten ergibt.

### 3.8.2. Statische Berechnung

Die statische Bemessung dieses Konstruktionstyps erfolgt wie bereits eingangs erwähnt in einem iterativen Prozess, welcher grundsätzlich nach ÖNORM EN bzw. B 1992-1-1 [40] [41] ausgeführt wird.

In einem ersten Schritt wird eine erforderliche Nutzhöhe der Decke festgelegt (beginnend bei einem Vordimensionierungsmaß von  $l/20$ ), welche anschließend in einem zweiten Schritt um eine für den Grenzzustand der Tragfähigkeit erforderliche Bewehrung ergänzt wird. Weiterführend kann aus dem für den Grenzzustand der Tragfähigkeit resultierenden Bewehrungsgrad auf eine erforderliche Deckenstärke für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zur Begrenzung der Verformungen nach Glg. (3.13) bzw. (3.14) geschlossen werden [40].

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left( \frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \text{ für } \rho \leq \rho_0 \quad (3.13)$$

$$\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho}} \right] \text{ für } \rho > \rho_0 \quad (3.14)$$

Dabei beschreibt das Verhältnis  $l/d$  den Grenzwert der Biegeschlankheit der Tragkonstruktion. Dieser ist von einem Systembeiwert  $K$  (Art des statischen Systems), sowie von der charakteristischen Betondruckfestigkeit  $f_{ck}$  abhängig. Zusätzlich werden die Gleichungen durch verschiedene Arten von Bewehrungsgraden beeinflusst. Hierbei stellen  $\rho$  und  $\rho'$  den erforderlichen Zug- bzw. Druckbewehrungsgrad in Abhängigkeit des Referenzbewehrungsgrades  $\rho_0$  dar.

Mit dieser Routine ist der erste Iterationsschritt abgeschlossen. Für den Fall dass die aus dem Grenzzustand der Tragfähigkeit resultierende Deckenstärke über der für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit erforderlichen Deckenstärke liegt, wird der nächste Iterationsschritt mit einer verringerten Deckenstärke für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (Inkrement jeweils 1 cm) durchgeführt. Diese Iteration erfolgt so lange, bis entweder die Deckenstärken für den Grenzzustand der Tragfähigkeit und den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit angenähert sind, oder die für den Brandschutz erforderliche Mindestquerschnittsdicke erreicht ist. Die maßgebende Querschnittsgeometrie ist somit bestimmt und der zusätzliche Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zur Begrenzung der Rissbreiten kann geführt werden.



### 3.8.3. Bauphysikalische Berechnung

Wie bereits in Kapitel 3.4.2 bzw. Kapitel 3.4.4 erläutert, erfolgen die Nachweise der Anforderungen an den Wärmeschutz nach ÖNORM EN ISO 6946 [31], bzw. die Nachweise der Anforderungen an den Schallschutz nach ÖNORM B 8115-4 [30].

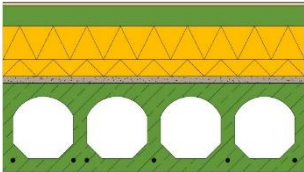
Aufgrund der Querschnittsgeometrie kann der Nachweis der Anforderungen an den Wärmeschutz für einen homogenen Aufbau erfolgen. Geringe Anforderungen an den Wärmeschutz können üblicherweise mit der für den Schallschutz erforderlichen Trittschalldämmung erfüllt werden, bei höheren Anforderungen an den Wärmeschutz besteht die Möglichkeit den Aufbau um eine zusätzliche Wärmedämmschicht zu erweitern. Die Anforderungen an den Schallschutz werden durch die konstruktive Struktur der massiven Stahlbetondecke erfüllt, eine zusätzliche Schichtergänzung ist bei diesem Konstruktionstyp daher nicht erforderlich.

### 3.9. Konstruktionstyp Massivbauweise konventionell, Hohldielendecke

#### 3.9.1. Allgemeines

Neben dem vorgestellten Konstruktionstyp Stahlbetondecke umfasst das Spektrum an massiven, mineralischen Tragstrukturen innerhalb des Bewertungssystems zusätzlich noch den Konstruktionstyp Hohldielendecke (siehe Tabelle 3.9). Im Vergleich zu den Deckenkonstruktionen in Holzbauweise wird bei diesem Konstruktionstyp ebenfalls nur eine Aufbauvariante konzipiert, da die Anforderungen an den Brandschutz bei mineralischer Bauweise bereits lediglich anhand einer definierten Mindestquerschnittsdicke erfüllt werden können.

Tabelle 3.9: Variante Konstruktionstyp Massivbauweise konventionell, Hohldielendecke

Hohldielendecke

Bodenbelag (fix)
Zementestrich (variabel aus Routine)
Trennfolie (fix)
Wärmedämmung (abhängig von Randbedingungen)
Trittschalldämmung (abhängig von Randbedingungen)
Kiesschüttung (abhängig von Randbedingungen)
Rieselschutz (abhängig von Randbedingungen)
Hohldiele (abhängig von Randbedingungen)
Deckenputz (fix)

Eine tragende Funktion wird bei diesem Konstruktionstyp durch das massive, mineralische Hohldielenelement erreicht. Hierbei handelt es sich um vorgefertigte Elemente, weshalb fixierte Querschnittsgeometrien (vorgespannte Hohlkörperelemente) vorgegeben sind. Für das Bewertungssystem werden 12 verschiedenen Typen von Hohldielenelementen berücksichtigt ( $n=12$ ). Eine Schichtdickenvariation erfolgt für eine Schicht in Form des Zementestrichs zwischen 4 cm und 10 cm ( $m=7$ ,  $j=1$ ), woraus sich unter der Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen eine Ergebnismatrix mit insgesamt  $n \cdot m \cdot j = 84$  Aufbauvarianten ergibt.

### 3.9.2. Statische Berechnung

Die statische Bemessung dieses Konstruktionstyps erfolgt anhand von vorgefertigten, durch einen Prüfstatiker verifizierten, Bemessungstabellen eines Hohlblechherstellers. Anhand der Randbedingungen der statisch resultierenden Auflast, sowie der Deckenspannweite, kann auf einen erforderlichen Querschnitt geschlossen werden, welcher alle Nachweise an den Grenzzustand der Tragfähigkeit bzw. Gebrauchstauglichkeit nach ÖNORM EN bzw. B 1992-1-1 [40] [41] erfüllt.

### 3.9.3. Bauphysikalische Berechnung

Wie bereits in Kapitel 3.4.2 bzw. Kapitel 3.4.4 erläutert, erfolgen die Nachweise der Anforderungen an den Wärmeschutz nach ÖNORM EN ISO 6946 [31], bzw. die Nachweise der Anforderungen an den Schallschutz nach ÖNORM B 8115-4 [30].

Da für die inhomogenen Hohlblechelemente gemessene Wärmedurchgangskoeffizienten vorliegen, kann der Nachweis der Anforderungen an den Wärmeschutz für einen homogenen Aufbau erfolgen. Geringe Anforderungen an den Wärmeschutz können üblicherweise mit der für den Schallschutz erforderlichen Trittschalldämmung erfüllt werden, bei höheren Anforderungen an den Wärmeschutz besteht die Möglichkeit den Aufbau um eine zusätzliche Wärmedämmschicht zu erweitern. Geringe Anforderungen an den Schallschutz können üblicherweise ohne zusätzliche konstruktive Maßnahmen erfüllt werden, bei höheren Anforderungen an den Schallschutz besteht die Möglichkeit den Aufbau um eine zusätzliche Kiesschicht zu erweitern.



## Kapitel 4

# Variantenstudie zur ganzheitlichen Bewertung von Deckenkonstruktionen

### 4.1. Ziele

Mit Hilfe des entwickelten Bewertungssystems soll eine konstruktionsspezifische Untersuchung aller in der Programmroutine implementierten Bauteilvarianten für Holzhochhausbauten (Fluchtniveau  $> 22$  m) erfolgen. Aus der Perspektive einer ganzheitlichen Betrachtung kann anhand des in Kapitel 3 definierten Spektrums an Randbedingungen eine Analyse der maßgebenden statischen (Aufbauhöhe), ökologischen (OI3-Ökoindex), sowie ökonomischen (Gesamtkosten) Ergebnisparameter erfolgen, wodurch eine Evaluierung der Anwendungsgrenzen der einzelnen Konstruktionsvarianten möglich wird. Dadurch können einerseits allgemeine Kriterien in der Konstruktionsauswahl, sowie andererseits damit in Verbindung stehende Optimierungsmöglichkeiten erkannt, und weiterführend bewertet werden.

### 4.2. Spektrum der Randbedingungen

Wie bereits eingangs erwähnt, ermöglicht das in Kapitel 3 definierte Spektrum an Randbedingungen eine weiterführende Variantenstudie zur Identifikation der Einsatzmöglichkeiten der einzelnen Konstruktionstypen. Resümierend gliedern sich diese Randbedingungen für jede Strukturvariante in Charakteristika der baulichen Nutzung (Lastannahmen, Anforderungen an den Wärme- und Schallschutz), der Anforderungen an den Brandschutz (Feuerwiderstand, Art der Kompensationsmaßnahme), sowie der Konstruktionsgeometrie (Deckenspannweite).

Diese Randbedingungen bewegen sich jeweils in einem gewissen Wertespektrum, welches innerhalb der Variantenstudie vollständig abgebildet werden soll. Aus diesem Grund werden für die Variantenstudie Wertemengen mit den jeweils maximalen und minimalen Größen der jeweiligen Randbedingungen gebildet, und weiterführend für ein definiertes Spannweitespektrum ausgewertet. In einer graphischen zweidimensionalen Darstellung dieser Ergebnisse (Abszisse  $\hat{=}$  Spannweite, Ordinate  $\hat{=}$  jeweiliger Ergebnisparameter) ergeben sich somit maximale und minimale Funktionsgraphen innerhalb dessen Grenzen alle möglichen Varianten von Ergebnisparametern liegen müssen. Eine Übersicht über diese, innerhalb der

Variantenstudie verwendeten, maximalen und minimalen Randbedingungen ist nachfolgend in Tabelle 4.1 ersichtlich.

**Tabelle 4.1: Maximale und minimale statische und bauphysikalische Randbedingungen**

Randbedingung	Maximalanforderung	Minimalanforderung
Nutzlast $q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	3,00	1,50
Wärmedurchgangskoeffizient $U$ [W/m <sup>2</sup> K]	0,20	0,90
Bewertetes Schalldämmmaß $R_w$ [dB]	58	43
Bewerteter Normtrittschallpegel $L_{n,w}$ [dB]	48	58
Spannweite [m]	10,00	4,00

Wie aus Tabelle 4.1 ersichtlich, werden laut den Definitionen in Kapitel 3.3 als maximale und minimale Randbedingungen Werte definiert, welche teilweise sowohl Grenzwerte des Wohn-, als auch des Bürobaus, darstellen. Die nachfolgenden Ergebnisspektren implizieren daher eine verallgemeinerte Ergebnisbandbreite, welche sowohl die Randbedingungen des Wohn-, als auch des Bürobaus, miteinschließen. Somit können die Lösungen auch als Ergebnisspektrum für eine eventuelle Wohn-Büro-Mischbauweise verstanden werden. Um eine konsistente Betrachtung aller Konstruktionsvarianten zu ermöglichen, werden zur nachführenden Bewertung die jeweiligen Nutzlasten als maßgebendes Kriterium festgelegt, eventuelle Zwischenwandzuschläge werden nicht betrachtet. Die Ermittlung der Ergebnisparameter erfolgt dabei für einen Wertebereich von 4 m bis 10 m, wobei für die Berechnung eine allgemeine Inkrementbreite von 0,1 m festgelegt wird.

Anhand der beschriebenen Charakteristika kann eine vollständige Untersuchung der jeweiligen Konstruktionstypen erfolgen. In den nachfolgenden Kapiteln werden daher einerseits die für jeden Konstruktionstyp maßgebenden Spektren der Ergebnisparameter vorgestellt, sowie andererseits ein weiterführender Vergleich dieser Strukturen angestellt. Der Fokus der Variantenstudie liegt dabei im Besonderen auf den für den Holzhochhausbau relevanten Deckenkonstruktionen in Holzbauweise. Zusätzlich dazu werden zu Vergleichszwecken die definierten Varianten in konventioneller mineralischer Massivbauweise vorgestellt und bewertet.

### 4.3. Bewertungsergebnisse Massivbauweise Holz

Im Kontext der Holzkonstruktionen in Massivbauweise werden für die Variantenstudie, wie bereits in Kapitel 3.5 vorgestellt, zwei verschiedene Konstruktionsvarianten berücksichtigt. Dabei handelt es sich einerseits um die gekapselte Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton (siehe auch Tabelle 3.5, links), sowie andererseits um die frei belassene Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton (siehe auch Tabelle 3.5, rechts).

#### 4.3.1. Gekapselte Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton

##### Statische Ergebnisparameter

Das für die gekapselte Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton maßgebende Spektrum an statischen Ergebnisparametern (Aufbauhöhen) ist nachfolgend in Abbildung 4.1 dargestellt.

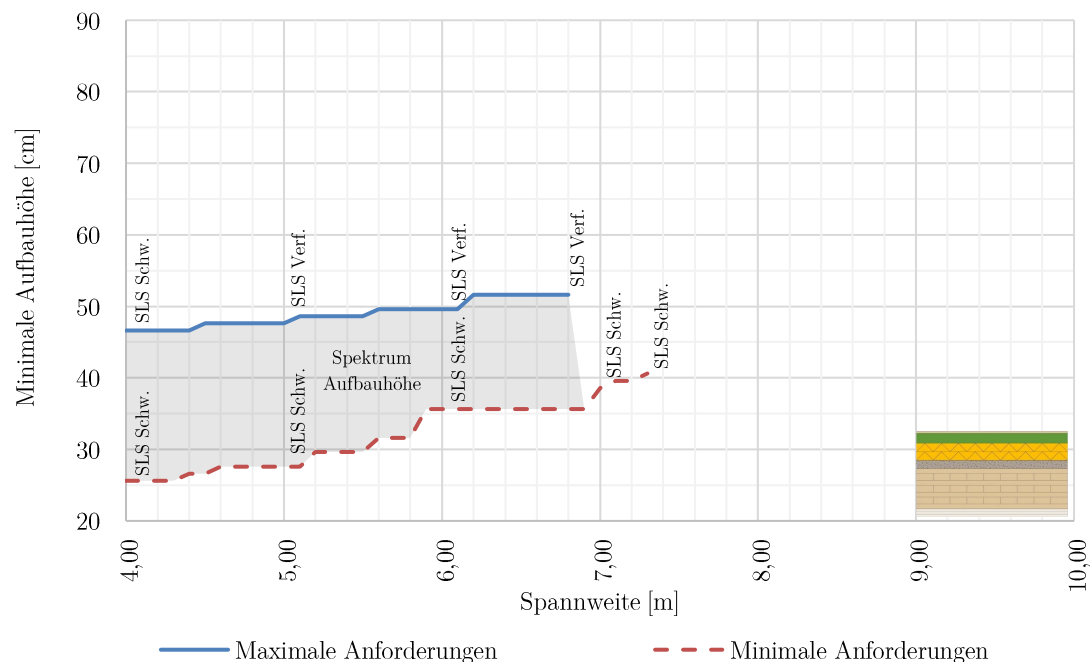


Abbildung 4.1: Spektrum Aufbauhöhe, gekapselte Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton

Wie aus Abbildung 4.1 ersichtlich, ergibt sich für die gekapselte Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton ein Spektrum an Aufbauhöhen zwischen 25 cm und 52 cm. Die eingangs definierte Bandbreite an Spannweiten zwischen 4 m und 10 m kann bei diesem Konstruktionstyp allerdings nicht vollständig erfüllt werden. Je nach Anforderung können nur Spannweiten zwischen maximal 6,8 m (maximale Anforderungen) bzw. 7,3 m (minimale Anforderungen) realisiert werden. Betrachtet man die dabei maßgebenden statischen Nachweise, so fällt auf, dass trotz der massiven Bauweise in allen Fällen der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) als maßgebendes Kriterium gesehen werden kann. Beginnend bei

der geringsten minimalen Aufbauhöhe und der damit verbundenen geringsten Steifigkeit der Konstruktion, ist der Nachweis SLS Schwingung so lange maßgebend, bis eine gewisse Mindeststeifigkeit erreicht wird, ab welcher der Nachweis SLS Verformung entscheidend wird.

### Ökonomische Ergebnisparameter

Das für die gekapselte Brettspertholzdecke ohne Verbundbeton maßgebende Spektrum an ökonomischen Ergebnisparametern (Gesamtkosten) ist nachfolgend in Abbildung 4.2 dargestellt.

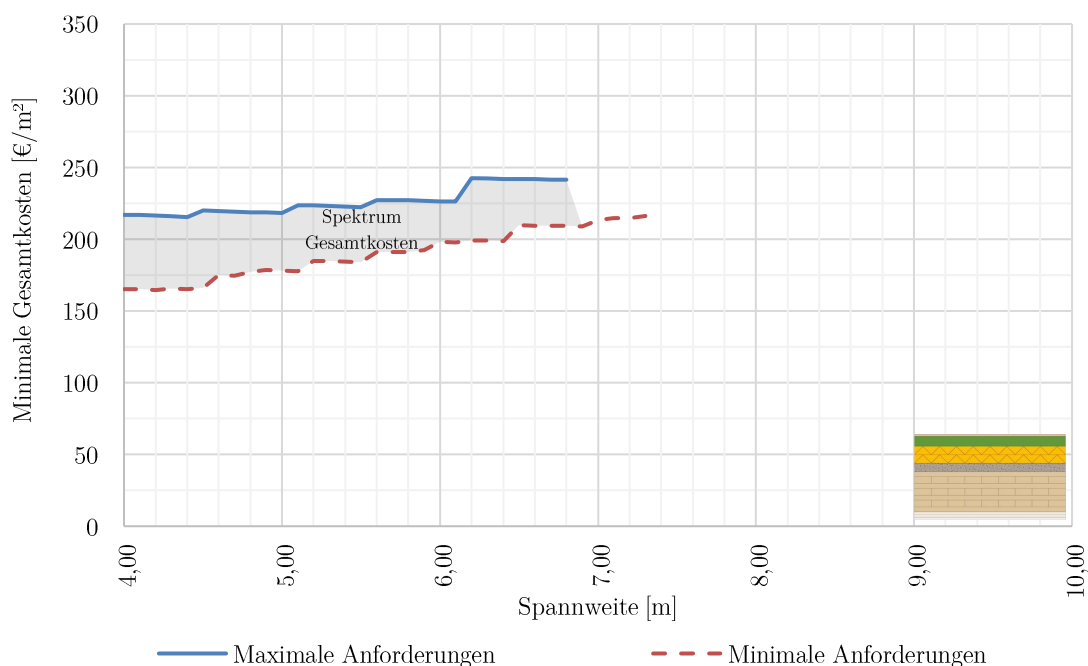


Abbildung 4.2: Spektrum Gesamtkosten, gekapselte Brettspertholzdecke ohne Verbundbeton

Wie aus Abbildung 4.2 ersichtlich, ergibt sich für die gekapselte Brettspertholzdecke ohne Verbundbeton ein Spektrum an Gesamtkosten zwischen 164 €/m<sup>2</sup> und 242 €/m<sup>2</sup>. Die maximalen und minimalen Graphen der Gesamtkosten charakterisieren sich dabei durch regelmäßige Sprünge, sowie danach wieder leicht abflachenden Gesamtkosten.

Eine detaillierte Betrachtung der Gesamtkostenentwicklung bzw. der dafür verantwortlichen Teilkosten für maximale und minimale Anforderungen kann nachfolgend aus Abbildung 4.3 entnommen werden.



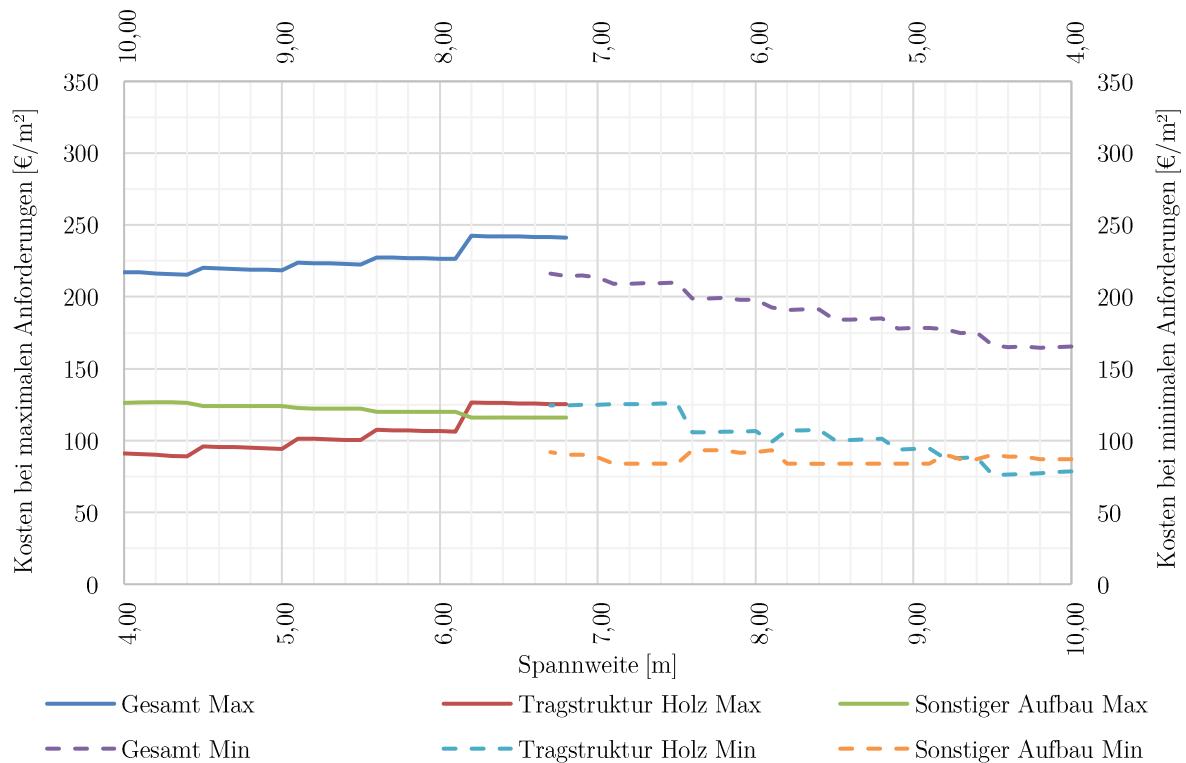


Abbildung 4.3: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, gekapselte Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton

Die Gesamtkosten der Tragstruktur können jeweils in die Kostenkomponenten der Tragstruktur Holz, sowie in die Kostenkomponenten des sonstigen Deckenaufbaus gegliedert werden. Somit ergeben sich nach Abbildung 4.3 sowohl bei maximalen, als auch minimalen Anforderungen, ähnliche Kostenkomponenten für die Tragstruktur Holz, welche wesentlich durch die Spannweite bestimmt werden. Im Gegensatz dazu bleiben die Kosten für den sonstigen Aufbau bei einer Variation der Spannweite relativ konstant. Die Höhe der Kostenkomponente des sonstigen Aufbaus wird rein durch das Maß an Anforderungen bestimmt. Bei ähnlichen Kostenverläufen der Tragstruktur Holz kann die resultierende Differenz der Gesamtkosten zwischen maximalen und minimalen Anforderungen daher auf die Kostenkomponente des sonstigen Deckenaufbaus zurückgeführt werden.

### Ökologische Ergebnisparameter

Das für die gekapselte Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton maßgebende Spektrum an ökologischen Ergebnisparametern (OI3-Ökoindizes) ist nachfolgend in Abbildung 4.4 dargestellt.

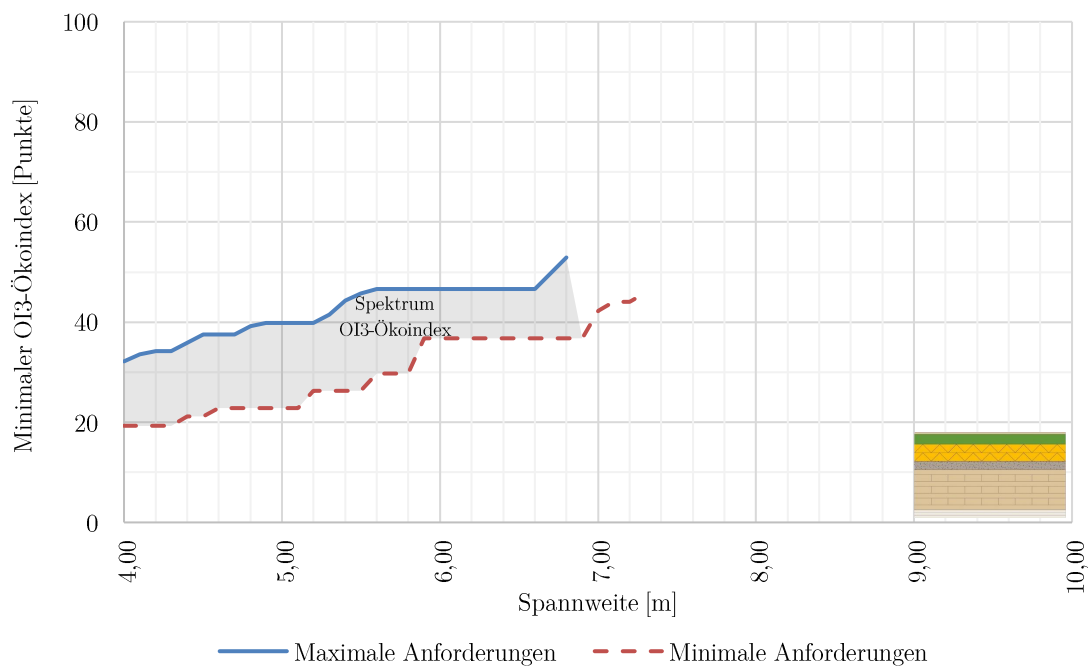


Abbildung 4.4: Spektrum OI3-Ökoindex, gekapselte Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton

Wie aus Abbildung 4.4 ersichtlich, ergibt sich für die gekapselte Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton ein Spektrum an OI3-Ökoindizes zwischen 19 Punkten und 54 Punkten, welches somit in einer ökologisch sehr guten (A+) bis mäßig guten (C) Bandbreite liegt.

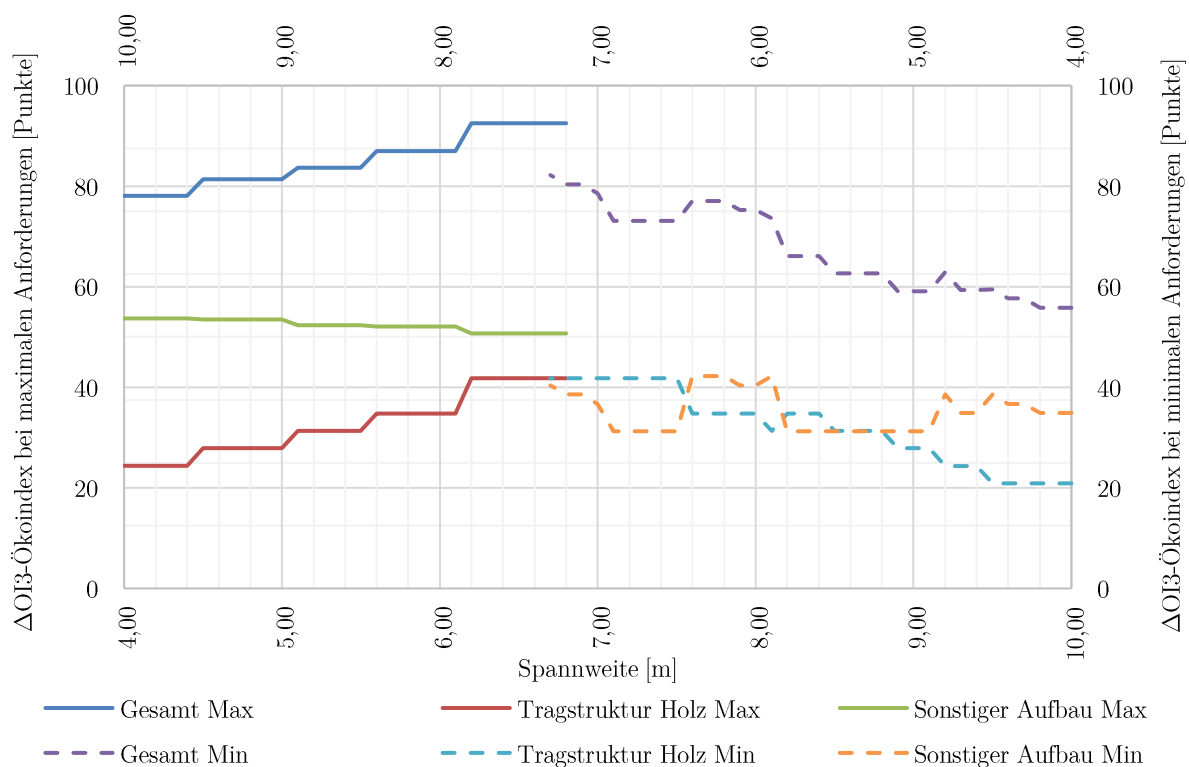


Abbildung 4.5:  $\Delta$ OI3-Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, gekapselte Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton

Das in Abbildung 4.4 errechnete Spektrum an OI3-Ökoindizes stellt eine Bandbreite an ökologisch optimierten Varianten dar. Betrachtet man dazu vergleichend das Spektrum für ökonomisch optimierte Varianten (siehe Abbildung 4.5), kann hier ein weiteres ökologisches Optimierungspotential erkannt werden. Abbildung 4.5 zeigt hierfür das ökologische Spektrum auf Schichtebene bei minimalen Kosten. Anhand der Ergebnisse nach Abbildung 4.5 wird deutlich, dass die ökologische Wertigkeit des Konstruktionstyps wesentlich durch den sonstigen Aufbau der Tragstruktur bestimmt wird. Während der ökologische Einfluss der Tragstruktur Holz als grundsätzlich sehr positiv, und nur essentiell durch die Spannweite bestimmt, beschrieben werden kann, ergeben sich für den sonstigen Aufbau teilweise nur mäßige Werte, bestimmt durch die sonstigen Randbedingungen des Bewertungssystems. Ein ökologisches Optimierungspotential durch eine Adaptierung des sonstigen Aufbaus ist bei Kostenoptimalität daher durchaus gegeben.

#### 4.3.2. Frei belassene Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton

##### Statische Ergebnisparameter

Das für die frei belassene Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton maßgebende Spektrum an statischen Ergebnisparametern (Aufbauhöhen) ist nachfolgend in Abbildung 4.6 dargestellt.

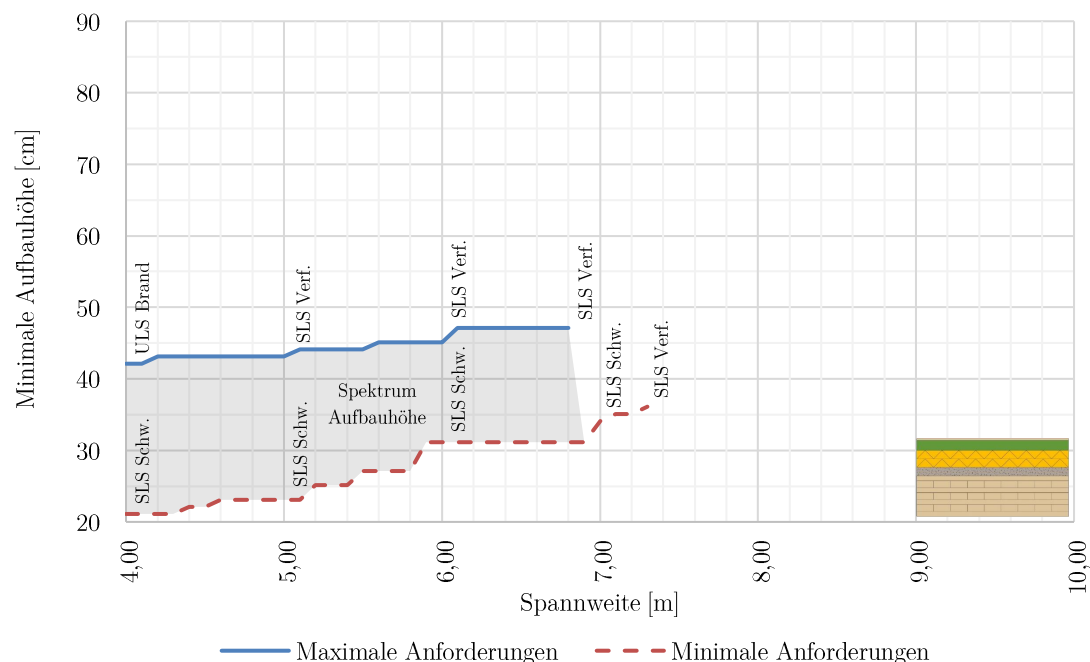


Abbildung 4.6: Spektrum Aufbauhöhe, frei belassene Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton

Wie aus Abbildung 4.6 ersichtlich, ergibt sich für die frei belassene Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton ein Spektrum an Aufbauhöhen zwischen 21 cm und 47 cm. Die Ergebnisse ähneln grundsätzlich jenen der gekapselten Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton, stellen

dabei allerdings leicht optimierte Lösungen dar. Die eingangs definierte Bandbreite an Spannweiten zwischen 4 m und 10 m kann auch bei diesem Konstruktionstyp nicht vollständig erfüllt werden. Je nach Anforderungen können nur Spannweiten zwischen maximal 6,8 m (maximale Anforderungen) bzw. 7,3 m (minimale Anforderungen) realisiert werden.

Betrachtet man die maßgebenden statischen Nachweise, so fällt auf, dass trotz der massiven Bauweise ebenfalls großteils der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) als maßgebendes Kriterium gesehen werden kann. Lediglich bei maximalen Anforderungen und sehr geringen Spannweiten wird der Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) für den Brandfall bei dieser Konstruktionsvariante maßgebend. Hinsichtlich der maßgebenden Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) zeigt sich ein ähnliches Muster wie bei der gekapselten Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton. Beginnend bei der geringsten minimalen Aufbauhöhe und der damit verbundenen geringsten Steifigkeit der Konstruktion, ist der Nachweis SLS Schwingung so lange maßgebend, bis eine gewisse Mindeststeifigkeit erreicht wird, ab welcher der Nachweis SLS Verformung entscheidend wird.

### Ökonomische Ergebnisparameter

Das für die frei belassene Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton maßgebende Spektrum an ökonomischen Ergebnisparametern (Gesamtkosten) ist nachfolgend in Abbildung 4.7 dargestellt.

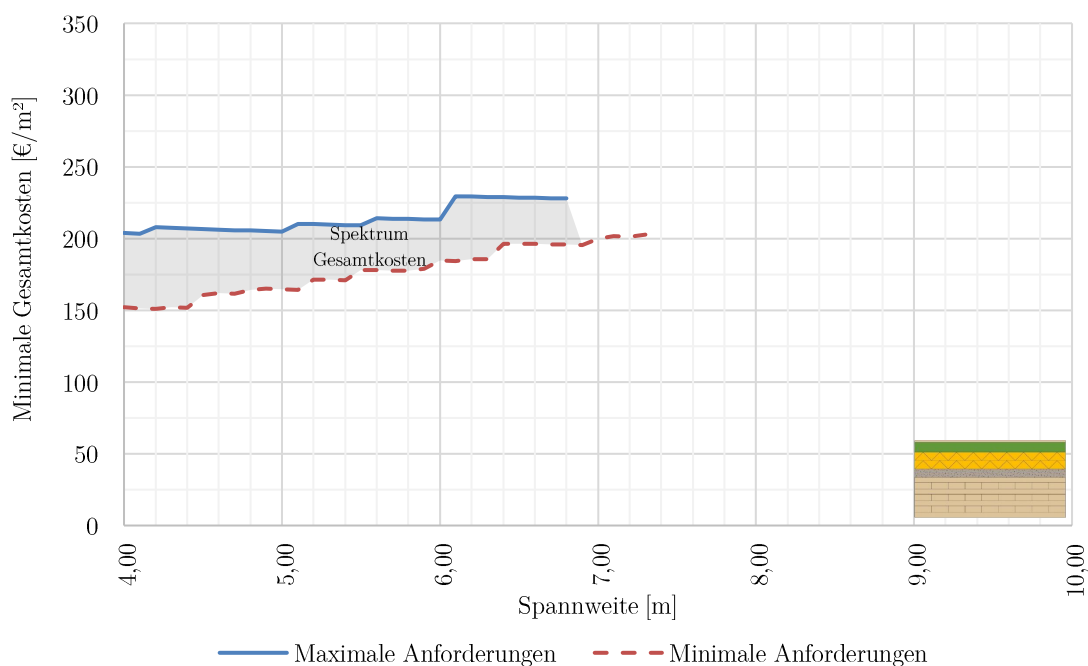


Abbildung 4.7: Spektrum Gesamtkosten, frei belassene Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton

Wie aus Abbildung 4.7 ersichtlich, ergibt sich für die frei belassene Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton ein Spektrum an Gesamtkosten zwischen 151 €/m<sup>2</sup> und 228 €/m<sup>2</sup>. Die

Ergebnisse ähneln grundsätzlich auch aus ökonomischer Sicht jenen der gekapselten Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton, stellen allgemein betrachtet allerdings eine etwas kostengünstigere Variante dar. Die maximalen und minimalen Graphen der Gesamtkosten charakterisieren sich auch hier durch regelmäßige Sprünge, sowie danach wieder leicht abflachenden Gesamtkosten. Eine detaillierte Betrachtung dieser Gesamtkostenentwicklung bzw. der dafür verantwortlichen Teilkosten für maximale und minimale Anforderungen kann nachfolgend aus Abbildung 4.8 entnommen werden.

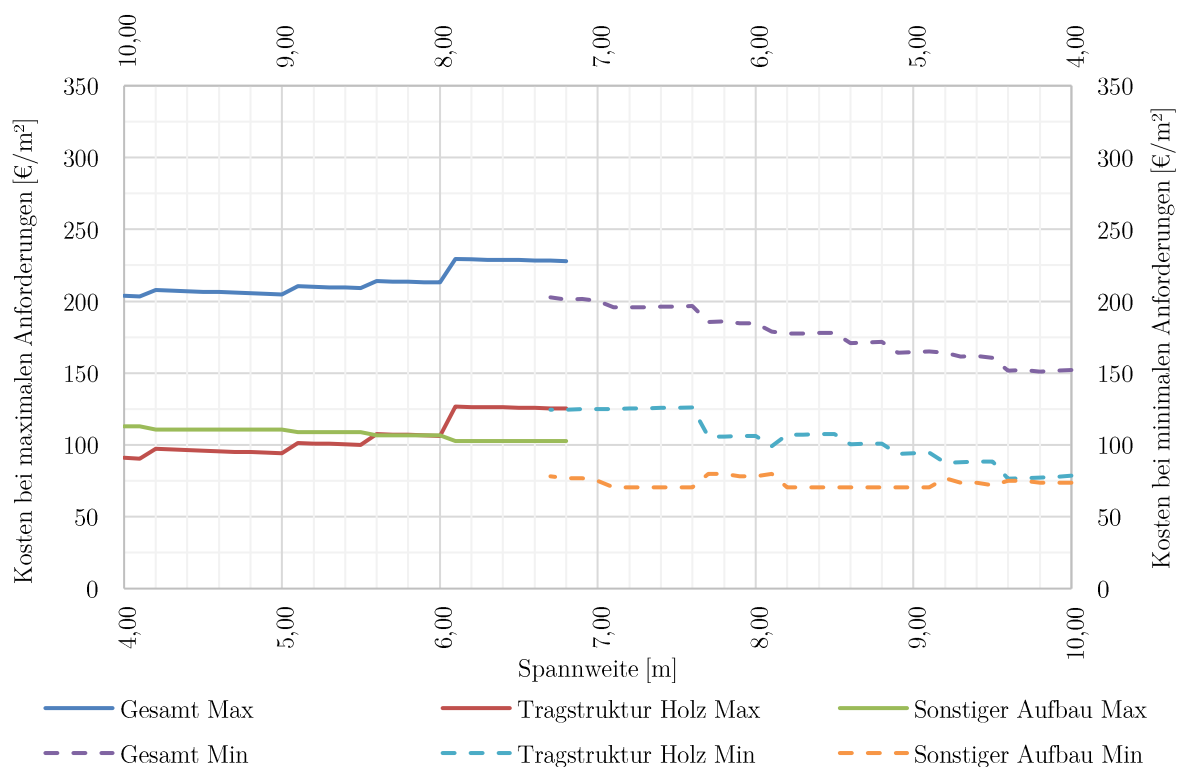


Abbildung 4.8: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, frei belassene Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton

Die Gesamtkosten der Tragstruktur können wieder jeweils in die Kostenkomponenten der Tragstruktur Holz, sowie in die Kostenkomponenten des sonstigen Deckenaufbaus gegliedert werden. Nach Abbildung 4.8 lassen sich für maximale und minimale Anforderungen ähnliche Kostenkomponenten für die Tragstruktur Holz feststellen, welche wesentlich durch die Spannweite bestimmt werden. Speziell bei hohen Spannweiten erlangt hier der Kostenanteil der Tragstruktur Holz eine signifikante Bedeutung. Im Gegensatz dazu bleiben die Kosten für den sonstigen Aufbau bei einer Variation der Spannweite relativ konstant. Die Höhe der Kostenkomponente des sonstigen Aufbaus wird rein durch das Maß an Anforderungen bestimmt. Bei ähnlichen Kostenverläufen der Tragstruktur Holz kann die resultierende Differenz der Gesamtkosten zwischen maximalen und minimalen Anforderungen daher auf die Kostenkomponente des sonstigen Deckenaufbaus zurückgeführt werden. Vergleicht man die

Kostenkomponenten des sonstigen Aufbaus der frei belassenen Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton mit jenen der gekapselten Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton, lässt sich durch den adaptierten sonstigen Aufbau eine partielle Reduktion dieser Teilkosten feststellen. Ein Übergang von einer gekapselten zu einer frei belassenen Konstruktionsweise stellt daher eine wirkungsvolle ökonomische Optimierungsmaßnahme dar.

### Ökologische Ergebnisparameter

Das für die frei belassene Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton maßgebende Spektrum an ökologischen Ergebnisparametern (OI3-Ökoindizes) ist nachfolgend in Abbildung 4.9 dargestellt.

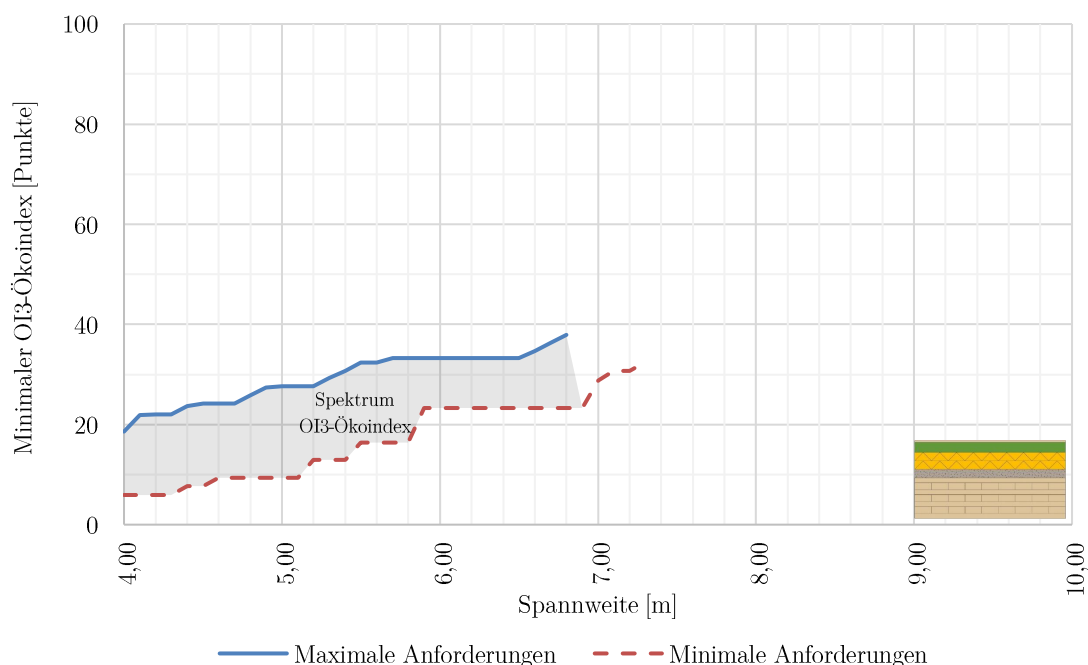


Abbildung 4.9: Spektrum OI3-Ökoindex, frei belassene Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton

Wie aus Abbildung 4.9 ersichtlich, ergibt sich für die frei belassene Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton ein Spektrum an OI3-Ökoindizes zwischen 6 Punkten und 38 Punkten, welches somit in einer ökologisch idealen (A++) bis guten (B) Bandbreite liegt.

Äquivalent zur gekapselten Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton stellt das vorgestellte Spektrum an OI3-Ökoindizes eine Bandbreite an ökologisch optimierten Varianten dar. Betrachtet man dazu vergleichend das Spektrum für ökonomisch optimierte Varianten auf Schichtebene (siehe Abbildung 4.10), zeigt diese Konstruktionsvariante auch bei kostenoptimalen Querschnitten bereits ökologisch adäquate Werte. Ökologisches Optimierungspotential ist zwar weiterhin vorhanden, im Vergleich zur gekapselten Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton kann die frei belassene Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton allerdings bereits als ökologisch optimiert bezeichnet werden. Wie aus Abbildung

4.10 ersichtlich, liegen die  $\Delta\text{OI3}$ -Ökoindizes des sonstigen Aufbaus in wesentlich geringeren Spektren als bei der gekapselten Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton (siehe Abbildung 4.5). Ein Übergang von einer gekapselten zu einer frei belassenen Konstruktionsweise stellt daher bereits eine wirkungsvolle ökologische Optimierungsmaßnahme dar.

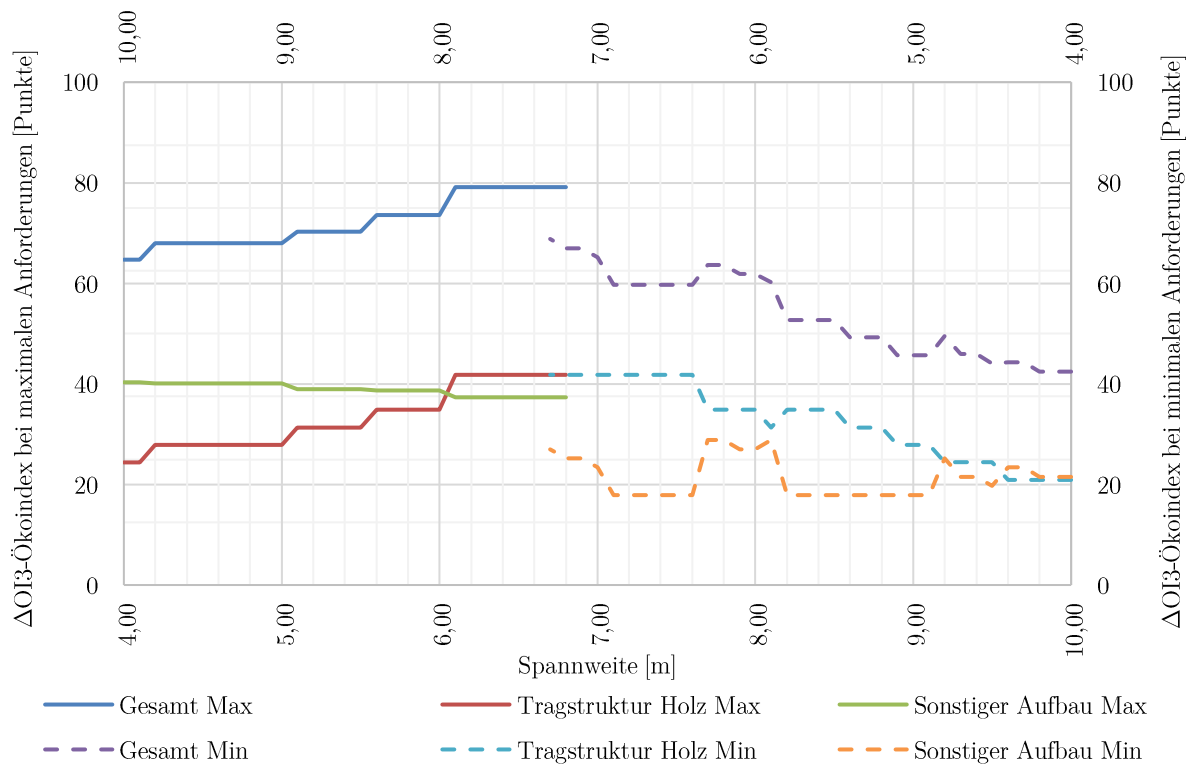


Abbildung 4.10:  $\Delta\text{OI3}$ -Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, frei belassene Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton

## 4.4. Bewertungsergebnisse Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton

Im Kontext der Holzkonstruktionen in Rippenbauweise mit Verbundbeton werden für die Variantenstudie, wie bereits in Kapitel 3.6 vorgestellt, zwei verschiedene Konstruktionsvarianten berücksichtigt. Dabei handelt es sich einerseits um die gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln (siehe auch Tabelle 3.6, links), sowie andererseits um die frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln (siehe Tabelle 3.6, rechts).

### 4.4.1. Gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

#### Statische Ergebnisparameter

Das für die gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln maßgebende Spektrum an statischen Ergebnisparametern (Aufbauhöhen) ist nachfolgend in Abbildung 4.11 dargestellt.

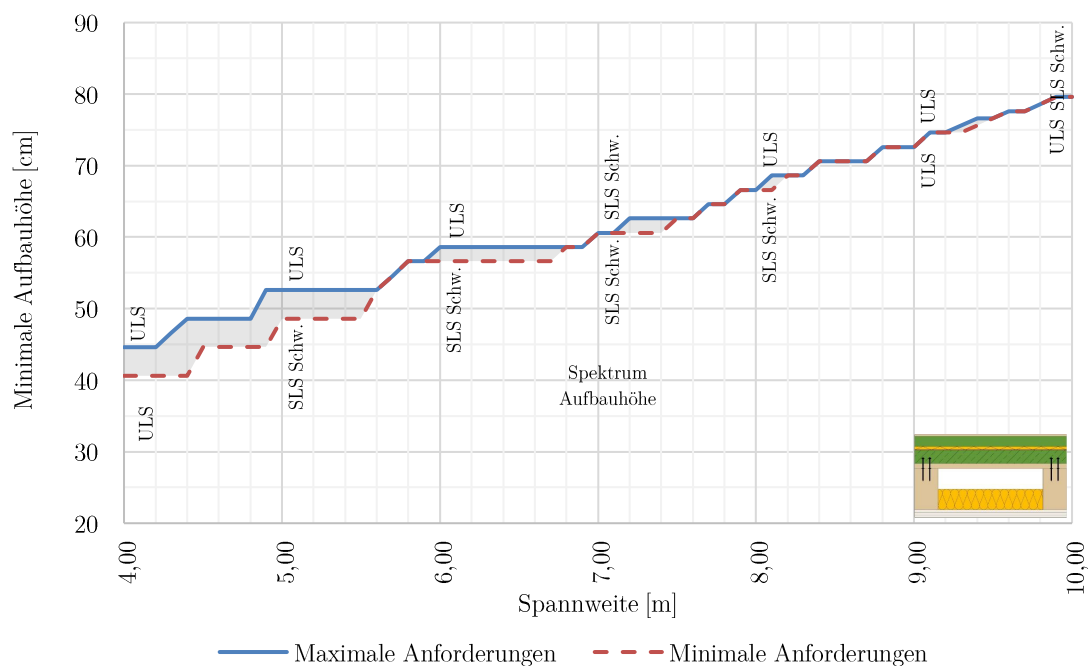


Abbildung 4.11: Spektrum Aufbauhöhe, gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

Wie aus Abbildung 4.11 ersichtlich, ergibt sich für die gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln ein Spektrum an Aufbauhöhen zwischen 41 cm und 80 cm. Die eingangs definierte Bandbreite an Spannweiten zwischen 4 m und 10 m kann bei diesem Konstruktionstyp vollständig erfüllt werden. Die Graphen bei maximalen und minimalen Anforderungen charakterisieren sich durch stetige Sprünge, wobei die Größe dieser



Sprünge stark von der Spannweite abhängig ist. Betrachtet man die maßgebenden statischen Nachweise, so fällt auf, dass für die mittelschwere Rippenbauweise mit Verbundbeton sowohl der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS), als auch der Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) als maßgebende Kriterien gesehen werden können. Wird bei minimalen Anforderungen großteils der Nachweis SLS Schwingung geltend, stellt sich bei maximalen Anforderungen hauptsächlich der Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) als maßgebend dar. Begründet werden kann dieser Umstand durch das leichte Konstruktionsgewicht des Gesamtaufbaus, bei gleichzeitig allerdings teilweise sehr hoher Steifigkeit der Tragstruktur.

### Ökonomische Ergebnisparameter

Das für die gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln maßgebende Spektrum an ökonomischen Ergebnisparametern (Gesamtkosten) ist nachfolgend in Abbildung 4.12 dargestellt.

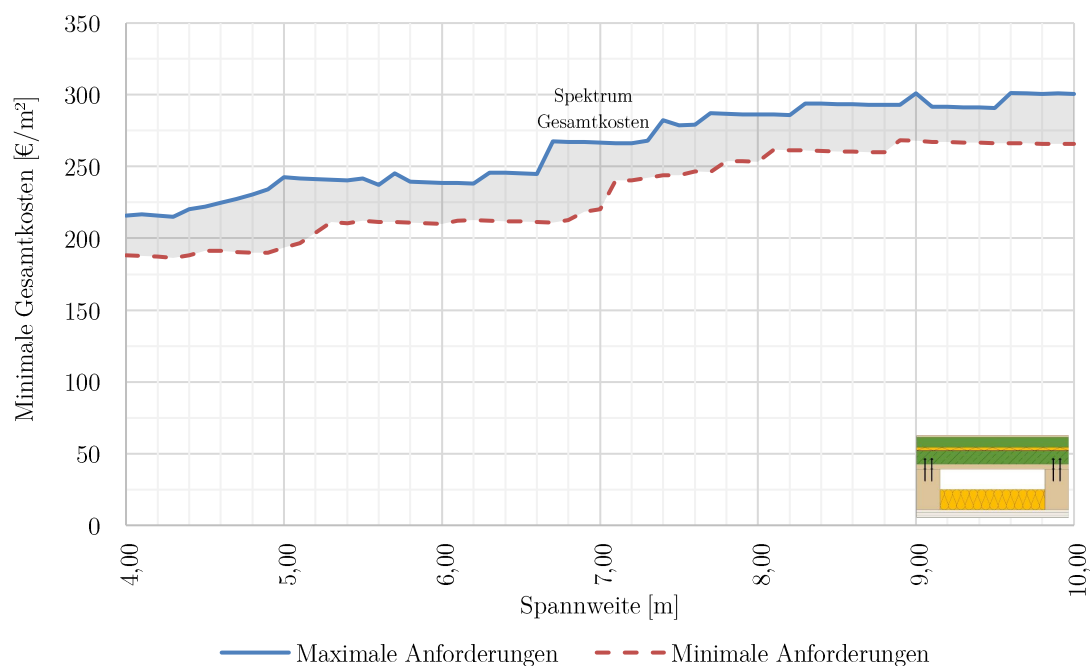


Abbildung 4.12: Spektrum Gesamtkosten, gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

Wie aus Abbildung 4.12 ersichtlich, ergibt sich für die gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln ein Spektrum an Gesamtkosten zwischen 186 €/m<sup>2</sup> und 301 €/m<sup>2</sup>. Die maximalen und minimalen Graphen der Gesamtkosten zeigen dabei einen relativ homogenen Preisanstieg bei nur relativ geringen Preissprüngen.

Eine detaillierte Betrachtung der Gesamtkostenentwicklung bzw. der dafür verantwortlichen Teilkosten für maximale und minimale Anforderungen kann nachfolgend aus Abbildung 4.13 entnommen werden.

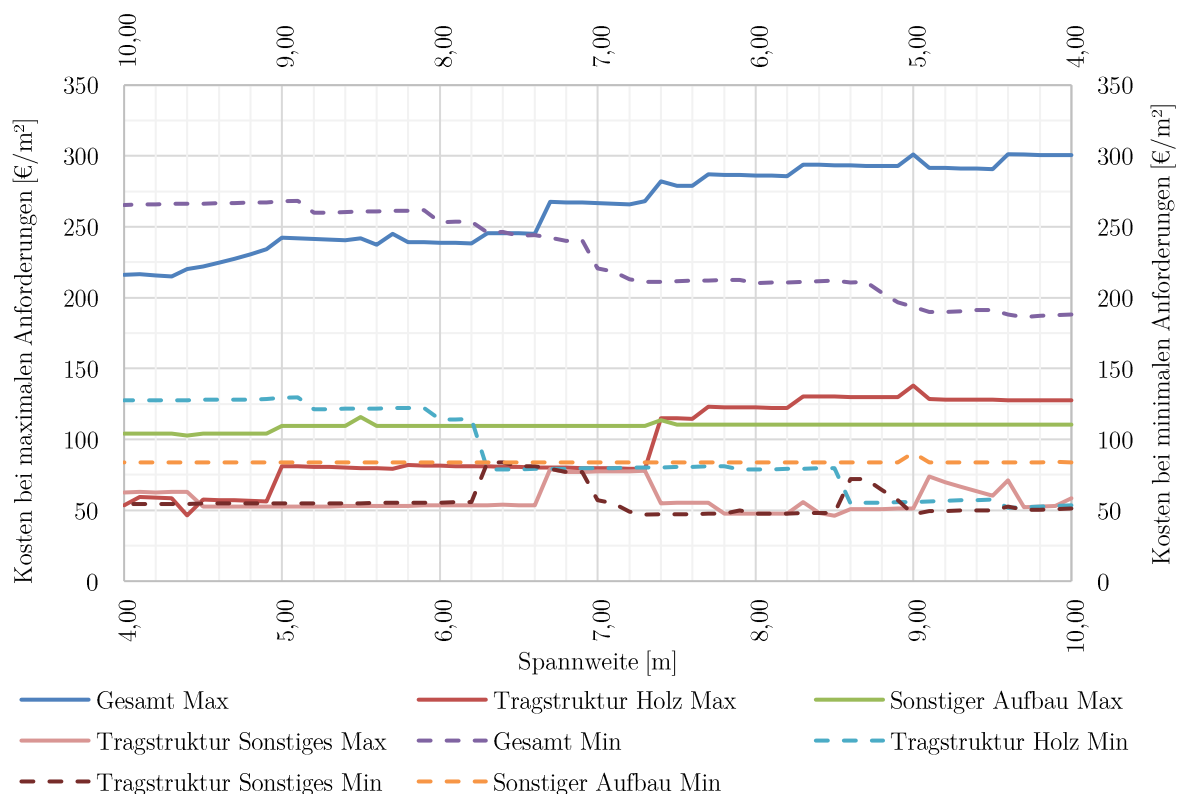
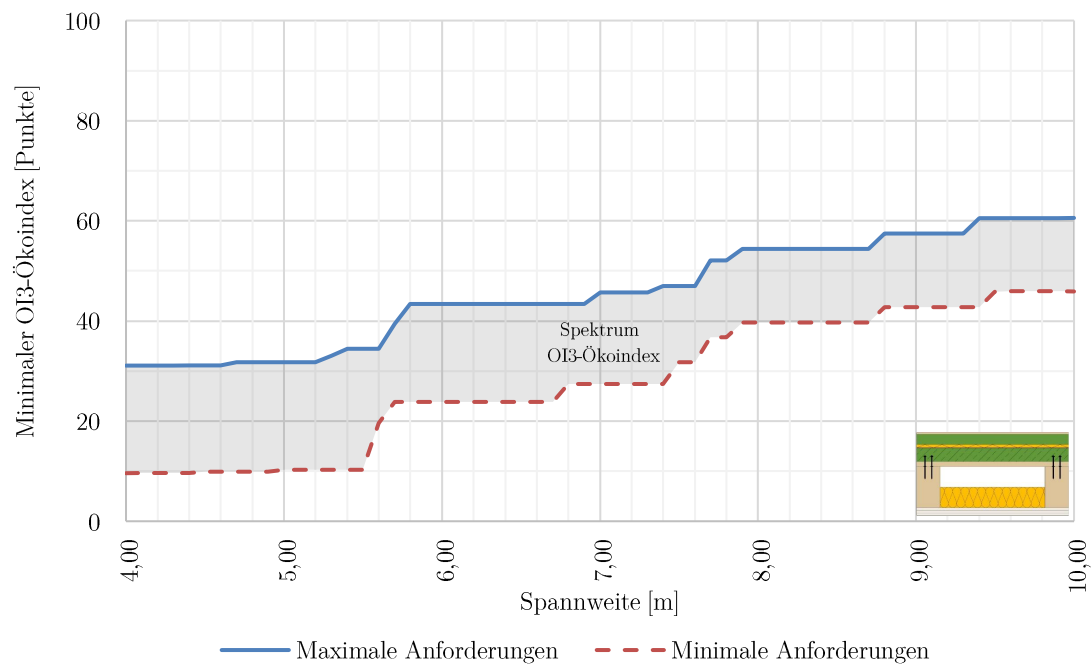


Abbildung 4.13: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

Die Gesamtkosten der Tragstruktur können jeweils in die Kostenkomponenten der Tragstruktur Holz, die Kostenkomponenten der Tragstruktur Sonstiges, sowie in die Kostenkomponenten des sonstigen Deckenaufbaus gegliedert werden. Somit ergeben sich nach Abbildung 4.13 sowohl bei maximalen, als auch minimalen Anforderungen, ähnliche Kostenkomponenten für die Tragstruktur Holz. Die Kosten der Tragstruktur Holz werden dabei wesentlich durch die Spannweite bestimmt, und charakterisieren sich hierbei weiterführend durch einzelne sprunghafte Steigerungen. Vergleicht man dazu die Kostenkomponenten Tragstruktur Sonstiges, so zeigt sich für diesen Teilkostenbereich, bis auf einzelne Peaks vor allem im mittleren Spannweitenbereich, ein relativ konstanter Graphenverlauf. Daraus folgend wird speziell bei hohen Spannweiten eine große kalkulatorische Differenz zwischen den beiden Kostenkomponenten der expliziten Tragstruktur geltend. Unter der Berücksichtigung relativ konstanter Teilkosten für den sonstigen Aufbau, wird bei diesem Konstruktionstyp daher ein besonderes ökonomisches Optimierungspotential für die Kostenkomponente der Tragstruktur Holz bei großen Spannweiten sichtbar.

## Ökologische Ergebnisparameter

Das für die gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln maßgebende Spektrum an ökologischen Ergebnisparametern (OI3-Ökoindizes) ist nachfolgend in Abbildung 4.14 dargestellt.



**Abbildung 4.14: Spektrum OI3-Ökoindex, gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln**

Wie aus Abbildung 4.14 ersichtlich, ergibt sich für die gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln ein Spektrum an OI3-Ökoindizes zwischen 9 Punkten und 61 Punkten, welches somit in einer ökologisch idealen (A++) bis mäßig schlechten (D) Bandbreite liegt.

Das in Abbildung 4.14 errechnete Spektrum an OI3-Ökoindizes stellt eine Bandbreite an ökologisch optimierten Varianten dar. Betrachtet man dazu vergleichend das Spektrum für ökonomisch optimierte Varianten auf Schichtebene (siehe Abbildung 4.15), kann hier ein weiteres ökologisches Optimierungspotential erkannt werden. Anhand der Ergebnisse nach Abbildung 4.15 wird deutlich, dass die ökologische Wertigkeit des Konstruktionstyps wesentlich durch die Tragstruktur Sonstiges, sowie durch den sonstigen Aufbau der Konstruktion bestimmt wird. Während der ökologische Einfluss der Tragstruktur Holz als grundsätzlich sehr positiv, und nur essentiell durch die Spannweite bestimmt, beschrieben werden kann, weisen kostenoptimierte Varianten für gewisse Querschnittsgeometrien schichtbezogene Peaks der Tragstruktur Sonstiges auf. Für den sonstigen Aufbau ergeben sich teilweise ebenfalls nur mäßige Werte, welche sich wesentlich durch die Randbedingungen des Bewertungssystems

definieren. Ein ökologisches Optimierungspotential ist daher einerseits partiell für die Tragstruktur Sonstiges, sowie andererseits für den sonstigen Aufbau im Allgemeinen gegeben.

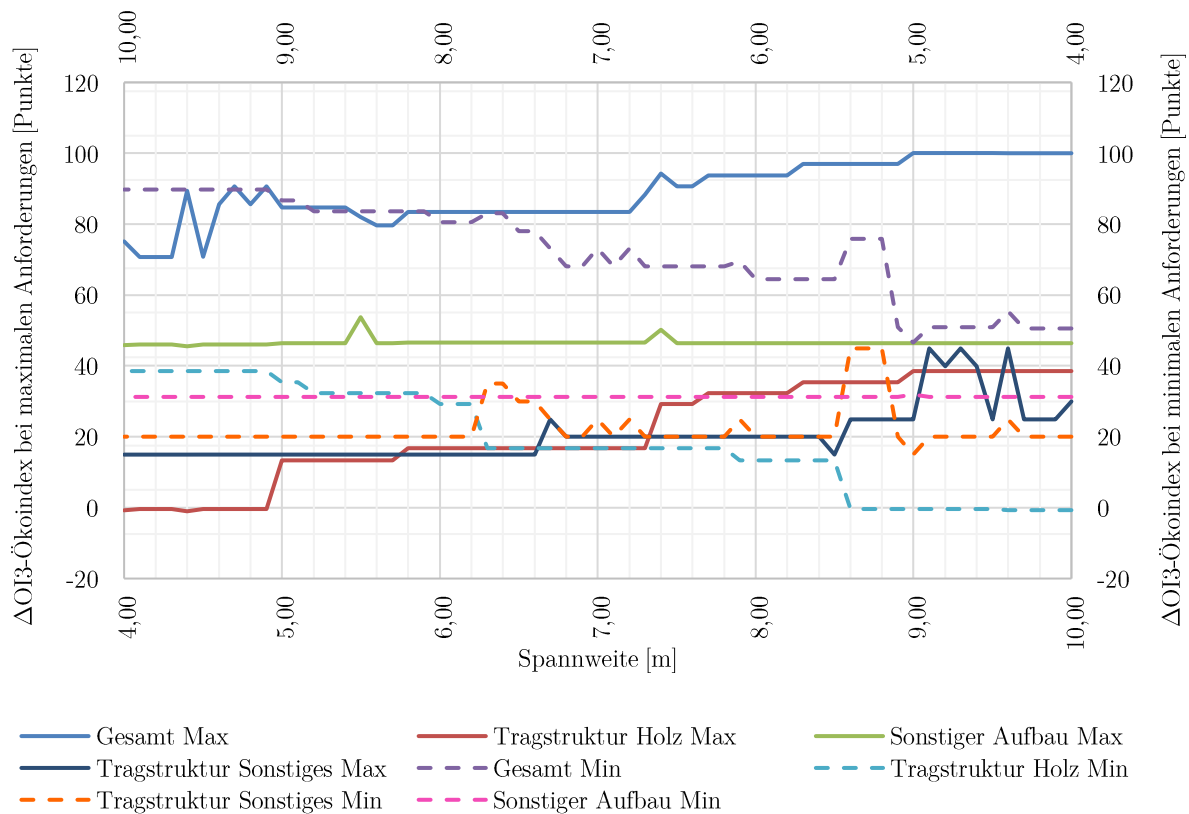


Abbildung 4.15:  $\Delta\text{OI3}$ -Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

#### 4.4.2. Frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

##### Statische Ergebnisparameter

Das für die frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln maßgebende Spektrum an statischen Ergebnisparametern (Aufbauhöhen) ist nachfolgend in Abbildung 4.16 dargestellt.

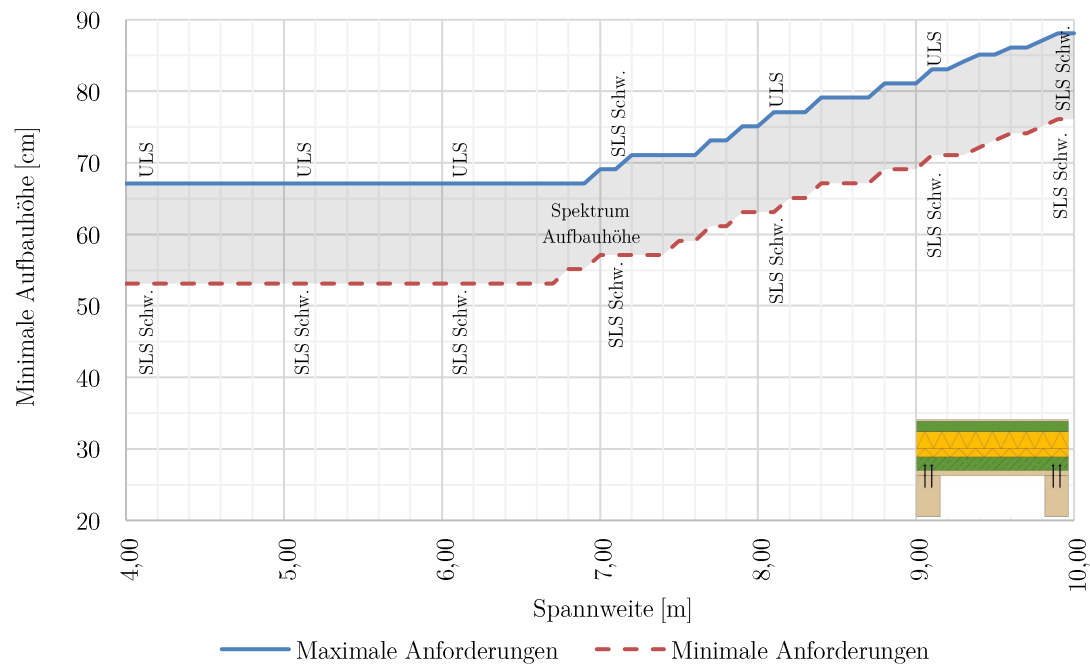
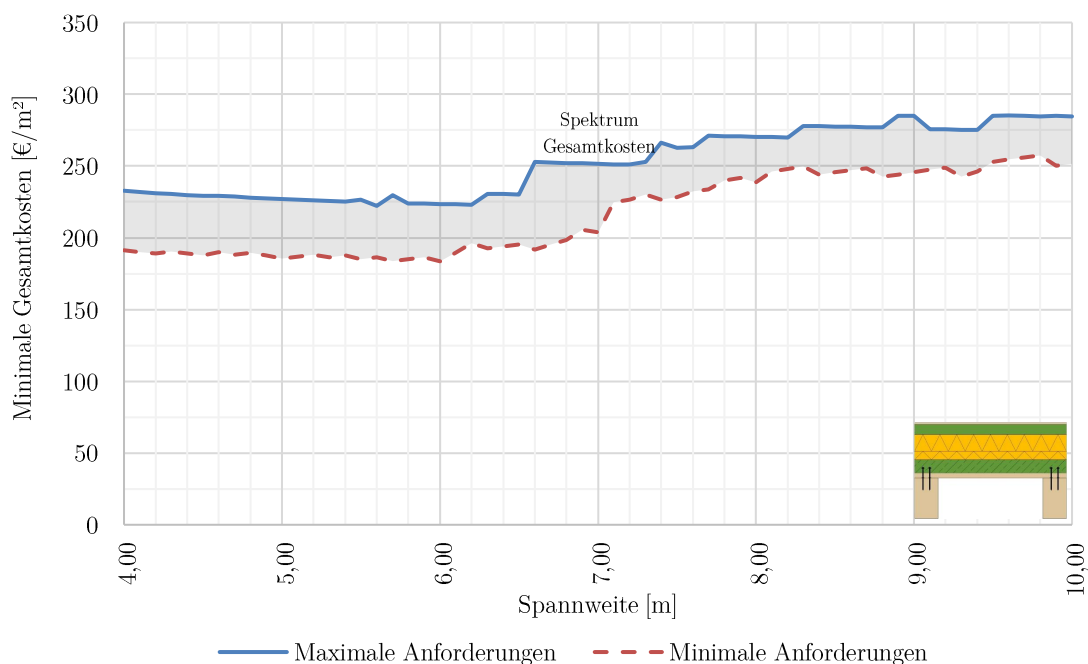


Abbildung 4.16: Spektrum Aufbauhöhe, frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

Wie aus Abbildung 4.16 ersichtlich, ergibt sich für die frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln ein Spektrum an Aufbauhöhen zwischen 53 cm und 88 cm. Die eingangs definierte Bandbreite an Spannweiten zwischen 4 m und 10 m kann bei diesem Konstruktionstyp vollständig erfüllt werden. Die Ergebnisse zeigen im niedrigen bis mittleren Spannweitenspektrum konstante minimale Aufbauhöhen, welche durch die Abbrandeigenschaften der Rippenkonstruktion bedingt werden. Weiterführend lassen sich die Graphen der maximalen und minimalen Anforderungen bei höheren Spannweiten durch markante stetige Sprünge charakterisieren. Betrachtet man die maßgebenden statischen Nachweise, so fällt auf, dass für die mittelschwere Rippenbauweise mit Verbundbeton sowohl der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS), als auch der Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) als maßgebende Kriterien gesehen werden können. Wird bei minimalen Anforderungen der Nachweis SLS Schwingung maßgeblich geltend, stellt sich bei maximalen Anforderungen hauptsächlich der Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) als führend dar. Begründet werden kann dieser Umstand, unter der Berücksichtigung der Abbrandeigenschaften der Tragkonstruktion, durch das leichte Konstruktionsgewicht des Gesamtaufbaus, bei gleichzeitig allerdings teilweise sehr hoher Steifigkeit der Tragstruktur.

## Ökonomische Ergebnisparameter

Das für die frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln maßgebende Spektrum an ökonomischen Ergebnisparametern (Gesamtkosten) ist nachfolgend in Abbildung 4.17 dargestellt.



**Abbildung 4.17: Spektrum Gesamtkosten, frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln**

Wie aus Abbildung 4.17 ersichtlich, ergibt sich für die frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln ein Spektrum an Gesamtkosten zwischen 184 €/m<sup>2</sup> und 285 €/m<sup>2</sup>. Die maximalen und minimalen Graphen der Gesamtkosten zeigen dabei einen relativ homogenen Preisanstieg bei großteils nur relativ geringen Preissprüngen.

Eine detaillierte Betrachtung der Gesamtkostenentwicklung bzw. der dafür verantwortlichen Teilkosten für maximale und minimale Anforderungen kann nachfolgend aus Abbildung 4.18 entnommen werden.

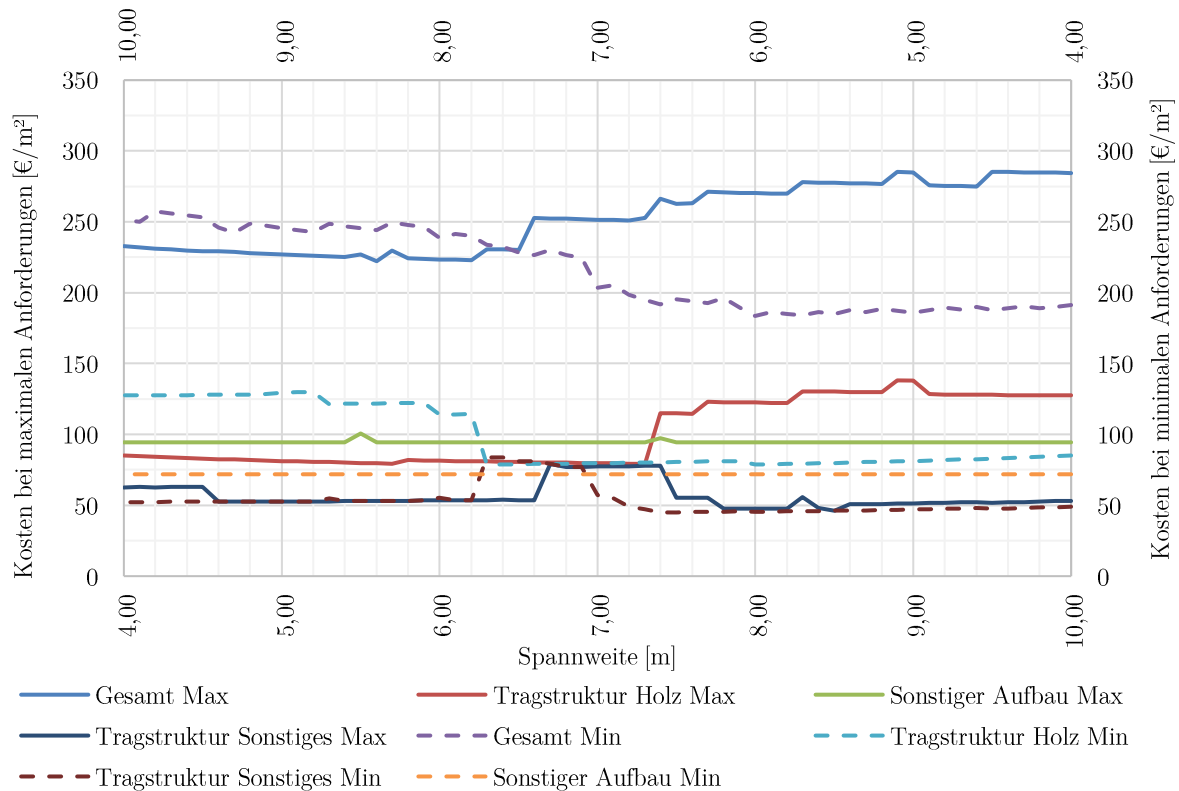


Abbildung 4.18: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

Die Gesamtkosten der Tragstruktur können jeweils in die Kostenkomponenten der Tragstruktur Holz, die Kostenkomponenten der Tragstruktur Sonstiges, sowie in die Kostenkomponenten des sonstigen Deckenaufbaus gegliedert werden. Grundsätzlich zeigen sich für die frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln vom Prinzip her ähnliche Kostenverläufe wie für die gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln. Somit ergeben sich nach Abbildung 4.18 wieder sowohl bei maximalen, als auch minimalen Anforderungen, ähnliche Kostenkomponenten für die Tragstruktur Holz. Die Kosten der Tragstruktur Holz werden dabei wesentlich durch die Spannweite bestimmt, und charakterisieren sich auch hierbei weiterführend durch einzelne sprunghafte Steigerungen, allerdings in geringerer Anzahl. Vergleicht man dazu die Kostenkomponenten Tragstruktur Sonstiges, so zeigt sich für diesen Teilkostenbereich, bis auf einzelne Peaks vor allem im mittleren Spannweitenbereich, ein relativ konstanter Graphenverlauf. Daraus folgend wird speziell bei hohen Spannweiten wieder eine große kalkulatorische Differenz zwischen den beiden Kostenkomponenten der expliziten Tragstruktur geltend. Unter der Berücksichtigung relativ konstanter Teilkosten für den sonstigen Aufbau, wird daher auch bei diesem Konstruktionstyp ein besonderes ökonomisches Optimierungspotential für die Kostenkomponente der Tragstruktur Holz bei großen Spannweiten sichtbar.

## Ökologische Ergebnisparameter

Das für die frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln maßgebende Spektrum an ökologischen Ergebnisparametern (OI3-Ökoindizes) ist nachfolgend in Abbildung 4.19 dargestellt.

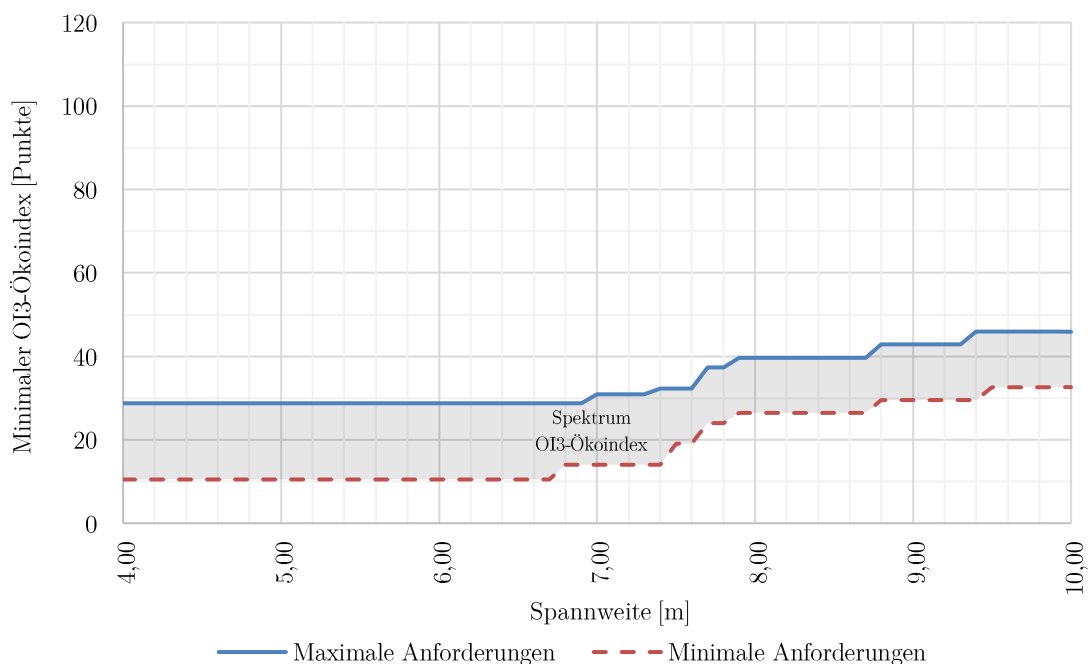


Abbildung 4.19: Spektrum OI3-Ökoindex, frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

Wie aus Abbildung 4.19 ersichtlich, ergibt sich für die gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln ein Spektrum an OI3-Ökoindizes zwischen 10 Punkten und 46 Punkten, welches somit in einer ökologisch idealen (A++) bis mäßig guten (C) Bandbreite liegt.

Äquivalent zur gekapselten Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln stellt das vorgestellte Spektrum an OI3-Ökoindizes eine Bandbreite an ökologisch optimierten Varianten dar. Betrachtet man dazu vergleichend das Spektrum für ökonomisch optimierte Varianten auf Schichtebene (siehe Abbildung 4.20), kann auch bei dieser Konstruktionsvariante weiterführendes ökologisches Optimierungspotential bei kostenoptimalen Querschnitten erkannt werden.

Die Resultate für die frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln ähneln vom Prinzip her jenen der gekapselten Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln. Anhand der Ergebnisse nach Abbildung 4.20 wird auch hier deutlich, dass die ökologische Wertigkeit des Konstruktionstyps wesentlich durch die Tragstruktur Sonstiges, sowie durch den sonstigen Aufbau der Konstruktion



bestimmt wird. Während der ökologische Einfluss der Tragstruktur Holz als grundsätzlich sehr positiv, und nur essentiell durch die Spannweite bestimmt, beschrieben werden kann, weisen kostenoptimierte Varianten für gewisse Querschnittsgeometrien schichtbezogene Peaks der Tragstruktur Sonstiges auf. Für den sonstigen Aufbau ergeben sich teilweise ebenfalls nur mäßige Werte, welche sich wesentlich durch die Randbedingungen des Bewertungssystems definieren. Ein ökologisches Optimierungspotential ist daher auch bei dieser Variante einerseits partiell für die Tragstruktur Sonstiges, sowie andererseits für den sonstigen Aufbau im Allgemeinen gegeben.

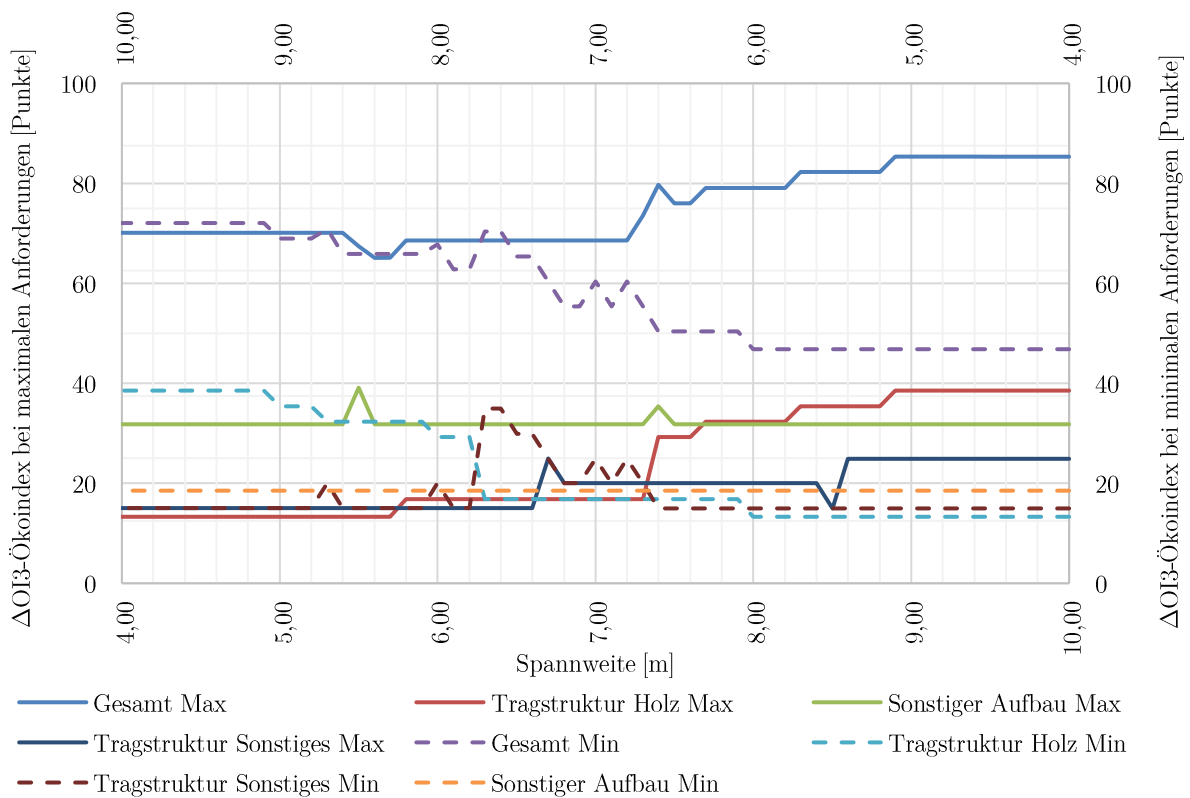


Abbildung 4.20:  $\Delta OI3$ -Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln

## 4.5. Bewertungsergebnisse Rippenbauweise Holz ohne Verbundbeton

Im Kontext der Holzkonstruktionen in Rippenbauweise ohne Verbundbeton werden für die Variantenstudie, wie bereits in Kapitel 3.7 vorgestellt, zwei verschiedene Konstruktionsvarianten berücksichtigt. Dabei handelt es sich einerseits um die gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton (siehe auch Tabelle 3.7, links), sowie andererseits um die frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton (siehe auch Tabelle 3.7, rechts).

### 4.5.1. Gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton

#### Statische Ergebnisparameter

Das für die gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton maßgebende Spektrum an statischen Ergebnisparametern (Aufbauhöhen) ist nachfolgend in Abbildung 4.21 dargestellt.

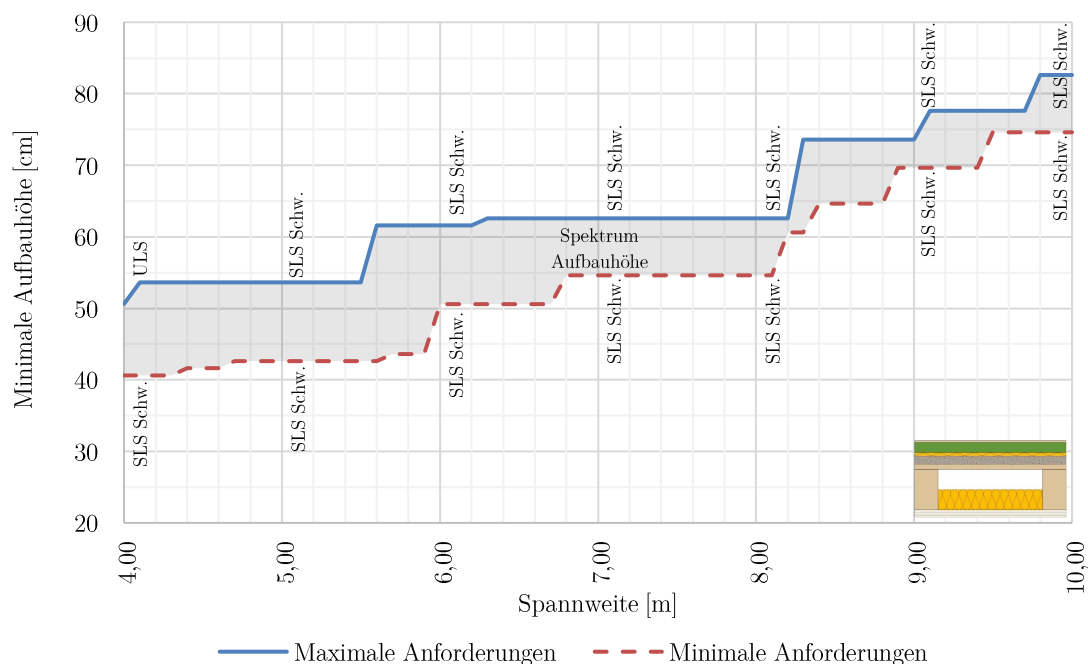


Abbildung 4.21: Spektrum Aufbauhöhe, gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton

Wie aus Abbildung 4.21 ersichtlich, ergibt sich für die gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton ein Spektrum an Aufbauhöhen zwischen 41 cm und 83 cm. Die eingangs definierte Bandbreite an Spannweiten zwischen 4 m und 10 m kann bei diesem Konstruktionstyp vollständig erfüllt werden. Die Graphen bei maximalen und minimalen Anforderungen charakterisieren sich durch markante stetige Sprünge, welche sich durch steigende Querschnittsgeometrien der Rippen bei zunehmender Spannweite begründen lassen. Betrachtet man die maßgebenden statischen Nachweise, so fällt auf, dass für die leichte Rippenbauweise beinahe vollständig der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) als

maßgebendes Kriterium gesehen werden kann. Lediglich bei maximalen Anforderungen und einer sehr geringen Spannweite von 4 m wird der Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) bei dieser Konstruktionsvariante maßgebend. Begründet werden kann dieser Umstand durch das sehr leichte Konstruktionsgewicht des Gesamtaufbaus, bei gleichzeitig ebenfalls verhältnismäßig geringer Steifigkeit der Tragstruktur.

### Ökonomische Ergebnisparameter

Das für die gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton maßgebende Spektrum an ökonomischen Ergebnisparametern (Gesamtkosten) ist nachfolgend in Abbildung 4.22 dargestellt.

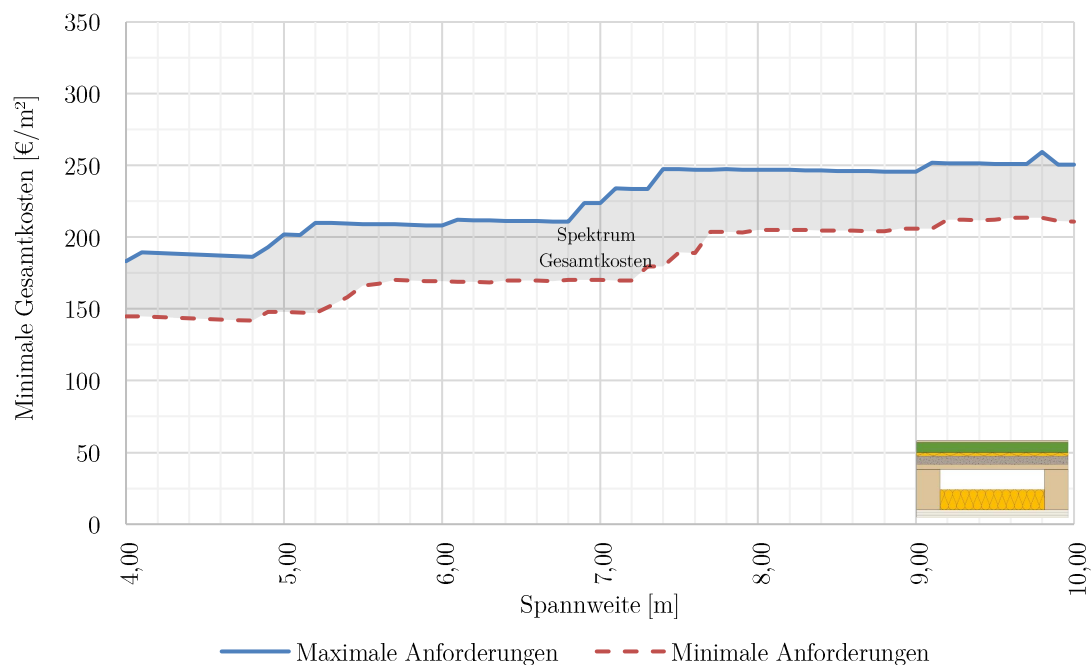


Abbildung 4.22: Spektrum Gesamtkosten, gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton

Wie aus Abbildung 4.22 ersichtlich, ergibt sich für die gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton ein Spektrum an Gesamtkosten zwischen 143 €/m<sup>2</sup> und 260 €/m<sup>2</sup>. Die maximalen und minimalen Graphen der Gesamtkosten charakterisieren sich dabei durch stetige Sprünge, sowie danach wieder leicht abflachenden Gesamtkosten.

Eine detaillierte Betrachtung der Gesamtkostenentwicklung bzw. der dafür verantwortlichen Teilkosten für maximale und minimale Anforderungen kann nachfolgend aus Abbildung 4.23 entnommen werden.

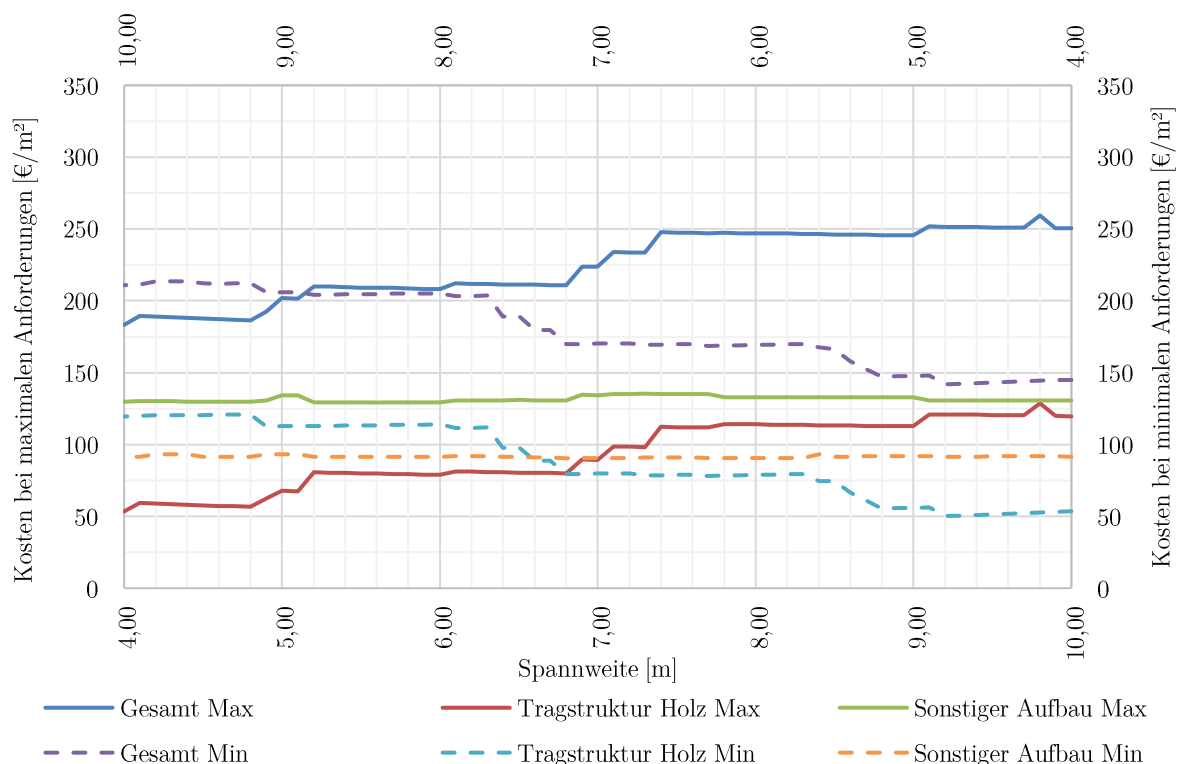


Abbildung 4.23: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton

Die Gesamtkosten der Tragstruktur können jeweils in die Kostenkomponenten der Tragstruktur Holz, sowie in die Kostenkomponenten des sonstigen Deckenaufbaus gegliedert werden. Somit ergeben sich nach Abbildung 4.23 sowohl bei maximalen, als auch minimalen Anforderungen, ähnliche Kostenkomponenten für die Tragstruktur Holz, welche wesentlich durch die Spannweite bestimmt werden. Im Gegensatz dazu bleiben die Kosten für den sonstigen Aufbau bei einer Variation der Spannweite relativ konstant. Die Höhe der Kostenkomponenten des sonstigen Aufbaus wird dabei rein durch das jeweilige Maß an Anforderungen bestimmt. Bei ähnlichen Kostenverläufen der Tragstruktur Holz kann die resultierende Differenz der Gesamtkosten zwischen maximalen und minimalen Anforderungen daher auf die Kostenkomponente des sonstigen Deckenaufbaus zurückgeführt werden.

### Ökologische Ergebnisparameter

Das für die gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton maßgebende Spektrum an ökologischen Ergebnisparametern (OI3-Ökoindizes) ist nachfolgend in Abbildung 4.24 dargestellt.

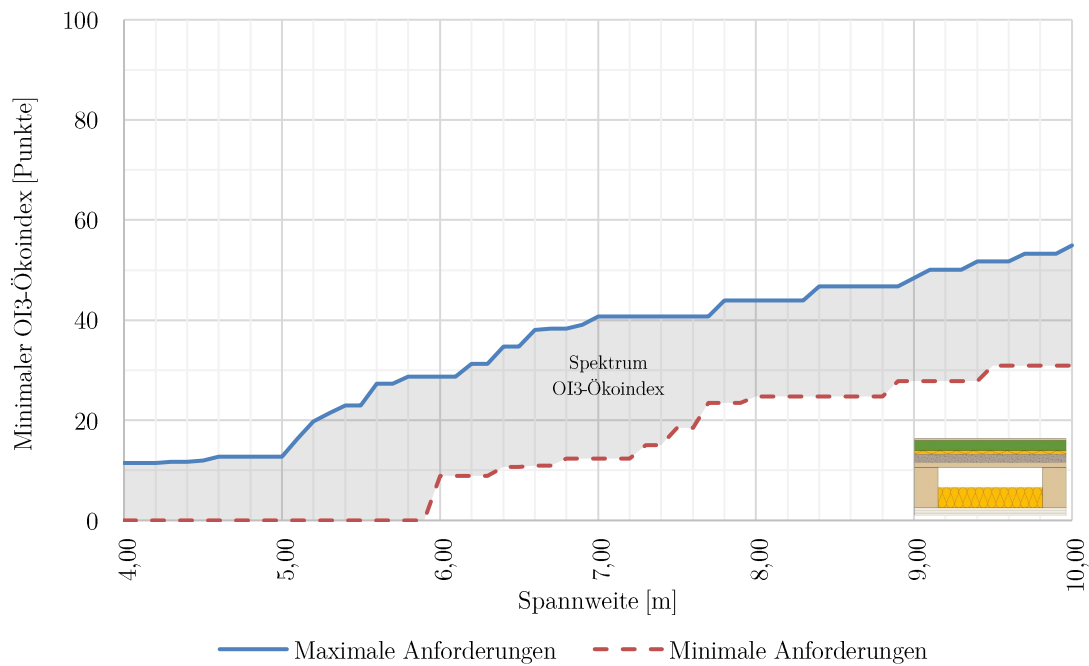


Abbildung 4.24: Spektrum OI3-Ökoindex, gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton

Wie aus Abbildung 4.24 ersichtlich, ergibt sich für die gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton ein Spektrum an OI3-Ökoindizes zwischen 0 Punkten und 55 Punkten, welches somit in einer ökologisch idealen (A++) bis mäßig guten (C) Bandbreite liegt.

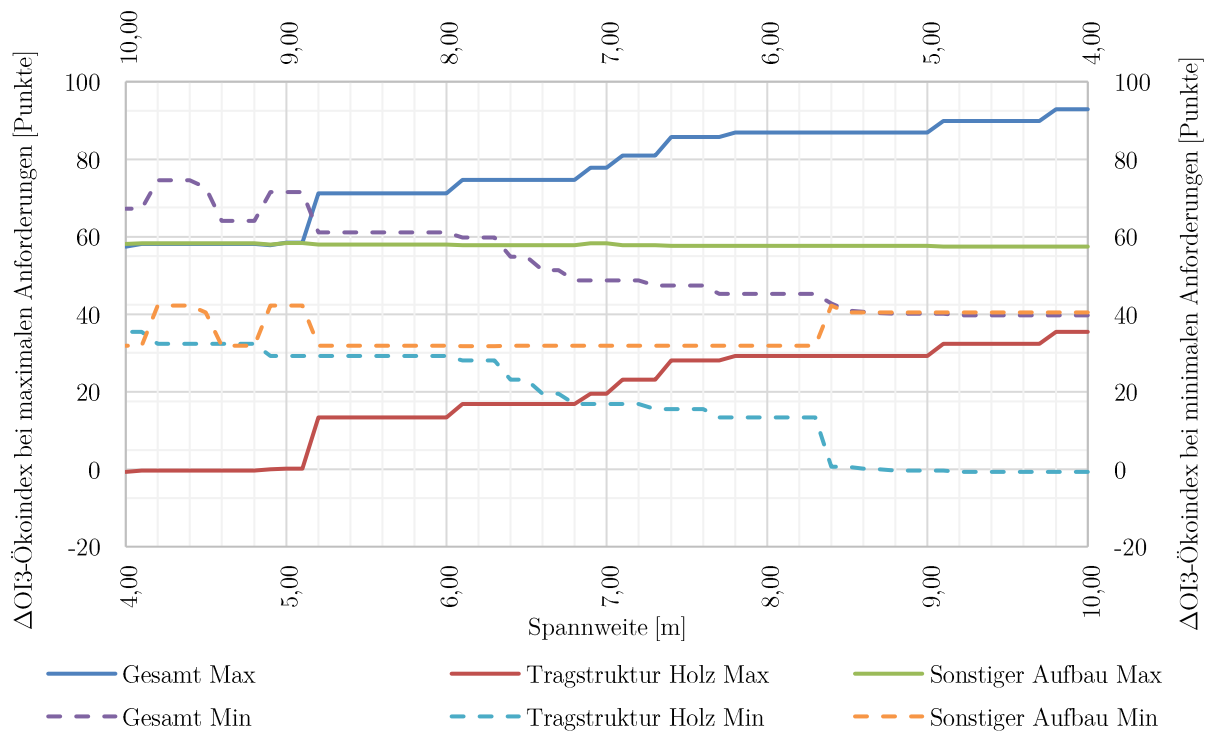


Abbildung 4.25:  $\Delta$ OI3-Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton

Das in Abbildung 4.24 errechnete Spektrum an OI3-Ökoindizes stellt eine Bandbreite an ökologisch optimierten Varianten dar. Betrachtet man dazu vergleichend das Spektrum für ökonomisch optimierte Varianten auf Schichtebene (siehe Abbildung 4.25), kann hier ein weiteres ökologisches Optimierungspotential erkannt werden. Anhand der Ergebnisse nach Abbildung 4.25 wird deutlich, dass die ökologische Wertigkeit des Konstruktionstyps wesentlich durch den sonstigen Aufbau der Tragstruktur bestimmt wird. Während der ökologische Einfluss der Tragstruktur Holz als grundsätzlich sehr positiv, und nur essentiell durch die Spannweite bestimmt, beschrieben werden kann, ergeben sich für den sonstigen Aufbau teilweise nur mäßige Werte, bestimmt durch die sonstigen Randbedingungen des Bewertungssystems. Ein ökologisches Optimierungspotential durch eine Adaptierung des sonstigen Aufbaus ist bei Kostenoptimalität daher bei hohen Anforderungen unabhängig von der Spannweite, bzw. bei geringen Anforderungen bei sehr geringen und sehr hohen Spannweiten, gegeben.

#### 4.5.2. Frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton

##### Statische Ergebnisparameter

Das für die frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton maßgebende Spektrum an statischen Ergebnisparametern (Aufbauhöhen) ist nachfolgend in Abbildung 4.26 dargestellt.

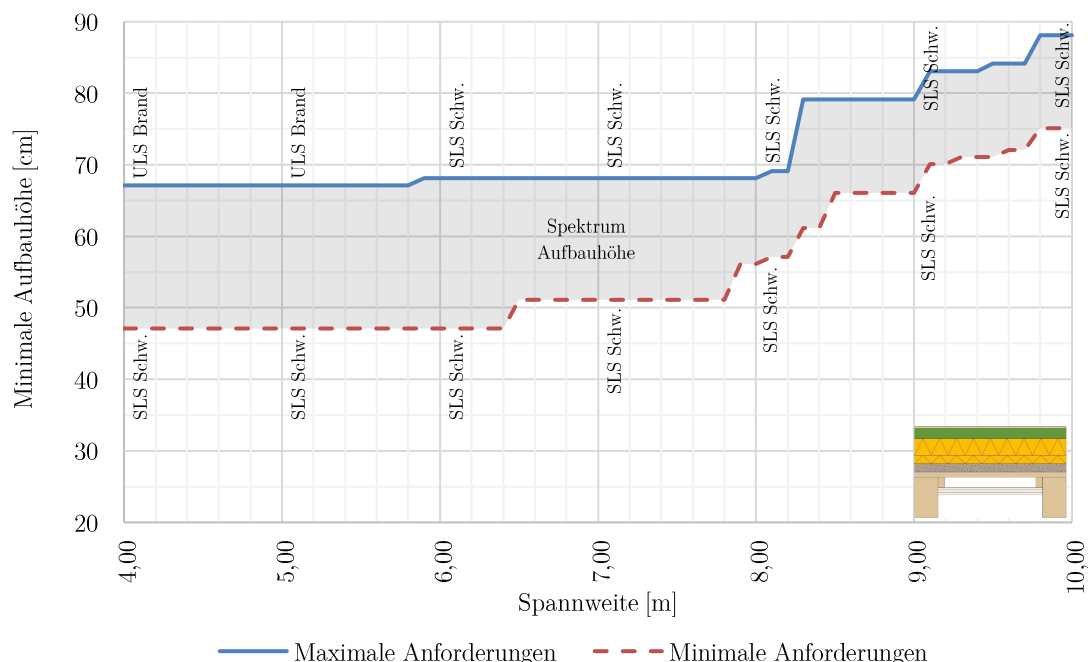


Abbildung 4.26: Spektrum Aufbauhöhe, frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton

Wie aus Abbildung 4.26 ersichtlich, ergibt sich für die frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton ein Spektrum an Aufbauhöhen zwischen 47 cm und 88 cm. Die Ergebnisse

ähneln grundsätzlich jenen der gekapselten Rippendecke ohne Verbundbeton, variieren in den Lösungen allerdings teilweise im positiven, wie auch negativen Sinn. Die eingangs definierte Bandbreite an Spannweiten zwischen 4 m und 10 m kann auch bei diesem Konstruktionstyp vollständig erfüllt werden. Die Graphen bei maximalen und minimalen Anforderungen charakterisieren sich speziell bei hohen Spannweiten durch markante stetige Sprünge, welche sich wiederum durch steigende Querschnittsgeometrien der Rippen bei zunehmender Spannweite begründen lassen. Betrachtet man die maßgebenden statischen Nachweise, so fällt auf, dass auch für diese Form der leichten Rippenbauweise beinahe vollständig der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) als maßgebendes Kriterium gesehen werden kann. Lediglich bei maximalen Anforderungen und geringen Spannweiten zwischen 4 m und 5 m wird der Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) für den Brandfall bei dieser Konstruktionsvariante maßgebend. Begründet werden kann dieser Umstand ebenfalls wieder durch das sehr leichte Konstruktionsgewicht des Gesamtaufbaus, bei gleichzeitig ebenfalls verhältnismäßig geringer Steifigkeit der Tragstruktur.

### Ökonomische Ergebnisparameter

Das für die frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton maßgebende Spektrum an ökonomischen Ergebnisparametern (Gesamtkosten) ist nachfolgend in Abbildung 4.27 dargestellt.

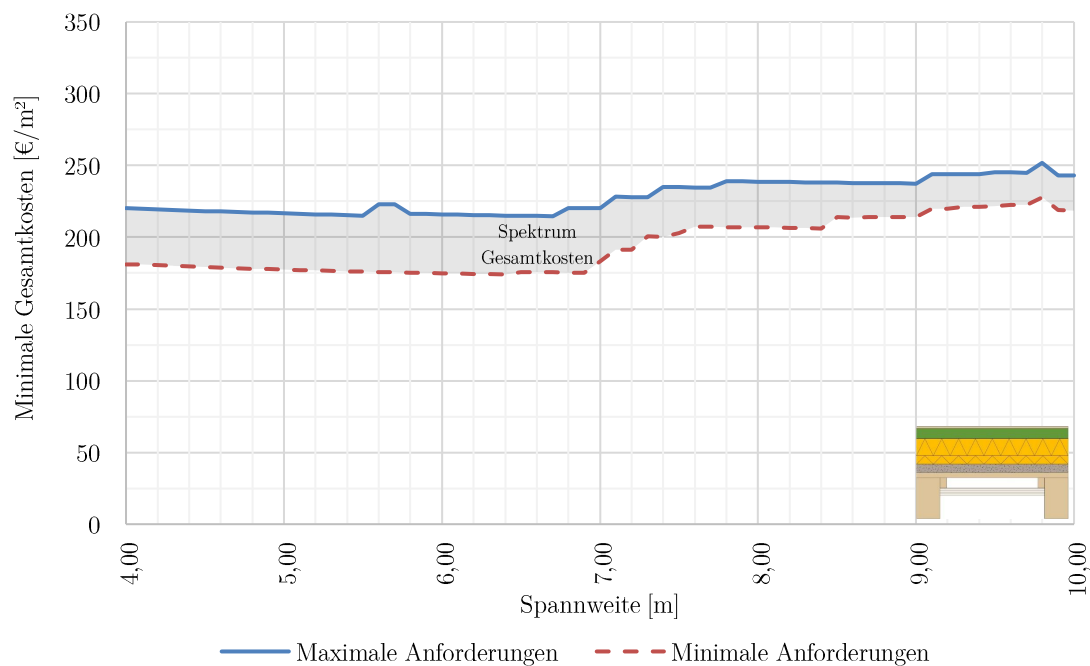
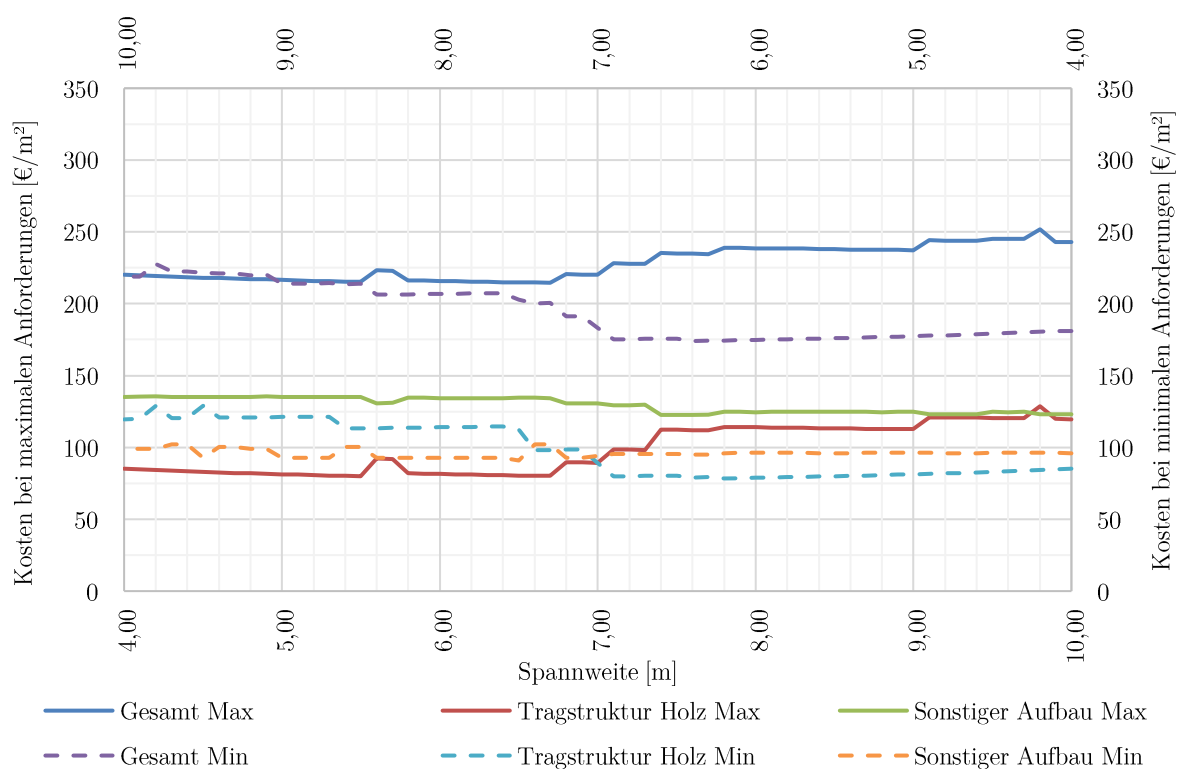


Abbildung 4.27: Spektrum Gesamtkosten, frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton

Wie aus Abbildung 4.27 ersichtlich, ergibt sich für die frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton ein Spektrum an Gesamtkosten zwischen 174 €/m<sup>2</sup> und 251 €/m<sup>2</sup>. Die

maximalen und minimalen Graphen der Gesamtkosten charakterisieren sich dabei geometrieabhängig bei niedrigen bis mittleren Spannweiten durch relativ konstante, leicht fallende Gesamtkosten, bzw. durch stetige Sprünge bei höheren Spannweiten.

Eine detaillierte Betrachtung der Gesamtkostenentwicklung bzw. der dafür verantwortlichen Teilkosten für maximale und minimale Anforderungen kann nachfolgend aus Abbildung 4.28 entnommen werden.



**Abbildung 4.28: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton**

Die Gesamtkosten der Tragstruktur können jeweils in die Kostenkomponenten der Tragstruktur Holz, sowie in die Kostenkomponenten des sonstigen Deckenaufbaus gegliedert werden. Somit ergeben sich nach Abbildung 4.28 sowohl bei maximalen, als auch minimalen Anforderungen, ähnliche Kostenkomponenten für die Tragstruktur Holz, welche wesentlich durch die Spannweite bestimmt werden. Im Vergleich zur gekapselten Rippendecke ohne Verbundbeton können allerdings höhere Werte der Kostenkomponente Tragstruktur Holz bei niedrigen bis mittleren Spannweiten festgestellt werden. Dieser Umstand lässt sich durch höhere erforderliche Querschnittsgeometrien der ungeschützten Bauteiloberfläche im Brandfall erklären. Im Gegensatz zur Kostenkomponente Tragstruktur Holz kann für den sonstigen Aufbau keine direkte Abhängigkeit von der Spannweite festgestellt werden. Diese Kosten bleiben auch bei einer Variation der Spannweite relativ konstant und werden rein durch das Maß an Anforderungen bestimmt.



## Ökologische Ergebnisparameter

Das für die frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton maßgebende Spektrum an ökologischen Ergebnisparametern (OI3-Ökoindizes) ist nachfolgend in Abbildung 4.29 dargestellt.

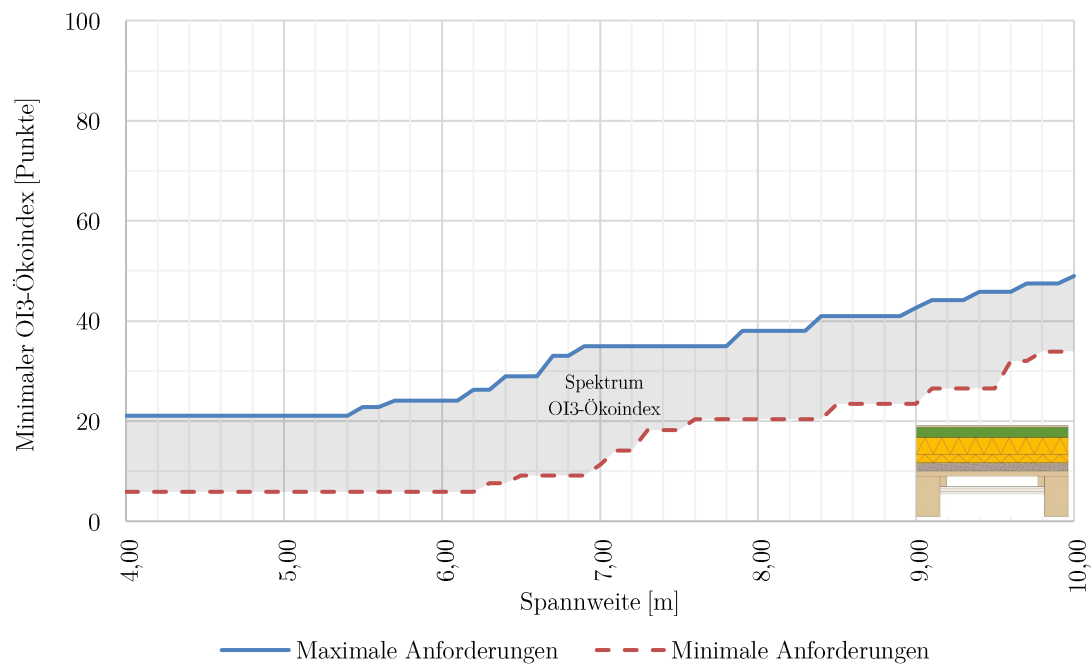


Abbildung 4.29: Spektrum OI3-Ökoindex, frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton

Wie aus Abbildung 4.29 ersichtlich, ergibt sich für die frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton ein Spektrum an OI3-Ökoindizes zwischen 6 Punkten und 49 Punkten, welches somit in einer ökologisch idealen (A++) bis mäßig guten (C) Bandbreite liegt.

Äquivalent zur gekapselten Rippendecke ohne Verbundbeton stellt das vorgestellte Spektrum an OI3-Ökoindizes eine Bandbreite an ökologisch optimierten Varianten dar. Betrachtet man dazu vergleichend das Spektrum für ökonomisch optimierte Varianten auf Schichtebene (siehe Abbildung 4.30), zeigt diese Konstruktionsvariante auch bei kostenoptimalen Querschnitten bereits teilweise ökologisch adäquate Werte. Kostenoptimierte Varianten weisen aus ökologischer Sicht allerdings für gewisse Querschnittsgeometrien schichtbezogene Peaks der Tragstruktur Holz, oder auch des sonstigen Aufbaus auf. Speziell für diese Aufbauten besteht daher ein weiterführendes ökologisches Optimierungspotential.

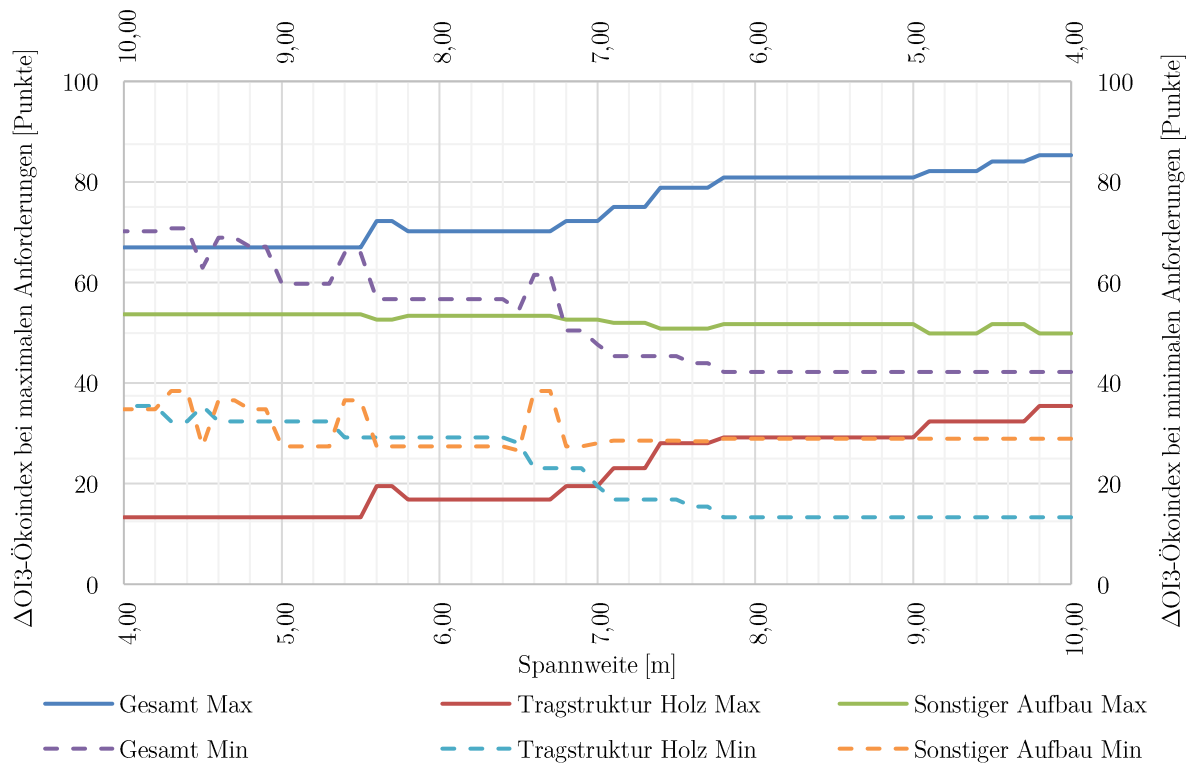


Abbildung 4.30:  $\Delta OI3$ -Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton

## 4.6. Bewertungsergebnisse Massivbauweise konventionell

Im Kontext von Tragstrukturen in konventioneller, mineralischer Massivbauweise werden für die Variantenstudie, wie bereits in Kapitel 3.8 und Kapitel 3.9 vorgestellt, zwei verschiedene Konstruktionsvarianten berücksichtigt. Dabei handelt es sich einerseits um die Stahlbetondecke (siehe auch Tabelle 3.8), sowie andererseits um die Hohldielendecke (siehe auch Tabelle 3.9).

### 4.6.1. Stahlbetondecke

#### Statische Ergebnisparameter

Das für die Stahlbetondecke maßgebende Spektrum an statischen Ergebnisparametern (Aufbauhöhen) ist nachfolgend in Abbildung 4.31 dargestellt.

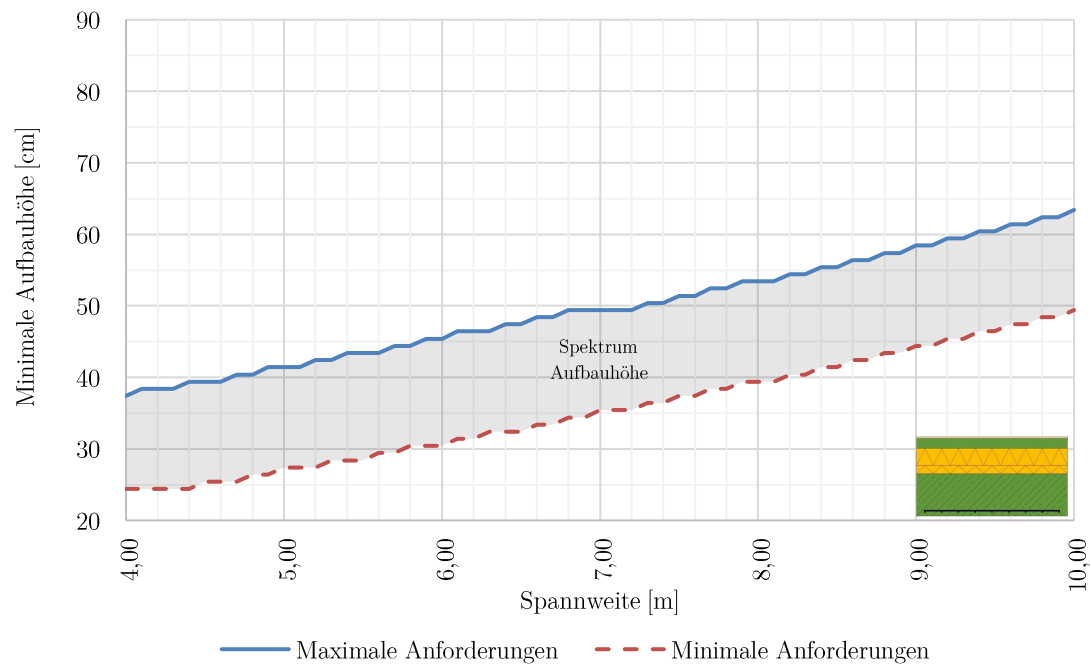


Abbildung 4.31: Spektrum Aufbauhöhe, Stahlbetondecke

Wie aus Abbildung 4.31 ersichtlich, ergibt sich für die Stahlbetondecke ein Spektrum an Aufbauhöhen zwischen 24 cm und 63 cm. Die eingangs definierte Bandbreite an Spannweiten zwischen 4 m und 10 m kann bei diesem Konstruktionstyp vollständig erfüllt werden. Die Graphen bei maximalen und minimalen Anforderungen charakterisieren sich durch sehr geringe regelmäßige Höhensprünge, wodurch ein annähernd linearer Verlauf der Querschnittshöhe erreicht wird.

## Ökonomische Ergebnisparameter

Das für die Stahlbetondecke maßgebende Spektrum an ökonomischen Ergebnisparametern (Gesamtkosten) ist nachfolgend in Abbildung 4.32 dargestellt.

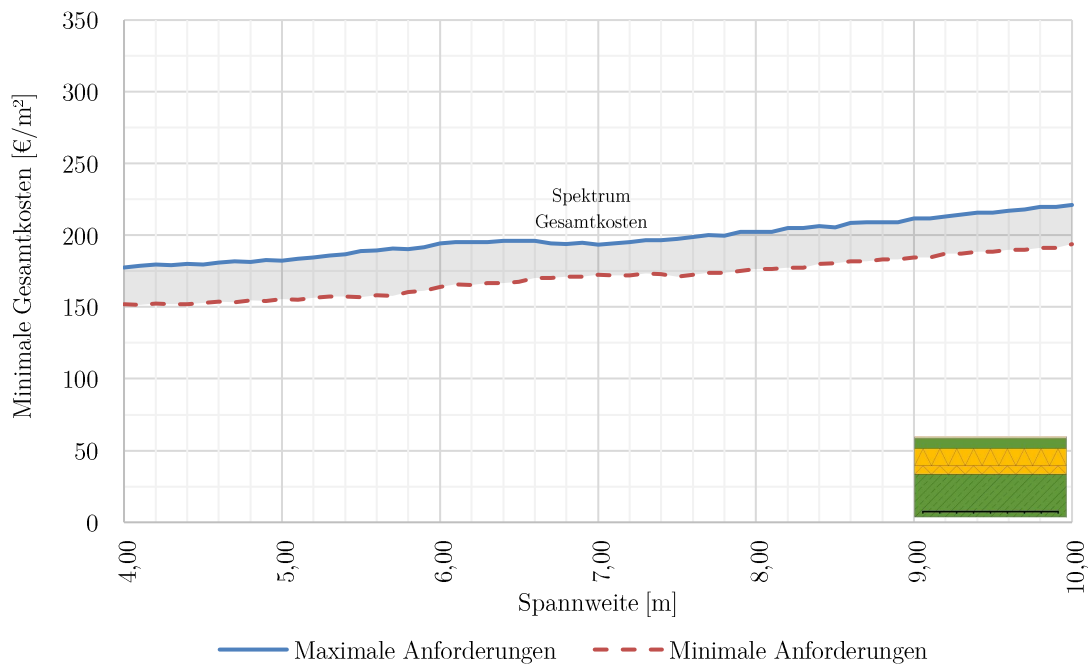


Abbildung 4.32: Spektrum Gesamtkosten, Stahlbetondecke

Wie aus Abbildung 4.32 ersichtlich, ergibt sich für die Stahlbetondecke ein Spektrum an Gesamtkosten zwischen 151 €/m<sup>2</sup> und 221 €/m<sup>2</sup>. Die maximalen und minimalen Graphen der Gesamtkosten charakterisieren sich, wie auch bereits die maßgebenden Graphen der Aufbauhöhe, durch relativ linear steigende Lösungswerte.

Eine detaillierte Betrachtung der Gesamtkostenentwicklung bzw. der dafür verantwortlichen Teilkosten für maximale und minimale Anforderungen kann nachfolgend aus Abbildung 4.33 entnommen werden.

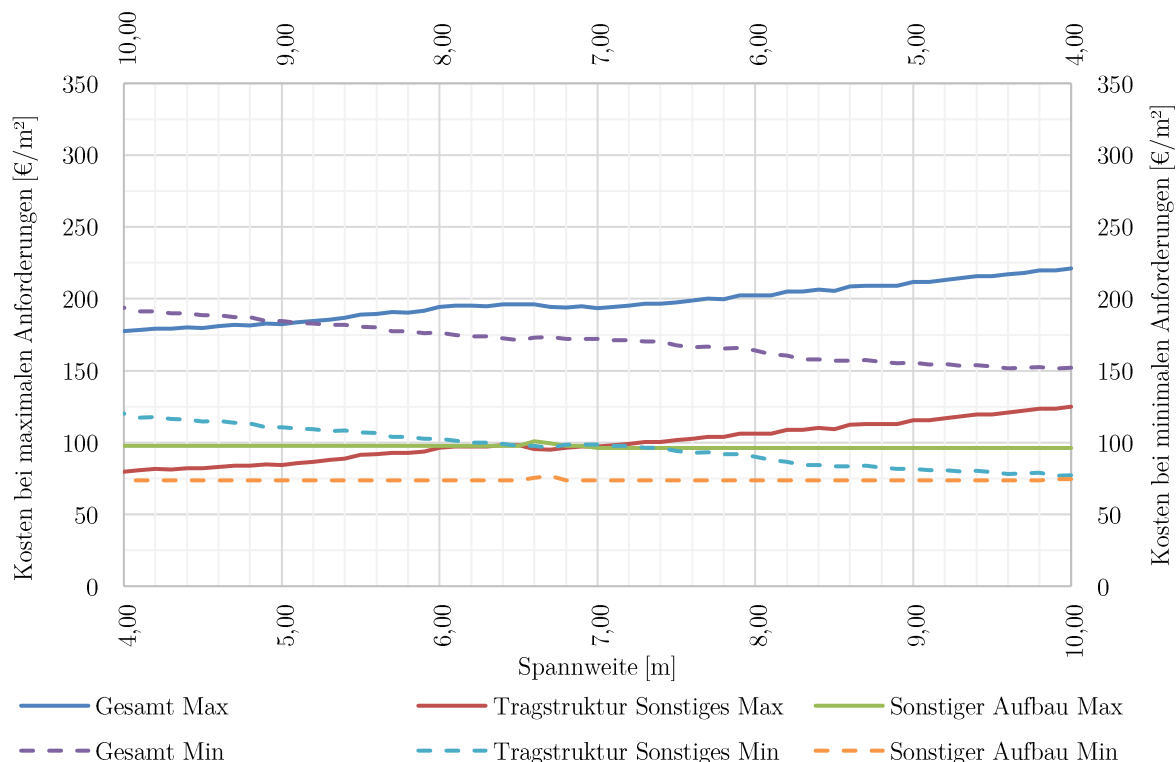


Abbildung 4.33: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, Stahlbetondecke

Um eine, im Sinne der eigentlichen Bewertung von Holzbauweisen im Hochhausbau, äquivalente Komponentenbezeichnung zu gewährleisten, können die Gesamtkosten der Tragstruktur jeweils in die Kostenkomponenten der Tragstruktur Sonstiges (mineralische Struktur), sowie in die Kostenkomponenten des sonstigen Deckenaufbaus gegliedert werden. Nach Abbildung 4.33 ergeben sich relativ lineare Werte für die Tragstruktur Sonstiges, bzw. annähernd konstante Werte für den sonstigen Aufbau. Die Kosten der Tragstruktur sind daher wesentlich von der Spannweite abhängig, wodurch sich die Kosten des sonstigen Aufbaus rein durch das Maß an sonstigen Anforderungen definieren.

### Ökologische Ergebnisparameter

Das für die Stahlbetondecke maßgebende Spektrum an ökologischen Ergebnisparametern (OI3-Ökoindizes) ist nachfolgend in Abbildung 4.34 dargestellt.

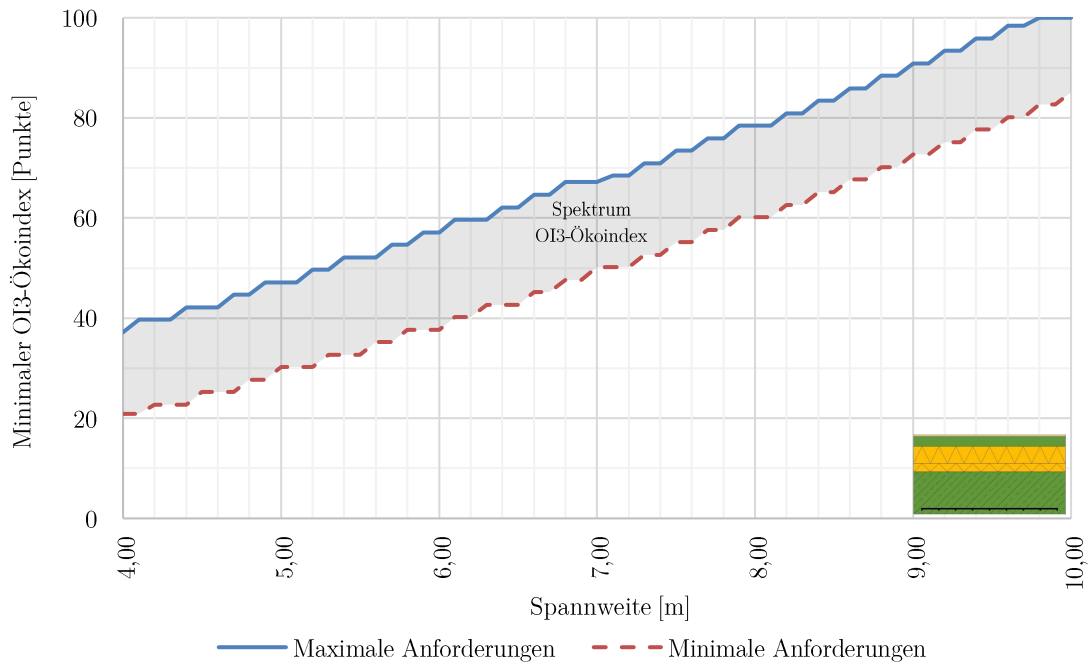


Abbildung 4.34: Spektrum OI3-Ökoindex, Stahlbetondecke

Wie aus Abbildung 4.34 ersichtlich, ergibt sich für die Stahlbetondecke ein Spektrum an OI3-Ökoindizes zwischen 21 Punkten und 100 Punkten, welches somit in einer ökologisch sehr guten (A+) bis sehr schlechten (G) Bandbreite liegt.

Das in Abbildung 4.34 errechnete Spektrum an OI3-Ökoindizes stellt eine Bandbreite an ökologisch optimierten Varianten dar. Die Ergebnisse zeigen hier, trotz einer ökologischen Optimierung, bei steigender Spannweite ein vergleichsweise geringes ökologisches Potential. Betrachtet man dazu zusätzlich das Spektrum für ökonomisch optimierte Varianten auf Schichtebene (siehe Abbildung 4.35), lassen sich hier die Gründe dieser Charakteristika sehr gut erkennen. Wie aus Abbildung 4.35 ersichtlich, weist die Tragstruktur Sonstiges (mineralische Struktur) sehr hohe schichtbezogene Lösungswerte auf. Im Sinne eines ökologisch wertvollen Bauteilaufbaus ist daraus schlussfolgernd, gerade in diesem Bereich, ein sehr hohes Optimierungspotential vorhanden.

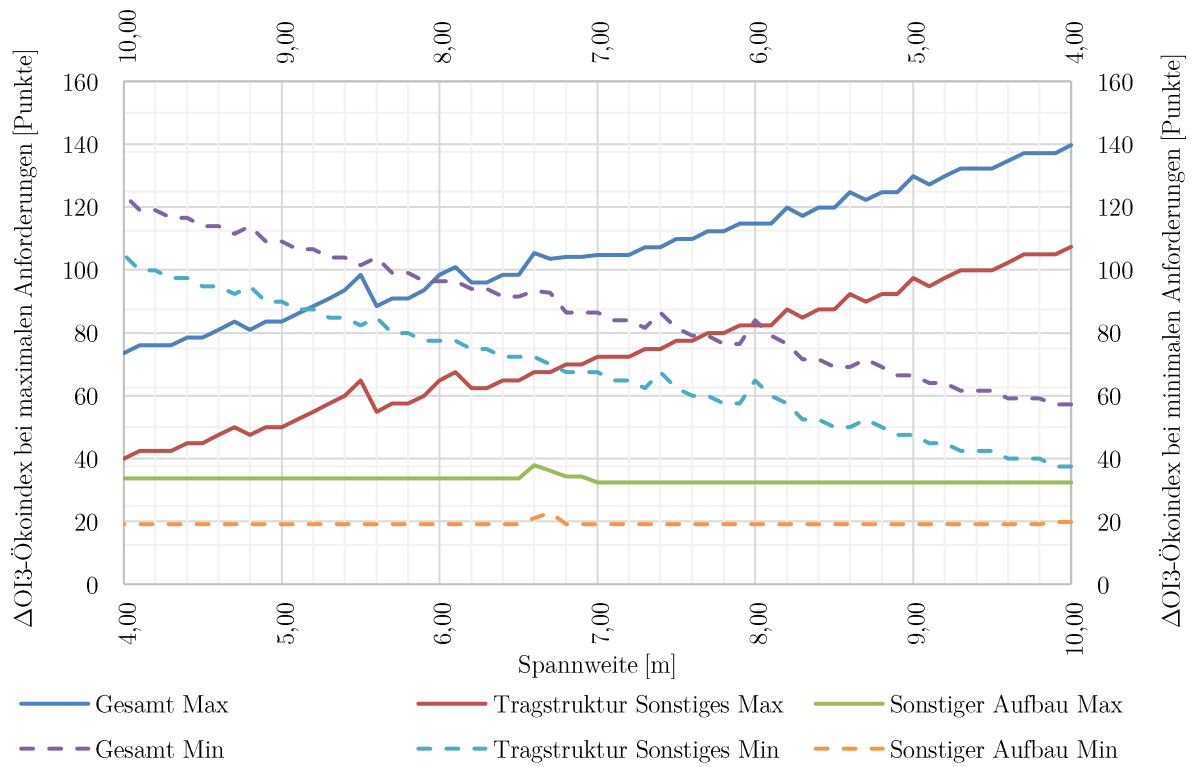


Abbildung 4.35:  $\Delta OI3$ -Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, Stahlbetondecke

#### 4.6.2. Hohldielendecke

##### Statische Ergebnisparameter

Das für die Hohldielendecke maßgebende Spektrum an statischen Ergebnisparametern (Aufbauhöhen) ist nachfolgend in Abbildung 4.26 dargestellt.

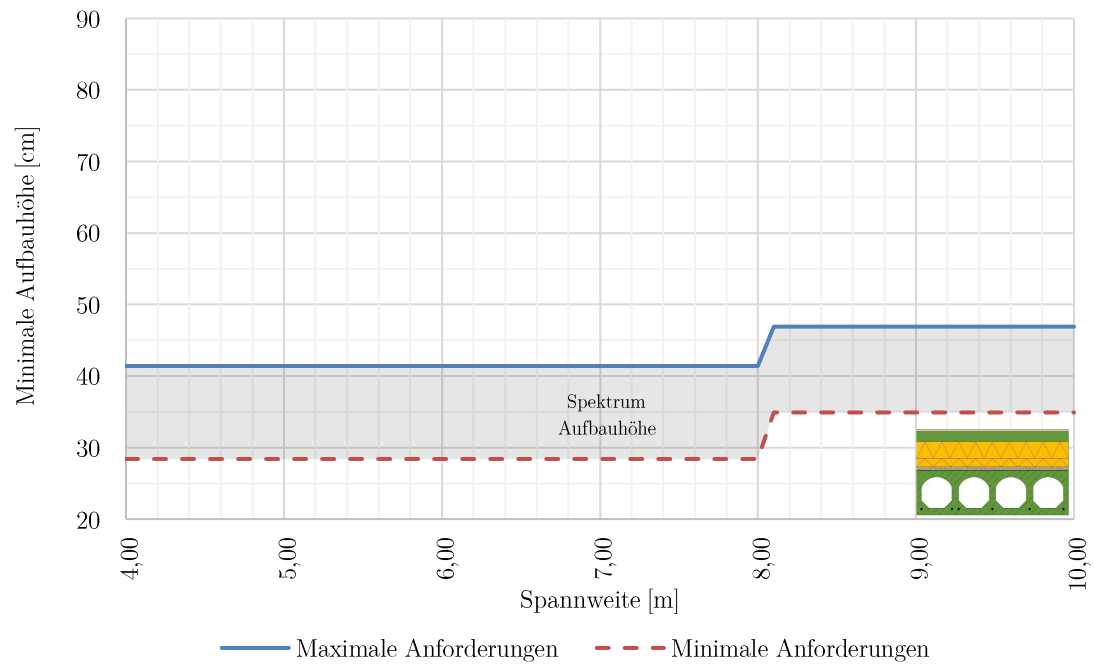


Abbildung 4.36: Spektrum Aufbauhöhe, Hohldielendecke

Wie aus Abbildung 4.36 ersichtlich, ergibt sich für die Hohldielendecke ein Spektrum an Aufbauhöhen zwischen 28 cm und 47 cm. Die eingangs definierte Bandbreite an Spannweiten zwischen 4 m und 10 m kann bei diesem Konstruktionstyp vollständig erfüllt werden. Die Graphen bei maximalen und minimalen Anforderungen charakterisieren sich durch konstante Lösungswerte mit einem einzelnen Sprung.

##### Ökonomische Ergebnisparameter

Das für die Hohldielendecke maßgebende Spektrum an ökonomischen Ergebnisparametern (Gesamtkosten) ist nachfolgend in Abbildung 4.37 dargestellt.



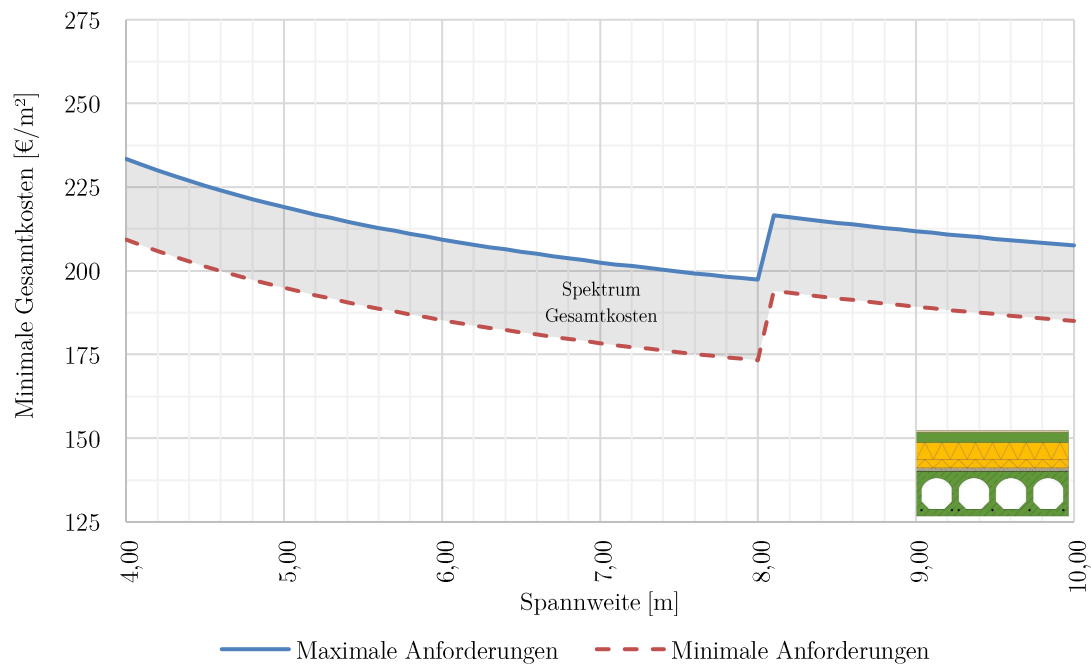


Abbildung 4.37: Spektrum Gesamtkosten, Hohldielendecke

Wie aus Abbildung 4.37 ersichtlich, ergibt sich für die Stahlbetondecke ein Spektrum an Gesamtkosten zwischen 173 €/m<sup>2</sup> und 233 €/m<sup>2</sup>. Die maximalen und minimalen Graphen der Gesamtkosten charakterisieren sich grundsätzlich durch exponentiell fallende Lösungswerte mit einem einzelnen signifikanten Sprung.

Eine detaillierte Betrachtung der Gesamtkostenentwicklung bzw. der dafür verantwortlichen Teilkosten für maximale und minimale Anforderungen kann nachfolgend aus Abbildung 4.38 entnommen werden.

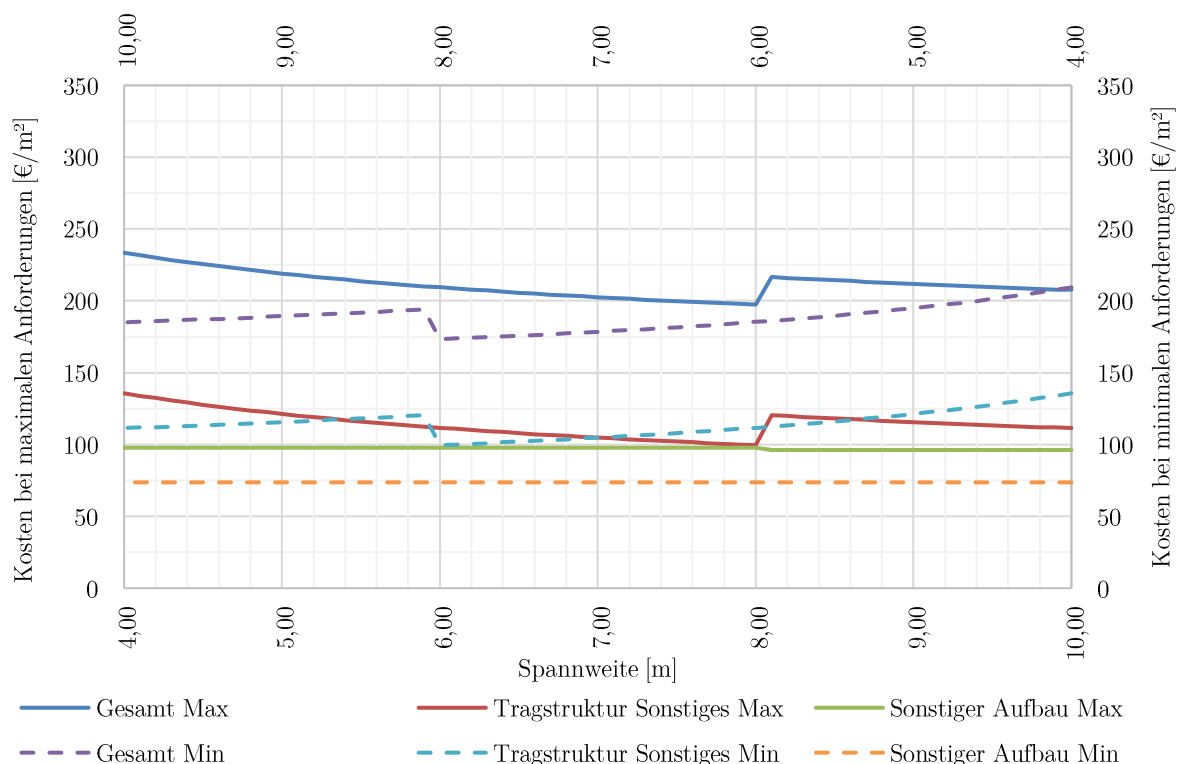


Abbildung 4.38: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, Hohldielendecke

Um eine, im Sinne der eigentlichen Bewertung von Holzbauweisen im Hochhausbau, äquivalente Komponentenbezeichnung zu gewährleisten, können die Gesamtkosten der Tragstruktur jeweils in die Kostenkomponenten der Tragstruktur Sonstiges (mineralische Struktur), sowie in die Kostenkomponenten des sonstigen Deckenaufbaus gegliedert werden. Nach Abbildung 4.38 ergeben sich exponentiell fallende Werte für die Tragstruktur Sonstiges, welche sich zusätzlich durch einen einzelnen signifikanten Sprung charakterisieren. Diese Tatsache lässt sich durch jeweils für ein gewisses Spannweitespektrum optimal geeignete Hohldielenelemente erklären, welche innerhalb eines jeweiligen Spektrums ein Optimum darstellen. Die aus der Elementbauweise resultierenden sprunghaften Kostenkomponenten der Tragstruktur Sonstiges bedingen daraus folgend eine weiterführende exponentielle Kostenreduktion der Kostenkomponente Tragstruktur Sonstiges bei steigender Spannweite.

## Ökologische Ergebnisparameter

Das für die Hohldielendecke maßgebende Spektrum an ökologischen Ergebnisparametern (OI3-Ökoindizes) ist nachfolgend in Abbildung 4.39 dargestellt.

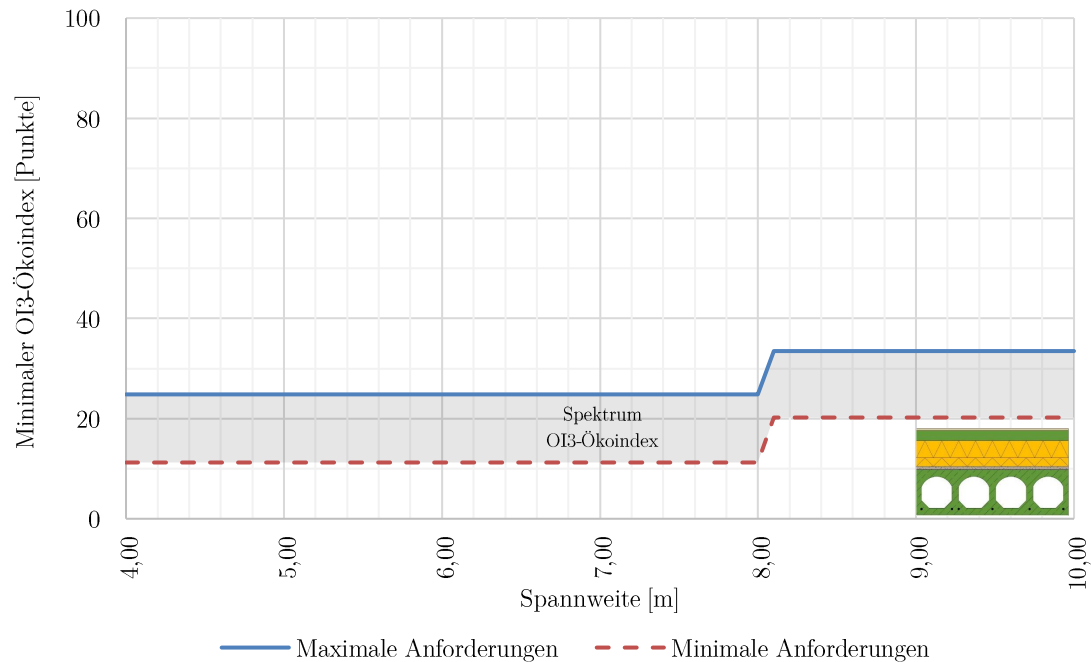


Abbildung 4.39: Spektrum OI3-Ökoindex, Hohldielendecke

Wie aus Abbildung 4.39 ersichtlich, ergibt sich für die Hohldielendecke ein Spektrum an OI3-Ökoindizes zwischen 11 Punkten und 33 Punkten, welches somit in einer ökologisch idealen (A++) bis guten (A) Bandbreite liegt.

Das in Abbildung 4.39 errechnete Spektrum an OI3-Ökoindizes stellt eine Bandbreite an ökologisch optimierten Varianten dar. Die Ergebnisse zeigen hier aufgrund der geringen Masse der Hohldielenelemente grundsätzlich sehr positive Ergebnisse für eine Ausführung in mineralischer Bauweise. Vergleicht man dazu zusätzlich das Spektrum für ökonomisch optimierte Varianten auf Schichtebene (siehe Abbildung 4.40), lassen sich auch für kostenoptimierte Lösungsvarianten ähnliche Schlüsse ziehen.

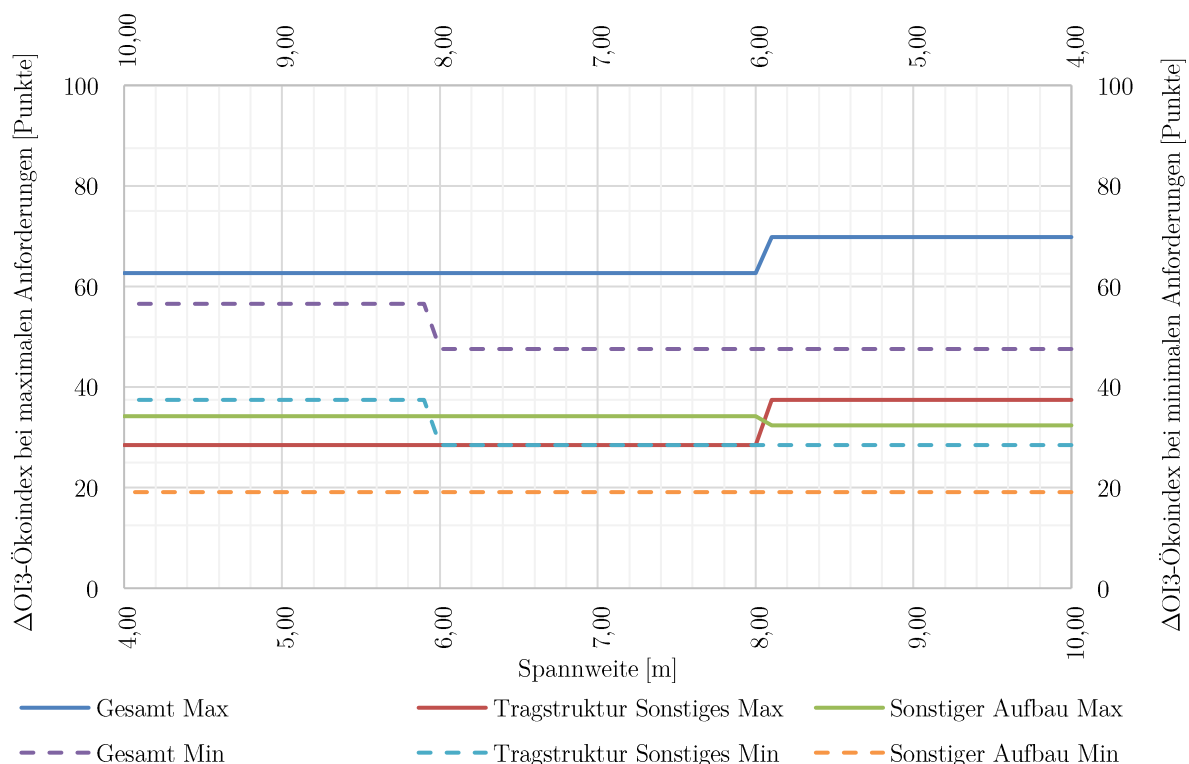


Abbildung 4.40:  $\Delta$ OI3-Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, Hohldielendecke

## 4.7. Vergleich der Bewertungsergebnisse

Anhand der in den Vorkapiteln beschriebenen Ergebnisspektren kann aus der Sicht einer ganzheitlichen Betrachtung, eine weiterführende Evaluierung der Anwendungsgrenzen, sowie der damit einhergehenden Optimierungspotentiale, der einzelnen untersuchten Konstruktionstypen erfolgen.

Wie bereits eingangs in Kapitel 4.2 beschrieben, stellen die in Kapitel 4.3 bis Kapitel 4.6 vorgestellten Ergebnisparameter Spektren für maximale und minimale statische und bauphysikalische Anforderungen dar. Um eine möglichst übersichtliche Darstellung der jeweiligen Bewertungsergebnisse zu erreichen, beziehen sich die nachfolgenden Vergleichsdarstellungen hauptsächlich auf die maximalen statischen und bauphysikalischen Anforderungen, wodurch die jeweiligen Worst-Case-Szenarien der maßgebenden Ergebnisparameter abgebildet werden können.

### 4.7.1. Ökonomischer und statischer Ergebnisvergleich

Die Graphen der minimalen Gesamtkosten aller bewerteten Konstruktionstypen für maximale Anforderungen sind nachfolgend in Abbildung 4.41 ersichtlich.

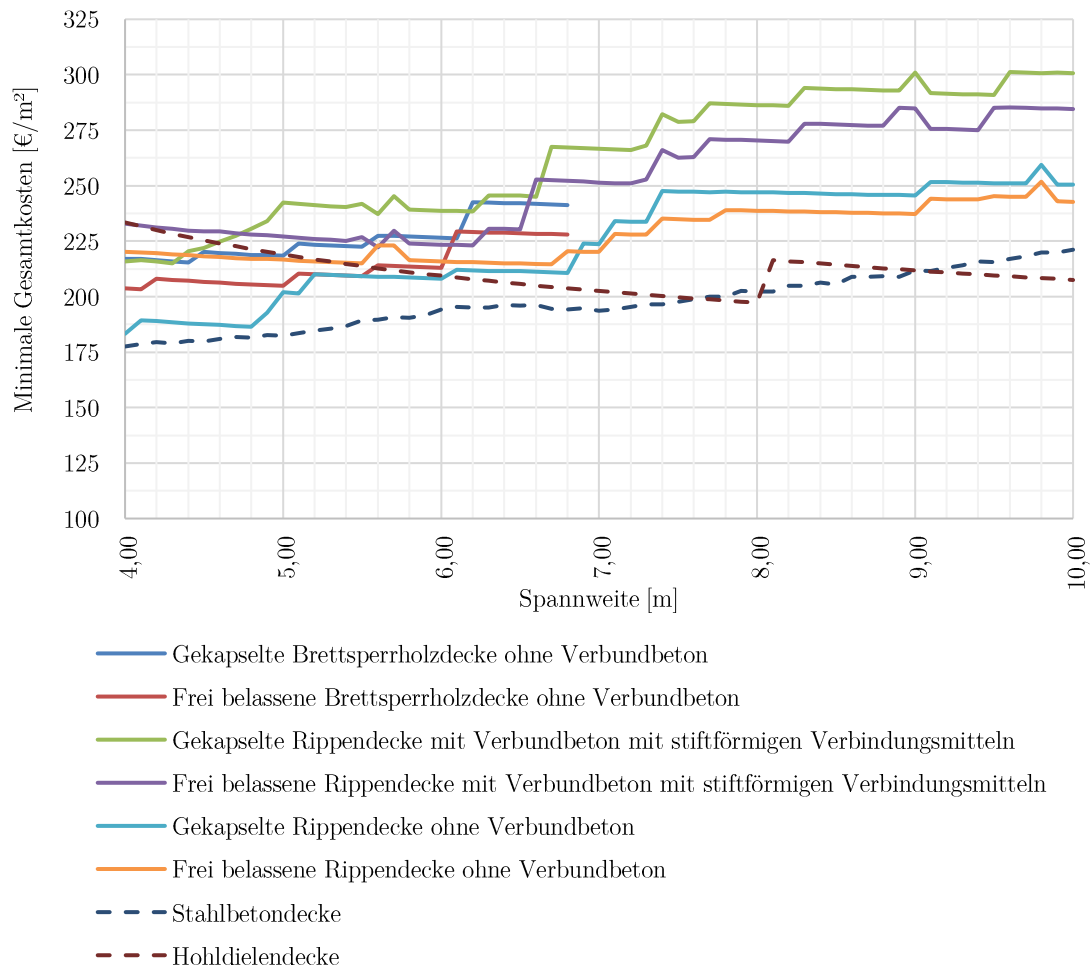


Abbildung 4.41: Minimale Gesamtkosten für maximale Anforderungen, alle Konstruktionstypen

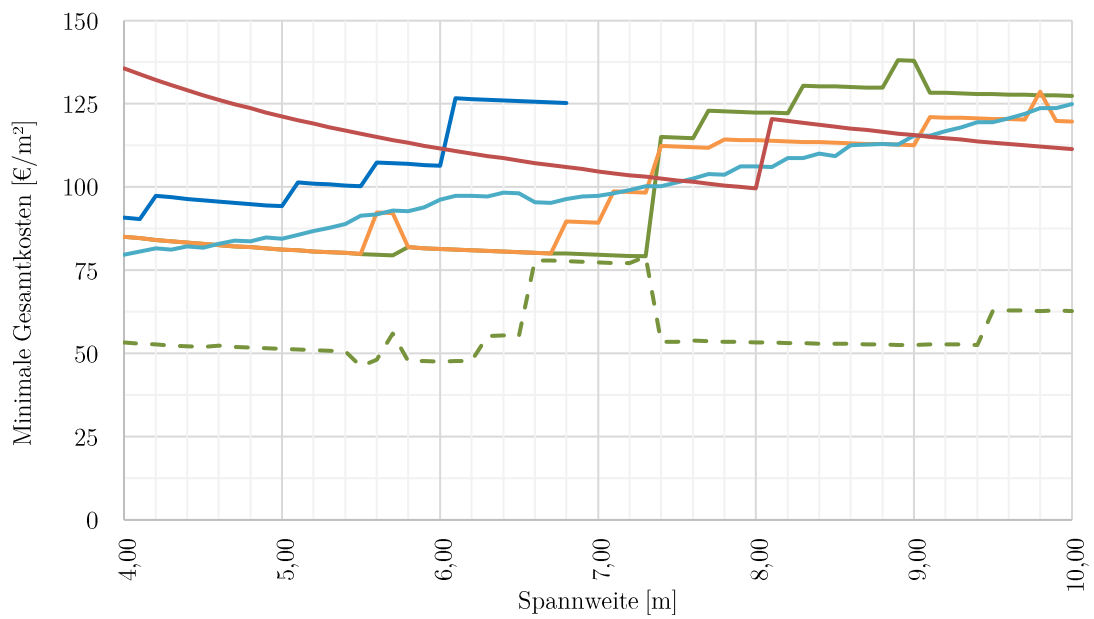
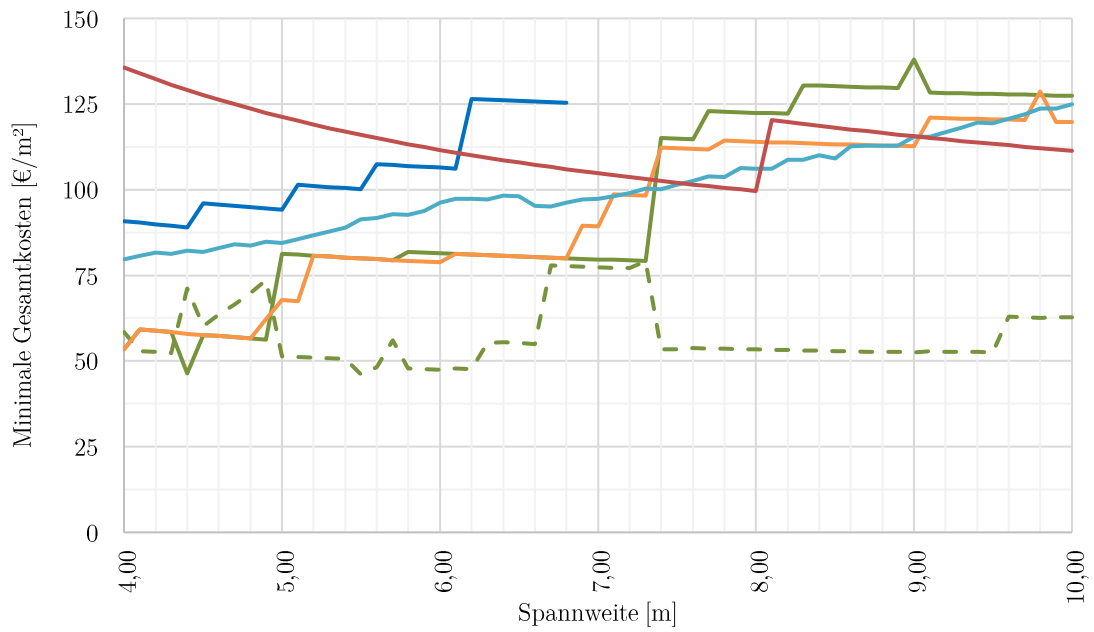
Wie aus Abbildung 4.41 ersichtlich, ergeben sich, bei speziellem Fokus auf die Konstruktionstypen in Holzbauweise, einigermaßen gleichmäßige Variationsbreiten der minimalen Gesamtkosten. Spannweitenabhängig werden für die maximalen und minimalen Ergebniswerte der jeweiligen Variationsbreite verschiedene Konstruktionstypen maßgebend, wodurch grundsätzliche Aussagen zur ökonomisch sinnvollen Anwendung der einzelnen Strukturen getroffen werden können.

Die Massivbauweise Holz in Form der gekapselten bzw. frei belassenen Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton zeigt im Allgemeinen eine durchschnittliche, bis teilweise gute Kostenentwicklung. Speziell im niedrigen bis mittleren Spannweitensegment zwischen 5 m und 6 m kann diese Konstruktionsform überzeugen. Mit den für diese Bauweise betrachteten Querschnittsvarianten ist die Tragstruktur allerdings spannweitenbegrenzt, weshalb unter den gegebenen Randbedingungen des Bewertungssystems kein Einsatz bei hohen Spannweiten mehr möglich wird. Vergleicht man dahingehend die Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton in Form der gekapselten bzw. frei belassenen Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln, besteht hier eine Ausführungsmöglichkeit innerhalb des gesamten

betrachteten Spannweitespektrums von bis zu 10 m. Diese Bauweise charakterisiert sich allerdings durch relativ hohe Gesamtkosten im niedrigen bis mittleren Spannweitensegment zwischen 5 m und 6 m, welche allerdings bei weiter steigender Spannweite relativ konstant bleiben. Dadurch kann die Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton im Vergleich zur Massivbauweise Holz bei einer mittleren Spannweite von ca. 6 m als konkurrenzfähige Konstruktionsform betrachtet werden. Bei fortlaufender Spannweite lässt sich für die Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton ein weiterer Kostensprung beobachten, wodurch im hohen Spannweiten zwischen 7 m und 10 m die höchsten Gesamtkosten aller bewerteten Konstruktionstypen resultieren. Neben der Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton kann nach Abbildung 4.41 ebenfalls die Rippenbauweise Holz ohne Verbundbeton in Form der gekapselten bzw. frei belassenen Rippendecke ohne Verbundbeton betrachtet werden. Diese Bauweise charakterisiert sich grundsätzlich durch sehr positive Ergebniswerte, lediglich im sehr niedrigen Spannweitensegment zwischen 4 m und 5 m weist die frei belassene Konstruktionsvariante verhältnismäßig hohe Kostenwerte auf.

Betrachtet man die Unterschiede der jeweiligen Konstruktionstypen nach der Art der brandschutztechnischen Kompensationsmaßnahme, kann ein grundsätzlicher Zusammenhang zwischen der Art der Bauweise und den daraus resultierenden Kostenverläufen erkannt werden. In der Massivbauweise Holz stellt sich die frei belassene Konstruktionsvariante für annähernd das gesamte mögliche Spannweitespektrum als kostengünstigere Kompensationsmaßnahme dar. Vergleicht man dazu die verschiedenen Arten an Rippenbauweisen, wird hier dieses Charakteristikum erst im mittleren bis hohen Spannweitensegment zwischen ca. 6,5 m und 10 m maßgebend. Diese Tatsache resultiert aus den Abbrandeigenschaften der jeweiligen Konstruktionstypen. Während bei der Massivbauweise Holz nur ein einseitiger Abbrand stattfindet, werden die verschiedenen Rippenbauweisen Holz mehrseitig beansprucht, woraus bei geringen Spannweiten verhältnismäßig größere Querschnittsgeometrien resultieren. Resümierend kann daher aus ökonomischer Sicht der Einsatz einer anlagentechnischen Kompensationsmaßnahme in Massivbauweise Holz grundsätzlich, bzw. in Rippenbauweise Holz nur in einem mittleren bis hohen Spannweitenbereich, empfohlen werden.

Aus einem Vergleich der Konstruktionstypen in Holzbauweise und der Strukturen in mineralischer Massivbauweise wird klar ersichtlich, dass speziell im mittleren bis hohen Spannweitensegment zwischen 7 m und 10 m die Anwendung der konventionellen Massivbauweise ökonomische Vorteile bringt. Die Ursachen dieser Kostenentwicklung werden anhand einer Kostendarstellung auf Teilkostenebene besonders sichtbar, wie nachfolgend in Abbildung 4.42 bzw. Abbildung 4.43 dargestellt.



- Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton, Tragstruktur Holz
- Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln, Tragstruktur Holz
- - - Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln, Tragstruktur Sonstiges
- Rippendecke ohne Verbundbeton, Tragstruktur Holz
- Stahlbetondecke, Tragstruktur Sonstiges
- Hohldielendecke, Tragstruktur Sonstiges

Abbildung 4.42: Kostenkomponenten Tragstruktur bei minimalen Kosten für maximale Anforderungen, gekapselte und mineralische Konstruktionstypen (oben), frei belassene und mineralische Konstruktionstypen (unten)

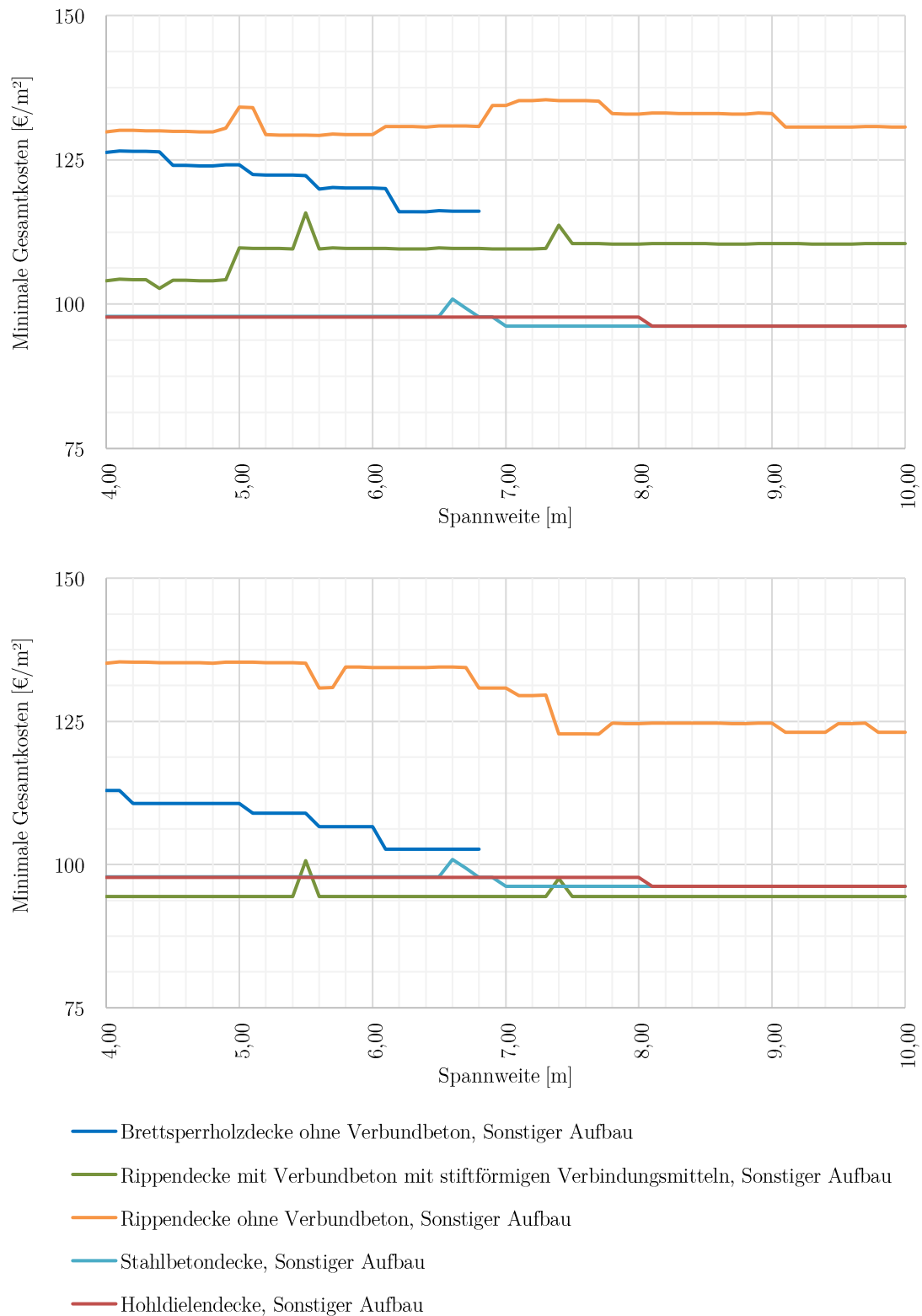


Abbildung 4.43: Kostenkomponenten sonstiger Aufbau bei minimalen Kosten für maximale Anforderungen, gekapselte und mineralische Konstruktionstypen (oben), frei belassene und mineralische Konstruktionstypen (unten)



Wie aus Abbildung 4.42 bzw. Abbildung 4.43 ersichtlich, resultiert der ökonomische Vorteil der mineralischen Massivbauweisen speziell bei hohen Spannweiten aus relativ geringen Kosten sowohl für die Komponente der Tragstruktur, als auch für die Komponente des sonstigen Aufbaus. Die Teilkosten des sonstigen Aufbaus definieren sich wesentlich durch die Steifigkeit der eigentlichen Tragstruktur. Sowohl die mineralische Massivbauweise, als auch die Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton weisen hierbei sehr hohe Werte auf, weshalb für diese Konstruktionstypen dementsprechend geringe Kosten für den sonstigen Aufbau entstehen.

Die Konstruktionsvarianten in Rippenbauweise Holz ohne Verbundbeton weisen im Vergleich dazu, speziell in Querrichtung, nur geringe Steifigkeiten der Tragstruktur auf. Für diese Bauteilvariationen werden daher entsprechend höhere Kosten für den sonstigen Aufbau geltend. Neben den Kosten des sonstigen Aufbaus definieren sich die resultierenden Gesamtkosten der jeweiligen Konstruktion durch die Kostenkomponenten der Tragstruktur. Wie aus den Darstellungen in Abbildung 4.42 ersichtlich, ergeben sich für die Konstruktionstypen in Rippenbauweise Holz, speziell im mittleren bis hohen Spannweitensegment zwischen 7 m und 10 m, sehr hohe Teilkosten für die Tragstruktur Holz. Unter besonderer Betrachtung der Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton fällt für diesen Spannweitenbereich diesbezüglich auf, dass die Teilkosten der Tragstruktur Holz bis zu zwei Drittel der Gesamtkosten der eigentlichen Tragstruktur betragen. Speziell für die Konstruktionstypen in Rippenbauweise lässt sich daher ein besonderes ökonomisches Optimierungspotential der Tragstruktur Holz erkennen.

Wie bereits eingangs erwähnt, stellt sich die Konstruktionssteifigkeit der jeweiligen Bauteilvariationen als eines der statisch wesentlichen Merkmale dar. Aus der Elementsteifigkeit der expliziten Tragstruktur als Teil der Gesamtkonstruktion, lassen sich wesentliche Charakteristika der resultierenden Bauteilhöhe, sowie weiterführend des horizontalen Lastabtragungsverhaltens erkennen. Eine Betrachtung dieser Eigenschaften für maximale Anforderungen bei einer expliziten, ebenfalls maximalen, Spannweite von 10 m kann nachfolgend aus Abbildung 4.44 entnommen werden.

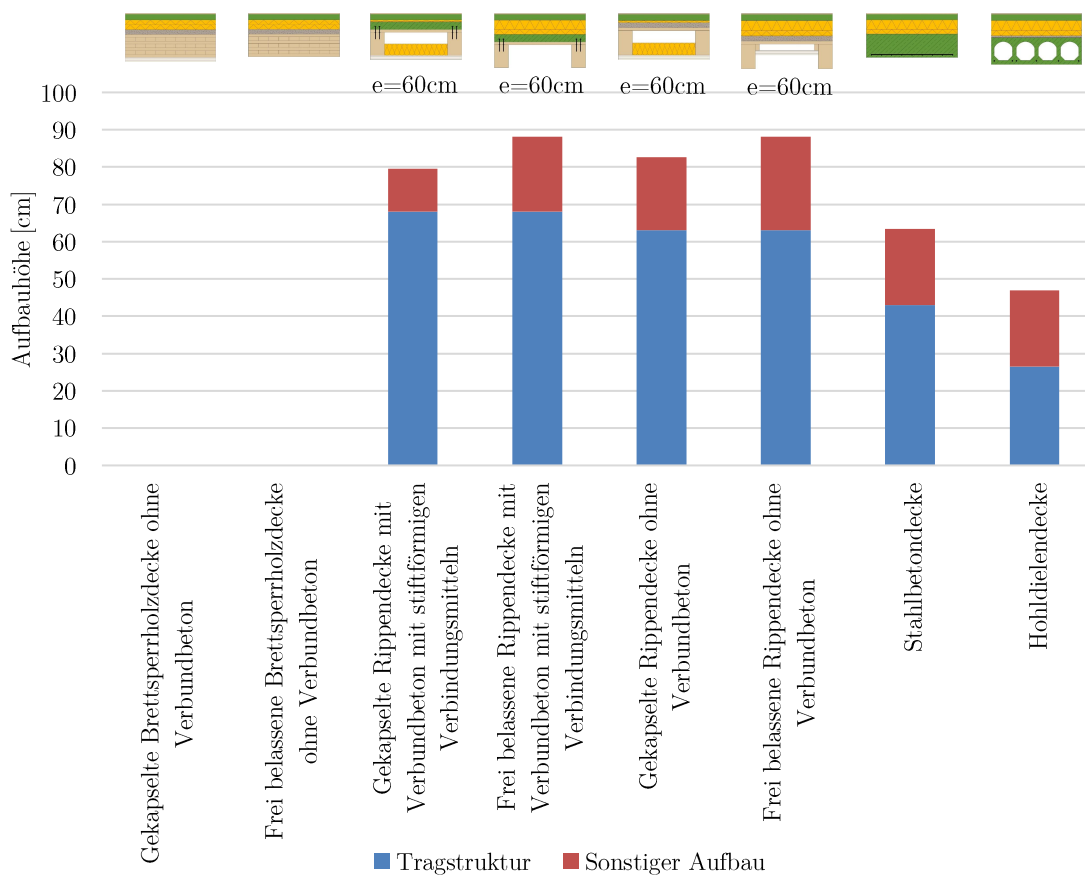


Abbildung 4.44: Minimale Aufbauhöhen für maximale Anforderungen bei 10 m Spannweite, alle Konstruktionstypen

Wie aus Abbildung 4.44 ersichtlich, ergeben sich für die Massivbauweise Holz keine Lösungsmöglichkeiten, da die maximal ausführbare Spannweite, bei einem expliziten Wert von 10 m, bereits überschritten ist. Als Lösungsmöglichkeiten in Holzbauweise bei maximaler Spannweite stellen sich daher nur Konstruktionstypen in Rippenbauweise dar. Stellt man diese Strukturen der mineralischen Massivbauweise gegenüber, werden hier, speziell aufgrund der hohen Spannweite, bereits sehr große Querschnittsgeometrien und damit verbundene Aufbauhöhen erforderlich. Dieses Charakteristikum stellt sich allgemein betrachtet als negative Eigenschaft dar. Positiv festgehalten werden kann allerdings, dass aufgrund der aufgelösten Konstruktionstypologie beispielsweise eine etwaige Leitungsführung innerhalb des vorhandenen Rippenzwischenraums erfolgen kann. Da in mineralischer Massivbauweise diese Möglichkeit grundsätzlich nicht gegeben ist, besteht für die Rippenbauweise Holz unter bestimmten Randbedingungen daher grundsätzlich trotzdem die Möglichkeit eine zumindest annähernde Äquivalenz hinsichtlich der Aufbauhöhe zu erreichen.

In Bezug auf das horizontale Lastabtragungsverhalten charakterisieren sich die mineralischen Massivbauweisen aufgrund einer sehr hohen Steifigkeit in Längs-, wie auch in Querrichtung, als statisch optimale Konstruktionsformen. Betrachtet man vergleichend dazu die Steifigkeitseigenschaften der untersuchten Konstruktionstypen in Holzbauweise nach Kapitel

4.3 bis Kapitel 4.5, so kann aus den, in den statischen Ergebnisspektren enthaltenen, maßgebenden Nachweisen ein Rückschluss auf die Steifigkeit der jeweiligen Gesamtkonstruktion gegeben werden. Bei einer Ausführung in Massivbauweise Holz werden für diese Konstruktionstypen nach Abbildung 4.1 bzw. Abbildung 4.6 bei maximalen Anforderungen hauptsächlich Nachweise der Gebrauchstauglichkeit (SLS Verformung), sowie bei minimalen Anforderungen hauptsächlich Nachweise der Gebrauchstauglichkeit (SLS Schwingung) maßgebend. Je nach Konstruktionsaufbau lässt sich daher für die Massivbauweise Holz auf eine mittlere Bauteilsteifigkeit bei gleichzeitig adäquater Querverteilungswirkung schließen. Ähnliches gilt für die Konstruktionstypen Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton. Diese Aufbauvariationen charakterisieren sich nach Abbildung 4.11 bzw. Abbildung 4.16 bei maximalen Anforderungen hauptsächlich durch maßgebende Nachweise für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS), sowie durch maßgebende Nachweise für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS Schwingung) bei minimalen Anforderungen. Je nach Bauteilvariante lässt sich daher auch für die Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton auf eine mittlere bis mäßig hohe Bauteilsteifigkeit bei gleichzeitig adäquater Querverteilungswirkung schließen. Betrachtet man dahin gehend auch die Konstruktionstypen Rippenbauweise Holz ohne Verbundbeton nach Abbildung 4.21 bzw. Abbildung 4.26 werden hier für sowohl maximale, als auch minimal Anforderungen, annähernd vollständig Nachweise für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS Schwingung) maßgebend. Der Nachweis SLS Schwingung ist wesentlich von der jeweiligen Konstruktionssteifigkeit abhängig. Für die Konstruktionstypen Rippenbauweise Holz ohne Verbundbeton kann daher auf eine teilweise sehr geringe Steifigkeit der Tragstruktur geschlossen werden. Speziell eine adäquate Querverteilungswirkung ist bei diesen Konstruktionsformen als äußerst fraglich zu betrachten. Aus Sicht eines vertikalen Lastabtrags sind diese Konstruktionstypen grundsätzlich für einen Einsatz im Holzhochhausbau geeignet, eine gleichzeitige horizontale Lastabtragung anhand der Deckenelemente scheint ohne zusätzliche Aussteifungsmaßnahmen für diese Konstruktionsform allerdings nicht möglich. Eine eventuelle Anwendung der Rippenbauweise Holz ohne Verbundbeton hängt im mehrgeschossigen Holzbau daher wesentlich vom statischen Gesamtkonzept der Gebäudestruktur ab.

Betrachtet man resümierend das Zusammenwirken der ökonomischen und statischen Eigenschaften der untersuchten Konstruktionsformen, lässt sich für die Holzbauweise im mehrgeschossigen Holzbau bzw. Holzhochhausbau ein grundsätzliches ökonomisches, sowie teilweise auch statisches, Optimierungspotential erkennen. Speziell bei hohen Spannweiten stellt sich der Kostenanteil der hölzernen Tragstruktur als maßgebende Größe der Gesamtkosten dar. Eine dementsprechende Senkung dieser Materialkosten kann der Holzbauweise folglich zu einer wesentlich konkurrenzfähigeren Stellung im Vergleich zu Tragkonstruktionen in mineralischer Massivbauweise verhelfen. Aus einer Optimierung dieser Materialkosten können weiterführend auch positive Effekte hinsichtlich der statischen Struktur, in Form der Aufbauhöhe, abgeleitet

werden. Durch eine entsprechende Reduktion der Teilkosten der hölzernen Tragstruktur wird der Einsatz von Hölzern höherer Festigkeitsklassen möglich, wodurch wiederum eine bauliche Konstruktionsoptimierung realisiert werden kann. Anhand der untersuchten Konstruktionstypen wird ebenfalls ein weiterführendes ökonomisches Optimierungspotential durch eine entsprechende Wahl der brandschutztechnischen Kompensationsmaßnahme ersichtlich. Durch die Ausführung einer frei belassenen Konstruktionsform in Kombination mit einer anlagentechnischen Kompensationsmaßnahme lässt sich für die Massivbauweise Holz eine spannenweitenunabhängige Möglichkeit zur Kostenoptimierung feststellen. Bei einer Ausführung von Konstruktionstypen in Rippenbauweise Holz kann eine entsprechende Strukturkonzeption bei mittleren bis hohen Spannweiten zu positiven ökonomischen Effekten führen.

#### 4.7.2. Ökologischer Ergebnisvergleich

Die Graphen der minimalen OI3-Ökoindizes aller bewerteten Konstruktionstypen für maximale Anforderungen sind nachfolgend in Abbildung 4.45 ersichtlich.

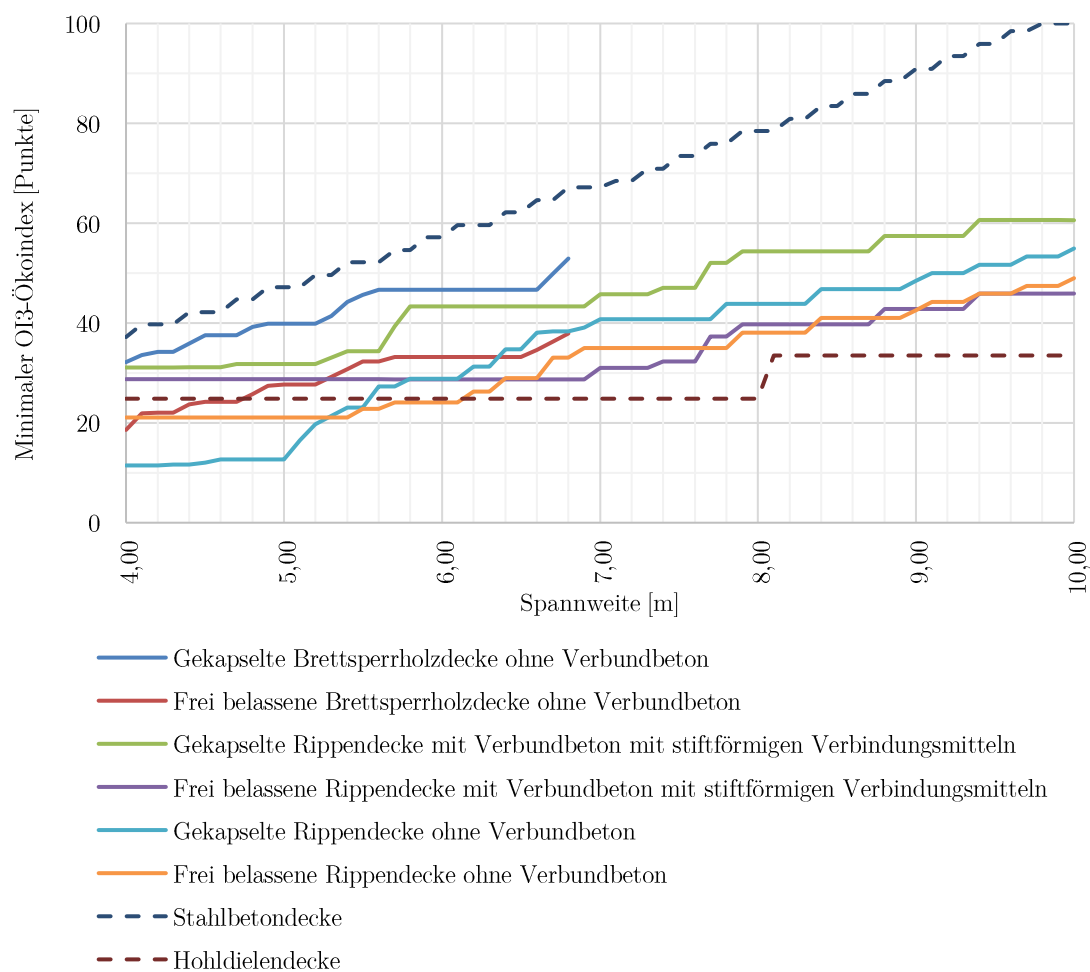


Abbildung 4.45: Minimale OI3-Ökoindizes für maximale Anforderungen, alle Konstruktionstypen

Wie aus Abbildung 4.45 ersichtlich, ergeben sich, bei speziellem Fokus auf die Konstruktionstypen in Holzbauweise, ähnlich wie auch für minimale Gesamtkosten, einigermaßen gleichmäßige Variationsbreiten der betrachteten OI3-Ökoindizes. Spannweitenabhängig werden wiederum für die maximalen und minimalen Ergebniswerte der jeweiligen Variationsbreite verschiedene Konstruktionstypen maßgebend, wodurch grundsätzliche Aussagen zur ökonomisch sinnvollen Anwendung der einzelnen Strukturen getroffen werden können. Die Ermittlung der OI3-Ökoindizes baut grundsätzlich auf einem massebezogenen Berechnungsmodell auf. Daraus resultierend kann der triviale Schluss gezogen werden, dass bei konstanten Baustoffeigenschaften, eine etwaige Querschnittvergrößerung zu einer direkten Erhöhung des jeweiligen OI3-Ökoindex führen muss. Somit erreichen alle untersuchten Konstruktionstypen ihr theoretisches ökologisches Optimum bei jeweils geringster Spannweite. Mit zunehmender Spannweite kann die ökologische Wertigkeit der betrachteten Aufbauvariationen daher grundsätzlich nicht steigen.

Die Massivbauweise Holz in Form der gekapselten bzw. frei belassenen Brettspertholzdecke ohne Verbundbeton zeigt spannenweitenabhängig sehr gute bis mäßig gute OI3-Ökoindizes, wobei der Grad der ökologischen Wertigkeit grundsätzlich durch die Wahl der brandschutztechnischen Kompensationsmaßnahme positiv beeinflusst werden kann. Im Vergleich zu einer gekapselten Bauweise kann bei dieser Konstruktionsform, für das gesamte statisch mögliche Spektrum an Spannweiten, eine ökologische Optimierung durch den Einsatz einer anlagentechnischen Kompensationsmaßnahme erreicht werden.

Vergleicht man dazu die verschiedenen Konstruktionsformen in Rippenbauweise Holz, in Form der gekapselten bzw. frei belassenen Rippendecken mit oder ohne Verbundbeton, kann dieser Effekt in einem niedrigen Spannweitensegment zwischen 4 m und ca. 5,3 m nicht, bzw. nur zu einem sehr geringen Teil, genutzt werden. Erst bei höheren Spannweiten wird eine ökologische Optimierung durch die Anwendung einer anlagentechnischen Kompensationsmaßnahme möglich. Dieser Umstand ist den jeweiligen Abbrandeigenschaften der betrachteten Konstruktionstypen geschuldet. Da in der Rippenbauweise Holz im Vergleich zur Massivbauweise Holz ein mehrseitiger Abbrand der Tragstruktur geltend wird, resultieren in einem niedrigen Spannweitensegment verhältnismäßig größere Querschnittsgeometrien, welche eine dementsprechend schlechtere ökologische Wertigkeit aufweisen. Grundsätzlich können diese Konstruktionsformen aber adäquate ökologische Ergebnisparameter vorweisen. Speziell in einem niedrigen Spannweitensegment zwischen 4 m und 6 m weisen diese Konstruktionsformen ideale bis gute OI3-Ökoindizes auf, bei höheren Spannweiten erreichen diese Werte gute bis mäßig schlechte Werte. Vergleicht man dazu die untersuchten Varianten in mineralischer Massivbauweise, können nach der Art des Konstruktionstyps sehr unterschiedliche Aussagen zur ökologischen Wertigkeit der jeweiligen Strukturen getroffen werden. Während der Konstruktionstyp Stahlbetondecke erwartungsgemäß schlechte ökologische Werte liefert, kann

die Hohldielendecke aufgrund ihres leichten Konstruktionsgewichts als durchaus ökologisch wertvoll bezeichnet werden. Gerade bei hohen Spannweiten wird dieses Charakteristikum aufgrund einer geringen Masse bei gleichzeitiger hoher Steifigkeit tragend.

## Kapitel 5

### Zusammenfassung und Ausblick

Im Fokus der Arbeit steht die Entwicklung eines ganzheitlichen Bewertungssystems für Deckenkonstruktionen bei Holzhochhäusern, mithilfe dessen die Anwendungsgrenzen, sowie dabei vorhandene Optimierungspotentiale von verschiedenen Tragkonstruktionen ermittelt werden können. Um eine ganzheitliche Bewertung prinzipiell zu ermöglichen, bedarf es der Festlegung einer Vielzahl von äußeren Randbedingungen. Zu diesem Zweck erfolgt, wie in Kapitel 2 beschrieben, eine Analyse unterschiedlicher Ausführungsbeispiele des mehrgeschossigen Holzbaus. Anhand dieser Auswertung können verschiedenste Randbedingungen hinsichtlich der statischen und bauphysikalischen Anforderungen, der allgemeinen baulichen Nutzung, sowie der im Holzhochhausbau anwendungsrelevanten Konstruktionstypen, festgelegt werden.

Durch die Evaluierung dieser Randbedingungen besteht weiterführend die Möglichkeit einer programmtechnischen Umsetzung der eigentlichen Aufgabenstellung. Konzeptionell werden dazu, wie in Kapitel 3 beschrieben, ein statischer (Aufbauhöhe), ein ökologischer (OI3-Ökoindex), sowie ein ökonomischer (Gesamtkosten) Ergebnisparameter festgelegt. Zur Ermittlung dieser Ergebnisgrößen werden einzelne Berechnungsroutinen für alle berücksichtigten Konstruktionstypen erstellt. Die jeweils eigenständigen Algorithmen basieren grundsätzlich alle auf Schleifenberechnungen mit jeweils  $n \cdot m \cdot j$  Möglichkeiten, wobei  $n \cdot m \cdot j$  die Anzahl an definierten Aufbaumöglichkeiten der jeweiligen Tragstrukturen darstellt. Aus dieser Anzahl an möglichen Lösungen kann weiterführend eine Ergebnisfilterung erfolgen, wodurch die Ermittlung von jeweils optimalen Aufbauvarianten möglich wird.

Darauf aufbauend kann, wie in Kapitel 4 beschrieben, die Evaluierung der Anwendungsgrenzen der einzelnen Konstruktionstypen erfolgen. Dafür wird eine Variantenstudie unter der Berücksichtigung der in Kapitel 2 bzw. Kapitel 3 definierten Randbedingungen durchgeführt. Diese Randbedingungen bewegen sich jeweils in einem gewissen Wertespektrum, welches innerhalb der Variantenstudie vollständig abgebildet werden soll. Aus diesem Grund werden Wertemengen mit den jeweils maximalen und minimalen Größen der jeweiligen Randbedingungen gebildet, und weiterführend für ein definiertes Spannweitespektrum ausgewertet. Dadurch lassen sich vollständige Ergebnisspektren der eingangs definierten Ergebnisparameter ermitteln, anhand derer die Anwendungsgrenzen, sowie dabei vorhandene Optimierungspotentiale der jeweiligen Konstruktionstypen analysiert werden können.

Die Analyse der Bewertungsergebnisse lässt auf ein prinzipielles Einsatzpotential des Baustoffs Holz im Hochhausbau schließen. Die ökologischen Wertigkeiten der untersuchten Konstruktionstypen in Holzbauweise stellen sich als grundsätzlich sehr positiv, und vor allem in einem niedrigen Spannweitensegment als überdurchschnittlich gut dar. Je nach Konstruktionstyp zeigt sich allerdings aber auch ein vor allem ökonomisches Optimierungspotential, betrachtet man die Ergebnisse im Vergleich zu konventionellen mineralischen Massivbauweisen. Bei einem expliziten Fokus auf die Tragstrukturen in Holzbauweise stellt sich die Massivbauweise Holz innerhalb eines geringen Spannweitensegments zwischen 4 m und ca. 6 m als mögliche adäquate Konstruktionsform dar. Sowohl ökonomisch, als auch ökologisch kann dabei eine frei belassene Strukturvariante mit einer anlagentechnischen Kompensationsmaßnahme als vorteilhaft beschrieben werden. Bei weiter fortlaufender Spannweite erreicht diese Konstruktionsform allerdings ihre statischen Einsatzgrenzen, wodurch ab ca. 6,5 m der Einsatz von Tragkonstruktionen in Rippenbauweise erforderlich wird. Hinsichtlich der Betrachtung einer vertikalen Lastabtragung können dabei sowohl Rippenkonstruktionen mit, als auch ohne eine zusätzliche Verbundwirkung eingesetzt werden. Die Rippenbauweise Holz ohne Verbundbeton weist aus ökonomischer und ökologischer Sicht grundsätzlich sehr positive Eigenschaften auf, ein Einsatz im Holzhochhausbau kann aus statischer Sicht allerdings trotzdem nicht direkt realisiert werden. Dieser Umstand lässt sich durch die nur äußerst geringe Konstruktionssteifigkeit der Struktur erklären, wodurch weiterführend auch kein adäquates Lastabtragungsverhalten in horizontaler Richtung möglich wird.

Aus diesem Grund empfiehlt sich in einem höheren Spannweitensegment der Einsatz der Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton. Diese Konstruktionsform charakterisiert sich vor allem in Querrichtung durch eine wesentlich höhere Bauteilsteifigkeit. Aus ökonomischer Sicht werden in der Rippenbauweise allerdings, speziell bei großen Spannweiten, sehr hohe Materialkosten für die Tragstruktur Holz geltend. Dahingehend lässt sich speziell bei den verschiedenen Rippenbauweisen ein wesentliches ökonomisches Optimierungspotential im Bereich der Materialkosten Holz feststellen. Aus ökologischer Sicht weisen diese Konstruktionsformen durchschnittlich gute Wertigkeiten auf, wobei hier speziell in einem mittleren bis hohen Spannweitensegment zwischen ca. 5,5 m bis 10 m wieder der Einsatz einer frei belassenen Strukturvariante mit anlagentechnischer Kompensationsmaßnahme als sinnvoll erachtet werden kann.

Die zu Vergleichszwecken innerhalb des Bewertungssystems implementierten Konstruktionstypen in mineralischer Massivbauweise zeigen vor allem in einem mittleren bis hohen Spannweitensegment von 6 m bis 10 m die erwarteten ökonomischen Vorteile im Vergleich zu den bewerteten Holzstrukturen. Für den Konstruktionstyp Hohldielendecke lässt sich allerdings zusätzlich auch eine sehr hohe ökologische Wertigkeit feststellen. Begründet



werden kann dieses Charakteristikum durch eine sehr hohe Steifigkeit bei allerdings gleichzeitig sehr geringem Gewicht. Speziell bei hohen Spannweiten müssen die Ausführung einer mineralischen Bauweise und eine adäquate Bauteilökologie daher in keinem direkten Widerspruch stehen.

Das in dieser Arbeit vorgestellte Bewertungssystem für Deckenkonstruktionen bei Holzhochhäusern umfasst zum jetzigen Zeitpunkt verschiedene Konstruktionstypen unter der Berücksichtigung von unterschiedlichsten eingangs definierten Parametern. Ein weiterer Ausbau der Programmstruktur nach Abschluss dieser Arbeit ist bereits geplant. Um ein noch umfangreicheres Ergebnisspektrum in der Bewertung von mehrgeschossigen Holzbauten zu erreichen, sollen einerseits die Variation an Konstruktionstypen, sowie andererseits auch die dabei berücksichtigten Bandbreiten an Randbedingungen, weiterführend ergänzt werden. Die statische Wirksamkeit von Verbundkonstruktionen stellt sich speziell bei hohen Spannweiten als maßgebend heraus. Hier bedarf es daher weiterführender Untersuchungen und Entwicklungen. Speziell die Verbundwirkung in Verbindung mit der Massivbauweise Holz steht im Fokus einer weiteren Forschung. Neben der statischen Wirkung der Konstruktionstypen auf Bauteilebene, soll ebenfalls der Einfluss der Interaktion zwischen vertikalen und horizontalen Tragelementen als statisches Gesamtkonzept vertieft betrachtet werden.

Zusätzlich soll das Bewertungssystem als Open Source Software einen Onlinezugang erhalten, wodurch einerseits eine öffentliche Nutzung, sowie weiterführend eine dementsprechende Ergebnisvalidierung stattfinden kann.



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Holzbauanteil in Wien, Betrachtungszeitraum 1998-2013 [3] . . . . .	16
Abbildung 2.2: Holzbauanteil in Österreich, Betrachtungszeitraum 1998-2013 [3] . . . . .	17
Abbildung 2.3: Holzbau in Wien und Österreich nach Art der Nutzung, Betrachtungszeitraum 2013 [3] . . . . .	17
Abbildung 2.4: Chronologische Entwicklung des mehrgeschossigen Holzbaus . . . . .	18
Abbildung 2.5: Grundprinzip der Plattenbauweise [21] . . . . .	24
Abbildung 2.6: Grundprinzip der Skelettbauweise [12] . . . . .	26
Abbildung 2.7: Knotenausbildung zwischen Deckenscheiben und Stützen in Skelettbauweise . . . . .	27
Abbildung 2.8: Grundprinzip der Zellenbauweise [11] . . . . .	29
Abbildung 3.1: Allgemeines Berechnungsschema für $n \cdot m \cdot j$ Aufbauvarianten pro Konstruktionstyp . . . . .	39
Abbildung 4.1: Spektrum Aufbauhöhe, gekapselte Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton . . . . .	59
Abbildung 4.2: Spektrum Gesamtkosten, gekapselte Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton . . . . .	60
Abbildung 4.3: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, gekapselte Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton . . . . .	61
Abbildung 4.4: Spektrum OI3-Ökoindex, gekapselte Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton . . . . .	62
Abbildung 4.5: $\Delta$ OI3-Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, gekapselte Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton . . . . .	62
Abbildung 4.6: Spektrum Aufbauhöhe, frei belassene Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton . . . . .	63
Abbildung 4.7: Spektrum Gesamtkosten, frei belassene Brettsper Holzdecke ohne Verbundbeton . . . . .	64

Abbildung 4.8: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, frei belassene Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton . . . . .	65
Abbildung 4.9: Spektrum OI3-Ökoindex, frei belassene Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton. . . . .	66
Abbildung 4.10: $\Delta$ OI3-Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, frei belassene Brettsperrholzdecke ohne Verbundbeton . . . . .	67
Abbildung 4.11: Spektrum Aufbauhöhe, gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln . . . . .	68
Abbildung 4.12: Spektrum Gesamtkosten, gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln . . . . .	69
Abbildung 4.13: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln. . . . .	70
Abbildung 4.14: Spektrum OI3-Ökoindex, gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln . . . . .	71
Abbildung 4.15: $\Delta$ OI3-Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, gekapselte Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln. . . . .	72
Abbildung 4.16: Spektrum Aufbauhöhe, frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln . . . . .	73
Abbildung 4.17: Spektrum Gesamtkosten, frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln . . . . .	74
Abbildung 4.18: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln . . . . .	75
Abbildung 4.19: Spektrum OI3-Ökoindex, frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln . . . . .	76
Abbildung 4.20: $\Delta$ OI3-Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, frei belassene Rippendecke mit Verbundbeton mit stiftförmigen Verbindungsmitteln. . . . .	77
Abbildung 4.21: Spektrum Aufbauhöhe, gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton . . . . .	78
Abbildung 4.22: Spektrum Gesamtkosten, gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton. . . . .	79

---

Abbildung 4.23: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton . . . . .	80
Abbildung 4.24: Spektrum OI3-Ökoindex, gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton . . . . .	81
Abbildung 4.25: $\Delta$ OI3-Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, gekapselte Rippendecke ohne Verbundbeton . . . . .	81
Abbildung 4.26: Spektrum Aufbauhöhe, frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton . . . . .	82
Abbildung 4.27: Spektrum Gesamtkosten, frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton . . . . .	83
Abbildung 4.28: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton . . . . .	84
Abbildung 4.29: Spektrum OI3-Ökoindex, frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton . . . . .	85
Abbildung 4.30: $\Delta$ OI3-Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, frei belassene Rippendecke ohne Verbundbeton . . . . .	86
Abbildung 4.31: Spektrum Aufbauhöhe, Stahlbetondecke . . . . .	87
Abbildung 4.32: Spektrum Gesamtkosten, Stahlbetondecke . . . . .	88
Abbildung 4.33: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, Stahlbetondecke . . . . .	89
Abbildung 4.34: Spektrum OI3-Ökoindex, Stahlbetondecke . . . . .	90
Abbildung 4.35: $\Delta$ OI3-Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, Stahlbetondecke . . . . .	91
Abbildung 4.36: Spektrum Aufbauhöhe, Hohldielendecke . . . . .	92
Abbildung 4.37: Spektrum Gesamtkosten, Hohldielendecke . . . . .	93
Abbildung 4.38: Kostenkomponenten bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, Hohldielendecke . . . . .	94
Abbildung 4.39: Spektrum OI3-Ökoindex, Hohldielendecke . . . . .	95
Abbildung 4.40: $\Delta$ OI3-Ökoindizes auf Bauteilschichtebene bei minimalen Kosten für maximale und minimale Anforderungen, Hohldielendecke . . . . .	96
Abbildung 4.41: Minimale Gesamtkosten für maximale Anforderungen, alle Konstruktionstypen . . . . .	97

---

Abbildung 4.42: Kostenkomponenten Tragstruktur bei minimalen Kosten für maximale Anforderungen, gekapselte und mineralische Konstruktionstypen (oben), frei belassene und mineralische Konstruktionstypen (unten). . . . .	99
Abbildung 4.43: Kostenkomponenten sonstiger Aufbau bei minimalen Kosten für maximale Anforderungen, gekapselte und mineralische Konstruktionstypen (oben), frei belassene und mineralische Konstruktionstypen (unten). . . . .	100
Abbildung 4.44: Minimale Aufbauhöhen für maximale Anforderungen bei 10 m Spannweite, alle Konstruktionstypen . . . . .	102
Abbildung 4.45: Minimale OI3-Ökoindizes für maximale Anforderungen, alle Konstruktionstypen . . . . .	104

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Anforderungen an den Feuerwiderstand von Deckenkonstruktionen nach Fluchtniveau. . . . .	21
Tabelle 2.2: Analyisierte Ausführungsbeispiele in Plattenbauweise. . . . .	24
Tabelle 2.3: Analyisierte Ausführungsbeispiele in Skelettbauweise . . . . .	26
Tabelle 2.4: Analyisiertes Ausführungsbeispiel in Zellenbauweise . . . . .	28
Tabelle 2.5: Randbedingungen des mehrgeschossigen Holzbaus in Massivbauweise. . . . .	30
Tabelle 2.6: Randbedingungen des mehrgeschossigen Holzbaus in Rippenbauweise . . . . .	30
Tabelle 3.1: Nutzlasten von Wohn- und Bürobauten. . . . .	35
Tabelle 3.2: Anforderungen an den Wärmeschutz von Wohn- und Bürobauten . . . . .	35
Tabelle 3.3: Anforderungen an den Schallschutz von Wohn- und Bürobauten . . . . .	35
Tabelle 3.4: Berücksichtigte Aufbauvarianten innerhalb des Bewertungssystems . . . . .	36
Tabelle 3.5: Varianten Konstruktionstyp Massivbauweise Holz . . . . .	45
Tabelle 3.6: Varianten Konstruktionstyp Rippenbauweise Holz mit Verbundbeton . . . . .	47
Tabelle 3.7: Varianten Konstruktionstyp Rippenbauweise Holz ohne Verbundbeton . . . . .	49
Tabelle 3.8: Variante Konstruktionstyp Massivbauweise konventionell, Stahlbetondecke . . . .	51
Tabelle 3.9: Variante Konstruktionstyp Massivbauweise konventionell, Hohldielendecke . . . .	54
Tabelle 4.1: Maximale und minimale statische und bauphysikalische Randbedingungen. . . . .	58





## Literaturverzeichnis

- [1] ITI TU Wien, *Skriptum Bausysteme - Material*, Wien, 2017.
- [2] www.proholz.at. [Online]. Available: <http://www.proholz.at/wald-holz/wald-in-zahlen/>. [Zugriff am 05 2018].
- [3] ITI TU Wien und M. Aichholzer, *Vortrag - Modul Ressourceneffiziente Materialisierung - Holz wird erwachsen*, 2016.
- [4] www.twitter.com. [Online]. Available: <https://twitter.com/milltechims>. [Zugriff am 02 06 2018].
- [5] www.softwoodlumberboard.org. [Online]. Available: <https://www.softwoodlumberboard.org/funded-programs/tall-wood-innovations/building-taller-with-wood/>. [Zugriff am 02 06 2018].
- [6] A. Merl, *Bau - Ressourcenmanagement in urbanen Räumen Fallstudie Wien*, Wien, 2005.
- [7] Holzforschung Austria, *Machbarkeitsstudie eines Holzbaus in der Gebäudeklasse 5 - Kurzbericht*, Wien, 2007.
- [8] A. Dworsky, *Präsentation - Ressourceneffiziente Materialisierung - Projektanalyse Wohnhausanlage Wagramerstrasse*, Wien, 2013.
- [9] www.proholz.at. [Online]. Available: <http://www.proholz.at/meldungen/hoechster-holzwohnbau-oesterreichs/>. [Zugriff am 05 2018].
- [10] M. W. Lennartz, „Bürogebäude - Nachhaltig in die Höhe,“ [www.mikado-online.de](http://www.mikado-online.de), 07.2012.
- [11] M. Green und J. Taggart, *Hoch Bauen mit Holz - Technologie, Material, Anwendung*, Basel: Birkhäuser Verlag GmbH, 2017.
- [12] H. Kaufmann, S. Krötsch und S. Winter, *Atlas Mehrgeschossiger Holzbau*, München: Detail Business Information GmbH, 2017.
- [13] Holzbau Austria, „[www.holzbauaustria.at](http://www.holzbauaustria.at),“ [Online]. Available: [http://www.holzbauaustria.at/index.php?id=111&cHash=bbef9a02807fc6effc63ded385df7111&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=5815](http://www.holzbauaustria.at/index.php?id=111&cHash=bbef9a02807fc6effc63ded385df7111&tx_ttnews%5Btt_news%5D=5815). [Zugriff am 05 2018].
- [14] Österreichisches Institut für Bautechnik, *Begriffsbestimmungen OIB-330-014/15*, 2015.
- [15] Berufsfeuerwehr Wien, „[www.berufsfeuerwehr-wien.at](http://www.berufsfeuerwehr-wien.at),“ [Online]. Available: [http://berufsfeuerwehr-wien.at/images/Anhang/Gegen%C3%BCberstellung\\_GK\\_OIB\\_2.pdf](http://berufsfeuerwehr-wien.at/images/Anhang/Gegen%C3%BCberstellung_GK_OIB_2.pdf). [Zugriff am 05

- 2018].
- [16] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB Richtlinie 2 - Brandschutz OIB-330.2-011/15*, 2015.
- [17] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB Richtlinie 2.3 - Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m OIB-330.2-014/15*, 2015.
- [18] *ÖNORM EN ISO 13501-2 Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 2*, 2016.
- [19] *ÖNORM EN ISO 13501-1 Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1*, 2017.
- [20] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB Leitfaden zu OIB Richtlinie 2 - Abweichungen im Brandschutz und Brandschutzkonzepte OIB-330.2-019/15*, 2015.
- [21] R. Woschitz, *Urban renewal of the school with clt modular elements*, 2016.
- [22] [www.nachhaltigwirtschaften.at](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/mw_1_3_publicationsplaene.pdf?m=1469659664). [Online]. Available: [https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz\\_pdf/mw\\_1\\_3\\_publicationsplaene.pdf?m=1469659664](https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/mw_1_3_publicationsplaene.pdf?m=1469659664). [Zugriff am 03 06 2018].
- [23] ITI TU Wien und F. Riola-Parada, *Vortrag - Bausysteme Holzbau - Mehrgeschossiger Holzbau*, 2018.
- [24] 10\_21, *LifeCycle Tower - LCT ONE*.
- [25] R. Woschitz, *Holzhochhaus HoHo Wien*, 21. Internationales Holzbau-Forum IHF 2015, 2015.
- [26] [www.springer.com](https://link.springer.com/article/10.1007/s00107-016-1022-5). [Online]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00107-016-1022-5>. [Zugriff am 05 2018].
- [27] *ÖNORM B 1991-1-1 Nutzlasten im Hochbau - Nationale Festlegungen*, 2011.
- [28] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB Richtlinie 6 - Energieeinsparung und Wärmeschutz OIB-330.6-009/15*, 2015.
- [29] Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB Richtlinie 5 - Schallschutz OIB-330.5-002/15*, 2015.
- [30] *ÖNORM B 8115-4 Schallschutz und Raumakustik im Hochbau Teil 4*, 2003.
- [31] *ÖNORM EN ISO 6946 Bauteile- Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient - Berechnungsverfahren*, 2015.
- [32] *ÖNORM B 2061 Preisermittlung für Bauleistungen - Verfahrensnorm*, 1999.
- [33] M. Hansl, Interview, *Geschäftsführer Wildburger BauGmbH St. Pölten*. [Interview]. 23 05 2016.

- 
- [34] M. Jantschek, Interview, *Bauleiter Porr AG*. [Interview]. 19 04 2016.
- [35] Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, *OI3-Indikator Leitfaden zur Berechnung von Ökokennzahlen für Gebäude*, Wien, 2016.
- [36] Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie, „www.baubook.info,“ [Online]. Available: <https://www.baubook.info/?sID=100&SW=6>. [Zugriff am 29 05 2018].
- [37] C. Pfaller, „Experimentelle und theoretische Betrachtung verklebter Holz-Holz-Verbindungen am Beispiel von Freiformflächen in Brettsperrholz,“ 2012.
- [38] *ÖNORM B 1995-1-1 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Nationale Festlegungen*, 2015.
- [39] *ÖNORM EN 1995-1-1 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten*, 2015.
- [40] *ÖNORM EN 1992-1-1 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken*, 2015.
- [41] *ÖNORM B 1992-1-1 Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Nationale Festlegungen*, 2018.





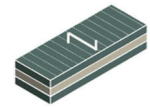
storaenso

# Preisliste

## CLT - Cross Laminated Timber

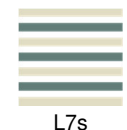
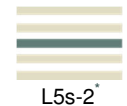
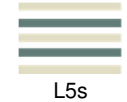
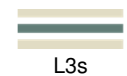
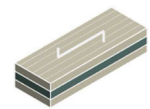
### C-PLATTEN

Bezeichnung [-]	Nenn- stärke [mm]	Schichten [s]	Verrechnungsbreiten [cm]	NVI*** [€/m²]
CLT 60 C3s	60	3	245; 275; 295	36,00
CLT 80 C3s	80	3	245; 275; 295	40,00
CLT 90 C3s	90	3	245; 275; 295	42,00
CLT 100 C3s	100	3	245; 275; 295	45,50
CLT 120 C3s	120	3	245; 275; 295	52,50
CLT 100 C5s	100	5	245; 275; 295	55,00
CLT 120 C5s	120	5	245; 275; 295	61,50
CLT 140 C5s	140	5	245; 275; 295	65,00
CLT 160 C5s	160	5	245; 275; 295	72,50



### L-PLATTEN

Bezeichnung [-]	Nenn- stärke [mm]	Schichten [s]	Verrechnungsbreiten [cm]	NVI*** [€/m²]
CLT 60 L3s	60	3	245; 275; 295	36,00
CLT 80 L3s	80	3	245; 275; 295	40,00
CLT 90 L3s	90	3	245; 275; 295	42,00
CLT 100 L3s	100	3	245; 275; 295	45,50
CLT 120 L3s	120	3	245; 275; 295	52,50
CLT 100 L5s	100	5	245; 275; 295	55,00
CLT 120 L5s	120	5	245; 275; 295	61,50
CLT 140 L5s	140	5	245; 275; 295	65,00
CLT 160 L5s	160	5	245; 275; 295	72,50
CLT 180 L5s	180	5	245; 275; 295	80,00
CLT 200 L5s	200	5	245; 275; 295	87,50
CLT 160 L5s-2*	160	5	245; 275; 295	72,50
CLT 180 L7s	180	7	245; 275; 295	85,00
CLT 200 L7s	200	7	245; 275; 295	92,50
CLT 240 L7s	240	7	245; 275; 295	108,00
CLT 220 L7s-2*	220	7	245; 275; 295	100,00
CLT 240 L7s-2*	240	7	245; 275; 295	108,00
CLT 260 L7s-2*	260	7	245; 275; 295	115,50
CLT 280 L7s-2*	280	7	245; 275; 295	124,00
CLT 300 L8s-2**	300	8	245; 275; 295	133,50
CLT 320 L8s-2**	320	8	245; 275; 295	142,00



\* Decklagen bestehend aus 2 Längslagen.

\*\* Decklagen sowie die innere Lage bestehend aus 2 Längslagen.

\*\*\* NVI: Nichtsichtqualität (beidseitig).

Status 04/2014

### BASIS ABBUNDLEISTUNGEN

**Wandabbund** 8,00 € / m²

**Deckenabbund** 5,00 € / m²

Preisänderungen und Druckfehler vorbehalten.

Preise exklusive Ust. FCA Bad St. Leonhard bzw. Ybbs Werksgelände.

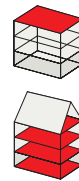


# Austrotherm EPS® W20-PLUS Wärmedämmplatte

Druckbelastbare höchstwärmedämmende expandierte Polystyrolhartschaumstoffplatte



Zellinhalt: Luft  
 Produkttyp: nach ÖNORM B 6000: EPS W20  
 Kantenausbildung: gerade Kante (GK)  
 Kennzeichnung: 1 gelber Streifen  
 Nutzmaß: 1000 x 500 mm  
 Nutzfläche: 0,5 m<sup>2</sup> pro Platte  
 Druckspannung: bei 10 % Stauchung, 100 kPa (10 t/m<sup>2</sup>)  
 Wärmeleitfähigkeit: λ<sub>D</sub> = 0,031 W/(mK)  
 Plattenformat: 1000 x 500 mm



- ▶ für Bereiche mit Druckbelastung (unter Estrich, im Flachdach, im Gefälledach, unter Fußbodenheizung, Kühlräume)
- ▶ Dämmung der obersten Geschoßdecke; vor allem bei eingeschränkten Platzverhältnissen
- ▶ besonders für Niedrigenergie- und Passivhäuser geeignet



Produktdatenblatt



Mit verbesserter Dämmwirkung



Wasserabweisend



Ausgezeichnete ökologische Eigenschaften

▶ Lieferzeitraum auf Anfrage.

<sup>1)</sup> Mindermengenzuschlag: € 100,- zwischen 10 und 20 m<sup>3</sup> pro Entladestelle, Abholvergütung: € 2,-/m<sup>3</sup>.

EAN-Nummer 9007646...	m <sup>2</sup> je Bund	Stk. je Bund	Dicke (in mm)	Preis*) €/m <sup>2</sup> exkl. MwSt.
000730	25,0	50	▶ 10	1,66
000754	12,5	25	▶ 20	3,33
000778	8,0	16	▶ 30	4,99
000785	6,0	12	▶ 40	6,65
000792	5,0	10	50	8,32
000808	4,0	8	60	9,98
000815	3,5	7	▶ 70	11,64
000822	3,0	6	80	13,30
000839	2,5	5	▶ 90	14,97
000846	2,5	5	100	16,63
000853	2,0	4	▶ 110	18,30
000860	2,0	4	120	19,96
000877	1,5	3	140	23,28
000884	1,5	3	▶ 160	26,61
000891	1,0	2	▶ 180	29,93
000907	1,0	2	▶ 200	33,26
000914	1,0	2	▶ 220	36,59
000938	1,0	2	▶ 240	39,91
000952	1,0	2	▶ 260	43,24
000969	0,5	1	▶ 280	46,57
000976	0,5	1	▶ 300	49,90

Andere Plattenformate und Dicken auf Anfrage.

# Austrotherm open PLUS Dachboden-Dämmelement



Druckbelastbares höchstwärmedämmendes atmungsaktives Dachboden-Dämmelement



Zellinhalt: Luft  
 Kantenausbildung: mit 15 mm breiten Stufenfalz (SF)  
 Nutzmaß: 1000 x 500 mm  
 Nutzfläche: 0,5 m<sup>2</sup> pro Platte  
 Plattenformat: 1000 x 500 mm

EAN-Nummer 9007646...	m <sup>2</sup> je Palette	Stk. je Palette	Dicke (in mm)	U-Wert W/m <sup>2</sup> K	Preis €/m <sup>2</sup> exkl. MwSt.	Preis €/Stk. exkl. MwSt.
008606	10	20	▶ 120	0,26	32,67	16,34
008637	8	16	▶ 160	0,19	38,47	19,24
008675	6	12	▶ 200	0,15	44,27	22,13

- ▶ atmungsaktives Dachbodendämmelement mit begehbare Oberfläche

Nur Lagerlieferungen möglich. Staplerentladung nötig.

Mindestbestellmenge: 12 Paletten.

Abnahme nur palettenweise.



Produktdatenblatt



Atmungsaktives Dachbodendämmelement



Atmungsaktive, begehbare Oberfläche

▶ Lieferzeitraum auf Anfrage.

<sup>1)</sup> Mindermengenzuschlag: € 100,- zwischen 10 und 20 m<sup>3</sup> pro Entladestelle, Abholvergütung: € 2,-/m<sup>3</sup>.



## Austrotherm EPS® T 650-PLUS Trittschalldämmplatte

Höchstwärmedämmende Trittschalldämmplatte aus expandiertem Polystyrolhartschaumstoff für Gesamtbelastungen bis 650 kg/m<sup>2</sup>



Zellinhalt:  
 Produkttyp: Luft  
 Kantenausbildung: nach ÖNORM B 6000: EPS T 650  
 Kennzeichnung: gerade Kante (GK)  
 Nutzmaß: 2 grüne Streifen  
 Nutzfläche: 1000 x 500 mm  
 Wärmeleitfähigkeit: 0,5 m<sup>2</sup> pro Platte  
 Anwendungsgrenztemperatur: λ<sub>D</sub> = 0,033 W/(mK)  
 Plattenformat: 85 °C  
 1000 x 500 mm



- ▶ unter schwimmenden Estrichen
- ▶ unter Fußbodenheizungen



Produktdatenblatt



Lärmstopp



Mit verbesserter Dämmwirkung



Ausgezeichnete ökologische Eigenschaften

EAN-Nummer 9007646...	m <sup>2</sup> je Bund	Stk. je Bund	Dicke (in mm)	Preis*) €/m <sup>2</sup> exkl. MwSt.
001706	11,5	23	▶ 20	3,43
001713	9,0	18	▶ 25	4,17
001720	7,5	15	30	4,86
001737	5,5	11	▶ 40	5,83
001744	4,5	9	▶ 50	7,35

Andere Plattenformate und Dicken auf Anfrage.

▶ Lieferzeitraum auf Anfrage.

\*) Mindermengenzuschlag: € 100,- zwischen 10 und 20 m<sup>3</sup> pro Entladestelle.

## Austrotherm EPS® T 1000-PLUS Trittschalldämmplatte



Höchstwärmedämmende Trittschalldämmplatte aus expandiertem Polystyrolhartschaumstoff für Gesamtbelastungen bis 1.000 kg/m<sup>2</sup>

Zellinhalt:  
 Produkttyp: Luft  
 Kantenausbildung: nach ÖNORM B 6000: EPS T 1000  
 Kennzeichnung: gerade Kante (GK)  
 Nutzmaß: 1 grüner und 1 schwarzer Streifen  
 Nutzfläche: 1000 x 500 mm  
 Wärmeleitfähigkeit: 0,5 m<sup>2</sup> pro Platte  
 Anwendungsgrenztemperatur: λ<sub>D</sub> = 0,032 W/(mK)  
 Plattenformat: 85 °C  
 1000 x 500 mm



- ▶ unter Trockenestrichen
- ▶ unter schwimmenden Estrichen, unter Fußbodenheizungen
- ▶ Industrie- und Gewerbeböden



Produktdatenblatt



Lärmstopp



Mit verbesserter Dämmwirkung



Ausgezeichnete ökologische Eigenschaften

EAN-Nummer 9007646...	m <sup>2</sup> je Bund	Stk. je Bund	Dicke (in mm)	Preis*) €/m <sup>2</sup> exkl. MwSt.
001768	7,5	15	▶ 30	5,54
001775	5,5	11	▶ 40	7,26

Andere Plattenformate und Dicken auf Anfrage.

▶ Lieferzeitraum auf Anfrage.

\*) Mindermengenzuschlag: € 100,- zwischen 10 und 20 m<sup>3</sup> pro Entladestelle.

## Austrotherm PE Schaumfolien

Austrotherm PE-Schaumfolien bestehen aus geschlossenzelligem, feuchtigkeitsunempfindlichem, extrudiertem Polyethylenschaum.



Sowohl bei der Verlegung unter dem Parkett als auch im Zuge der Anwendung unter dem Estrich besticht Austrotherm PE Schaumfolie durch eine einfache, staubfreie Verarbeitung und liefert dauerhaft optimale Ergebnisse. Das hochwertige Produkt eignet sich ebenso perfekt im Trockenausbau, im Fertigteil-Hausbau, im Flachdachbau, zur Verlegung in Nassräumen und bei der Altbau-Sanierung. Die Kombination mit Fußbodenheizungen ist problemlos möglich.

**Austrotherm PE-Schaumfolien siehe Seite 46.**

# Standorte Salzkammergut.

## NATURMAT. RUND GEWASCHEN

Bezeichnung	CE Konformitätserklärung				
	1661-CPR-0056	1661-CPR-0058	1661-CPR-0057	1661-CPR-0055	
	Ohlsdorf Preis / Tonne	Vorchdorf Preis / Tonne	Viecht Preis / Tonne	Roitham Preis / Tonne	Lauffen Preis / Tonne
RK 0/1	€ 17,15	€ 17,15			
RK 0/2, ÖNORM EN 12620			auf Anfrage		
RK 0/4, ÖNORM EN 12620, ÖNORM EN 13242	€ 15,35	€ 15,35	€ 15,35	€ 15,35	€ 15,35 *
RK 0/8, ÖNORM EN 12620	€ 15,30	€ 15,30			
RK 0/16, ÖNORM EN 12620	€ 14,95	€ 14,95	€ 14,95		€ 14,95 *
RK 0/32, ÖNORM EN 12620	€ 14,35	€ 14,35			
RK 4/8, ÖNORM EN 12620, ÖNORM EN 13242	€ 8,40	€ 8,40		€ 8,40	€ 8,40 *
RK 4/16, ÖNORM EN 12620			€ 8,65	€ 8,65	
RK 8/16, ÖNORM EN 12620, ÖNORM EN 13242	€ 8,65	€ 8,65		€ 8,65	€ 8,65 *
RK 16/32, ÖNORM EN 12620, ÖNORM EN 13242	€ 9,60	€ 9,60	€ 9,60	€ 9,60	€ 9,60 *
RK 16/32 für Dachbekiesungen, ÖNORM EN 13242				€ 11,60	
RK 32/45	€ 9,30				
RK 32/63		€ 9,30			
RK 32/X	€ 9,05			€ 9,05	

## TRAGSCHICHTMATERIAL

Bezeichnung	CE Konformitätserklärung			
	1661-CPR-0056	1661-CPR-0058	1661-CPR-0057	1661-CPR-0055
	Ohlsdorf Preis / Tonne	Vorchdorf Preis / Tonne	Viecht Preis / Tonne	Roitham Preis / Tonne
RK 0/32 U5 ungeb. o. TS (Gradermat. mit Bruch), ÖNORM EN 13242	€ 11,00	€ 11,00	auf Anfrage	
RK 0/63 U8 ungeb. u. TS (Frostkies mit Bruch), ÖNORM EN 13242	€ 8,65	€ 8,65		
KK 0/22 U3 ungeb. o. TS, ÖNORM EN 13242	€ 12,15			
KK 0/32 U3 ungeb. o. TS, ÖNORM EN 13242	auf Anfrage	€ 12,15		
KK 0/32 U4 ungeb. o. TS, ÖNORM EN 13242	€ 11,00			
KK 0/45 U7 ungeb. u. TS, ÖNORM EN 13242			€ 11,10	
KK 0/63 U6 ungeb. u. TS, ÖNORM EN 13242				€ 12,15
KK 0/63 U7 ungeb. u. TS, ÖNORM EN 13242	€ 11,10	€ 11,10	€ 11,10	
RHM 0/90 Recyclingschüttmaterial, ÖNORM EN 13242	auf Anfrage	auf Anfrage		
Wandkies	€ 7,30	€ 7,30	€ 7,30	€ 7,30
Schüttmaterial	auf Anfrage	auf Anfrage	auf Anfrage	

## BRECHSAND UND SPLITT

Bezeichnung	CE Konformitätserklärung			
	1661-CPR-0056	1661-CPR-0058	1661-CPR-0057	
	Ohlsdorf Preis / Tonne	Vorchdorf Preis / Tonne	Viecht Preis / Tonne	Lauffen Preis / Tonne
KK 0/1, ÖNORM EN 12620	auf Anfrage	auf Anfrage		
KK 0/2 (G2), ÖNORM EN 13043			€ 16,85	
KK 0/4 (G4), ÖNORM EN 13043, ÖNORM EN 13242	€ 16,85	€ 16,85		
KK 2/5 (G2), ÖNORM EN 13043, ÖNORM EN 13242	€ 15,10		€ 15,10	€ 15,10 *
KK 2/5, ÖNORM EN 12620		€ 15,10		
KK 4/8 (G2), ÖNORM EN 13043, ÖNORM EN 13242	€ 15,10		€ 15,10	€ 15,10 *
KK 4/8, ÖNORM EN 12620		€ 15,10		
KK 8/11 (G2), ÖNORM EN 13043	€ 13,85		€ 13,85	
KK 8/11, ÖNORM EN 12620		€ 13,85		
KK 11/16 (G2), ÖNORM EN 13043	€ 13,85		€ 13,85	
KK 16/22 (G4), ÖNORM EN 13043	€ 13,00		€ 13,00	
KK 22/32 (G4), ÖNORM EN 13043			auf Anfrage	
Streusplitt KK 4/10, trocken	€ 16,80	€ 16,80		
Splitt KK 2/5, trocken	€ 16,80	€ 16,80		

Preise gelten ab Werk. \* Preiszuschlag für Vorfracht € 4,00/Tonne (keine eigene Erzeugung).



# Kies Preise 2016

## Kieswerk Mauer

Galtberg 20a

3362 Mauer

Tel: 07475 / 53 900-0

**Gültig ab 1.1.2016** bis auf Widerruf.

Diese Preisliste ersetzt alle bisherigen. Die Preise verstehen sich freibleibend ab Werk, in EUR je to. Es gelten die allgemeinen Verkaufs- und Lieferbedingungen.

SORTE (exkl. 20 % Mwst.)		€
Rundkorn gewaschen	RK 0/4	15,50
	RK 0/8	13,30
	RK 0/16	12,00
	RK 0/32	12,00
	RK 4/8	9,50
	RK 8/16	9,90
	RK 16/32	10,50
	RK 32/X	7,20
Wandschotter		7,20
Kantkorn	KK 4/8	9,80
	KK 8/32	8,50
Recycling	RC 0/16	7,00
Mindermenge	Pauschale	15,00
NÖ Landschaftsabgabe		0,21

### Die Qualitätskontrolle.

Strenge regelmäßige Kontrollen werden vom eigenen Labor in allen Werken durchgeführt. Selbstverständlich sind alle Kies- und Sandsorten Ö-Norm geprüft und werden durch eine staatliche, akkreditierte Prüfanstalt kontrolliert. Die Baustoffe sind zertifiziert nach der Baustoffliste ÜA.



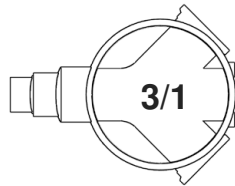
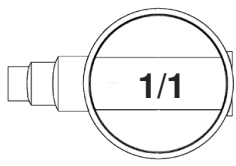
Satz- und Druckfehler vorbehalten.

## Kunststoffschacht

Schachtboden: DN 625, 800, 1000 mm

Durchlaufschacht

Sammelschacht



passend für  
alle PP-MEGA-Rohre  
und PP-GLATT-Rohre



Rotomoulding-Schacht mit  
PP-MEGA-Anschluss

## Betonschacht

Passend für alle Rohre der Serien: PP-MEGA, PP-WELL und PP-GLATT

Namhafte Betonschachthersteller liefern Betonschächte  
passend zu unserem PP-MEGA-System.



Preise auf  
Anfrage!

## Bauvlies

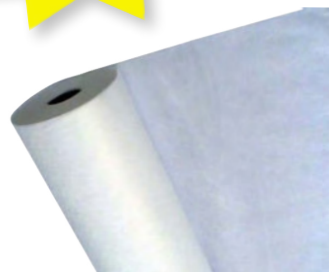
Trenn- und Filtervlies, Polypropylen Filtervlies

Das Vlies verhindert die Verbindung der Schotterschicht mit dem Mutterboden.  
Als Trennschicht bei Baugrundstabilisierung verbessert es die Stabilität und Tragfähigkeit und  
bietet ungehinderten Durchlass des Sickerwassers.

Das Geotextil ist aus zugfestem 100%-igen PP-Fasern und für  
alle geotechnischen Anforderungen geeignet: Trennen, Filtern,  
Schutz, Drainage und Verstärkung.



RVS  
geprüft



g/m <sup>2</sup>	Größe	€/m <sup>2</sup>
110	2 x 25 m	1,13
110	2 x 50 m	1,13
150	1 x 50 m	1,32
150	2 x 50 m	1,32
150	4 x 100 m	1,25
200**	4 x 100 m	1,56
300	4 x 100 m	2,85
350	4 x 100 m	auf Anfrage
400	4 x 100 m	auf Anfrage
500 g/m <sup>2</sup> aus Polyester (ohne RVS)		

## Gleitmittel

Für eine optimale Verlegung und ein optimales Zusammenstecken empfehlen wir, die  
Gleitflächen der Rohre und die Muffeninnenseite vor dem Zusammenstecken gut mit  
unserem Gleitmittel einzustreichen.

NICHT  
vergessen!

- Rohre sind dadurch wesentlich leichter zu verbinden
- Dichtung verzieht sich nicht und liegt besser an
- geeignet für PP-, PVC- oder HT-Rohre
- gute Schmier- und Gleitfähigkeit

Menge	€/Stk
Tube 250 g	3,70
Tube 500 g	4,90
Kübel 2 kg	13,60



## Spezial Gleitmittel

- Durch die ausgezeichnete Schmier- und Gleitfähigkeit  
werden die Erfordernisse viel besser erfüllt.
- Verbrauch wird minimiert

Menge	€/Stk
Kübel 800 g	9,--
Kübel 5 kg	51,60





## 2.1. Rigips Bauplatten RB / Gipsplatte A

Nach ÖNORM B 3410/DIN 18180 bzw. EN 520.

Mit halbrunden und abgeflachten (HRAK – VARIO), kartonummantelten Längskanten. Querkanten scharfkantig. AK, VK und HRK auf Anfrage.



Dicke mm	Lagerware	Standard l x b/cm	Stk./ Palette	Best.Nr.	EAN	Rabatt-gruppe	Verr. Einh.	Preis €
RB 12,5	●	200 x 125	50	5200444367	9002869020572 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>4,14</b>
RB 12,5	●	250 x 125	40	5200444368	9002869020589 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>4,14</b>
RB 12,5	●	260 x 125	40	5200446237	9002869021241 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>4,14</b>
RB 12,5	●	275 x 125	40	5200444369	9002869020596 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>4,14</b>
RB 12,5	●	300 x 125	24	5200444370	9002869020602 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>4,14</b>
RB 15,0	●	200 x 125	40	5200460191	9002869964036 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>5,10</b>
RB 15,0	●	250 x 125	20	5200446268	9002869030298 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>5,10</b>
RB 15,0	●	260 x 125	20	5200446789	9002869030526 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>5,10</b>
RB 15,0	●	275 x 125	20	5200444383	9002869030564 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>5,10</b>
RB 18,0	●	200 x 125	30	5200446285	9002869903684 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>6,12</b>
RB 18,0	–	250/275/300x125		–	– (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>6,12</b>



## 2.2. Rigips Feuerschutzplatten RF / Gipsplatte DF

Nach ÖNORM B 3410/DIN 18180 bzw. EN 520.

Zur Verwendung bei Bauteilen mit Anforderungen an den Brandschutz, mit halbrunden und abgeflachten (HRAK – VARIO), kartonummantelten Längskanten, Querkanten scharfkantig. AK, VK und HRK auf Anfrage.



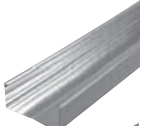
Dicke mm	Lagerware	Standard l x b/cm	Stk./ Palette	Best.Nr.	EAN	Rabatt-gruppe	Verr. Einh.	Preis €
RF 12,5	●	200 x 125	50	5200444377	9002869020626 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>4,93</b>
RF 12,5	●	250 x 125	40	5200446269	9002869020633 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>4,93</b>
RF 12,5	●	260 x 125	24	5200446270	9002869021210 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>4,93</b>
RF 12,5	●	275 x 125	24	5200444378	9002869020640 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>4,93</b>
RF 12,5	●	300 x 125	24	5200444379	9002869020657 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>4,93</b>
RF 15,0	●	200 x 125	40	5200444380	9002869030335 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>5,52</b>
RF 15,0	●	250 x 125	20	5200446279	9002869030342 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>5,52</b>
RF 15,0	●	260 x 125	20	5200446887	9002869030472 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>5,52</b>
RF 15,0	●	275 x 125	20	5200446888	9002869030502 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>5,52</b>
RF 15,0	●	300 x 125	20	5200446280	9002869030359 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>5,52</b>
RF 18,0	●	200 x 125	30	5200446287	9002869005371 (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>6,71</b>
RF 18,0	–	250/275/300x125		–	– (ST)	2	m <sup>2</sup>	<b>6,71</b>



[Detaillierte Verarbeitungshinweise in der Trockenbaupraxis](#)

● Lagerware – Keine Lagerware, Lieferzeit auf Anfrage. Abgabe nur in ganzer Verpackungseinheit.

**6.2. System-Profile Decken** gemäß ÖNORM DIN 18182-1 bzw. ÖNORM B 3415**6.2.1. Deckenprofile****6.2.1.1 Deckenprofile \***

	Lager- Ware	Verpackungs- Einheit	Bestell- Nummer	EAN	Rabatt- Verr. gruppe Einh.	Preis €
 <b>C-Deckenprofil, sendz. verz.</b> , Länge: 400 cm, (weitere Lieferlängen: 260, 275, 300 cm)						
27/60/27 mm	●	Bund à 48 Stg.	5200482683	9002869160674 (ST)	1 100 lfm	<b>184,00</b>

**U-Deckenprofil**, Standardlänge: 300 cm

27/28/27 mm	●	Bund à 48 Stg.	5200452811	9002869160216 (ST)	1 100 lfm	<b>132,00</b>
-------------	---	----------------	------------	--------------------	-----------	---------------

**6.2.1.2 Deckensonderprofile**

	Lager- Ware	Verpackungs- Einheit	Bestell- Nummer	EAN	Rabatt- Verr. gruppe Einh.	Preis €
 <b>Hut-Deckenprofil</b> , verzinkt, zur Direktmontage im Dachgeschoßausbau						
Länge: 400 cm	●	Bund à 10 Stk.	5200452872	9002869002271 (ST)	1 100 lfm	<b>402,0*</b>

**Winkelprofil**, sendz. verzinkt, 30/30 – 0,6 mm

Länge: 400 cm	●	Bund à 15 Stg.	5200452871	9002869002264 (ST)	1 100 lfm	<b>175,00</b>
---------------	---	----------------	------------	--------------------	-----------	---------------

**6.2.2. Deckenzubehör**

	Lager- Ware	Verpackungs- Einheit	Bestell- Nummer	EAN	Rabatt- Verr. gruppe Einh.	Preis €
 <b>Längsverbindungsstück für CD 60/27</b> , sendz. verzinkt						
	●	Ktn. à 100 Stk.	5200455781	9002869991551 (ST)	1 100 Stk.	<b>18,40</b>

**Winkelverbindungsstück flach für CD 60/27**

	●	Ktn. à 100 Stk.	5200455785	9002869991599 (ST)	1 100 Stk.	<b>80,00</b>
--	---	-----------------	------------	--------------------	------------	--------------

**Kreuzverbinder gestreckt für CD 60/27**, verzinkt, Tragfähigkeit 0,4 kN

	●	Ktn. à 100 Stk.	5200455782	9002869991568 (ST)	1 100 Stk.	<b>24,40</b>
--	---	-----------------	------------	--------------------	------------	--------------

**Winkelanker**, verzinkt, Tragfähigkeit 0,4 kN

	●	Ktn. à 100 Stk.	5200452963	9002869180078 (ST)	1 100 Stk.	<b>9,60</b>
--	---	-----------------	------------	--------------------	------------	-------------

**Drehankerwinkel für CD 60/27**, Tragfähigkeit 0,25 kN

	●	Ktn. à 100 Stk.	5200455783	9002869991575 (ST)	1 100 Stk.	<b>22,80</b>
--	---	-----------------	------------	--------------------	------------	--------------

**Universalverbinder für CD 60/27**, Tragfähigkeit 0,25 kN

	●	Ktn. à 100 Stk.	5200455784	9002869991582 (ST)	1 100 Stk.	<b>55,70</b>
--	---	-----------------	------------	--------------------	------------	--------------

**CD-Sicherheitsquerverbinder**, verzinkt, für höhengleiche Unterkonstruktion. Zur Montage mit C-Deckenprofil.

	●	Ktn. à 100 Stk.	5200452997	9002869002615 (ST)	1 100 Stk.	<b>50,60</b>
--	---	-----------------	------------	--------------------	------------	--------------

**Draht mit Öse**, verzinkt, Ø 4 mm, Tragfähigkeit 0,25 kN

125 mm	●	Bund à 100 Stk.	5200452965	9002869180085 (ST)	1 100 Stk.	<b>6,60</b>
250 mm	●	Bund à 100 Stk.	5200452966	9002869180092 (ST)	1 100 Stk.	<b>10,20</b>
375 mm	●	Bund à 100 Stk.	5200452967	9002869180108 (ST)	1 100 Stk.	<b>14,10</b>
500 mm	●	Bund à 100 Stk.	5200452968	9002869180115 (ST)	1 100 Stk.	<b>18,20</b>
750 mm	●	Bund à 100 Stk.	5200452969	9002869180122 (ST)	1 100 Stk.	<b>25,60</b>
1.000 mm	●	Bund à 100 Stk.	5200452970	9002869180139 (ST)	1 100 Stk.	<b>33,70</b>

**Anker-Schnellabhänger** für C-Deckenprofil, verzinkt, mit Spannfeder, Tragfähigkeit 0,25 kN

	●	Ktn. à 100 Stk.	5200452961	9002869180061 (ST)	1 100 Stk.	<b>31,50</b>
--	---	-----------------	------------	--------------------	------------	--------------

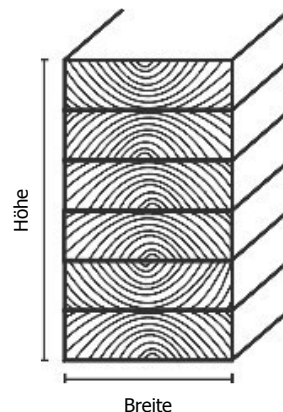
- Lagerware – Keine Lagerware, Lieferzeit auf Anfrage. Abgabe nur in ganzer Verpackungseinheit.

## Brettschichtholz Fichte "Industrie"

NETTO

Brettschichtholz besteht aus mindestens drei breitseitig-faser-parallel verleimten Brettern oder Brettlagen aus Nadelholz, die 4-seitig gehobelt werden.

**Bezugsnorm:** EN 386, ON B 4100 T1,  
 DIN 1052 T1, MUF EN 301  
**Güteklasse:** Güteklasse II gemäß DIN 1052  
 Festigkeitsklasse GL 24  
 Wurmfraß im Rahmen der DIN4074 zulässig  
 Festigkeitsklasse GL 28; GL 32 oder GL 36 auf Anfrage.  
**Verleimung:** Leimprüfung nach ÖNORM DIN 68141  
 helle Leimfuge, BEWITTERUNGSBESTÄNDIG  
**Holzfeuchte:** 12% (+/- 2%)  
**Oberfläche:** 4-seitig gehobelt, mit Fase  
**Längen:** siehe Lagerliste (Halbstangen möglich)



Breite	Preis/m <sup>3</sup>	ab m <sup>3</sup>	Preis	ab m <sup>3</sup>	Preis	ab m <sup>3</sup>	Preis
80 mm	612,00	3,23	522,00	20,00	477,00	50,00	437,00
100 mm	597,00	4,03	510,00	20,00	466,00	50,00	426,00
120 mm	582,00	3,46	497,00	20,00	454,00	50,00	416,00
160 mm	582,00	4,30	497,00	20,00	454,00	50,00	416,00
200 mm	582,00	5,76	497,00	20,00	454,00	50,00	416,00

Die Preise für 50m<sup>3</sup> gelten für das Liefergebiet Mittelsteiermark. Bei anderen Liefergebieten sind Frachtaufschläge möglich.

Höhe \ Breite	80	100	120	140	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	600
80					12										
100					12 16	12 16	16								
120						12									
160					12 16	12 16	12 14 16	12 14 16	10 12 14 16	10 12 14 16	10 12 14 16	12 14 16	12 16	12	16
200						12						12 16			16

Andere Dimensionen und Längen auf Anfrage!

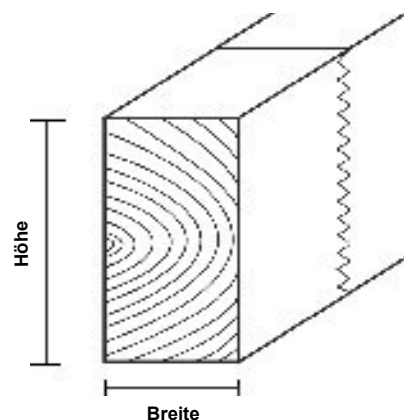
Zustellungen von Brettschichtholz mit einer Länge über 16 m erfordern ein Begleitfahrzeug. Transportbegleitung Pauschale Euro 200,00

## Konstruktionsvollholz Fichte "NSI"

NETTO

KVH besteht aus mehreren massiven Fichten- und Tannen-Kantholz-Stücken, die in der Länge keilgezinkt und kraftschlüssig verbunden werden.

- Bezugsnorm: ÖNORM DIN 4074-1
- Güteklasse: für nicht sichtbare Konstruktionen  
Festigkeitsklasse C24
- Qualität: NSI
- Verleimung: PUR-Kleber zugelassen nach DIN 68141  
geprüft nach ÖNORM EN 385  
helle Leimfuge
- Holzfeuchte: max. 18%
- Oberfläche: 4-seitig gehobelt, Kanten gefast  
vereinzelt raue Stellen zulässig
- Längen: Standardlänge 13 m



Breite	Preis/m <sup>3</sup>	ab m <sup>3</sup>	Preis	ab m <sup>3</sup>	Preis	ab m <sup>3</sup>	Preis
60 mm	435,00	5,21	371,00	20,00	339,00	50,00	310,00
80 mm	443,00	5,81	378,00	20,00	345,00	50,00	316,00
100 mm	450,00	5,82	384,00	20,00	351,00	50,00	321,00
120 mm	458,00	5,25	390,00	20,00	357,00	50,00	326,00
140 mm	465,00	6,12	397,00	20,00	363,00	50,00	332,00
160 mm	480,00	5,00	410,00	20,00	374,00	50,00	342,00

Die Preise für 50m<sup>3</sup> gelten für das Liefergebiet Mittelsteiermark. Bei anderen Liefergebieten sind Frachtaufschläge möglich.

Lagerliste mit Stück/Paket:

Höhe \ Breite	80	100	120	140	160	200	240	280
60	98	77	63	56	49	35	28	
80					35	25	20	
100		44			28	20	16	16
120			27		21	20	15	
140				24				
160					14	12	10	

Andere Längen und Dimensionen auf Anfrage!

# Rauschalung

## Rauschalung Fi/Ta 8 - 16 cm KT

NETTO

Qualität: Klasse III/IV

Stärke: 24 mm

Preise gültig bei paketweiser Abnahme, Achtung: Tagespreise! Bitte anfragen.



Qualität	Längen	Preis/ m <sup>3</sup>	ab m3	Preis	ab m3	Preis	ab m3	Preis
KT	4000	234,00	5,76	200,00	25,00	183,00	50,00	167,00

## Rauschalung Fi/Ta 17+ cm KT

NETTO

Qualität: Klasse III/IV

Stärke: 24 mm

Preise gültig bei paketweiser Abnahme, Achtung: Tagespreise! Bitte anfragen.

Qualität	Längen	Preis/ m <sup>3</sup>	ab m3	Preis	ab m3	Preis	ab m3	Preis
KT	4000	250,00	4	198,00	25	180,00	50	165,00

Die Preise für 50m<sup>3</sup> gelten für das Liefergebiet Mittelsteiermark. Bei anderen Liefergebieten sind Frachtaufschläge möglich.

## Rauschalung Fi/Ta - prismiert KT

NETTO

Qualität: Klasse III/IV


Stärke: 24 mm

Preise gültig bei paketweiser Abnahme, Achtung: Tagespreise! Bitte anfragen.

Längen	Breite	Preis/ m <sup>3</sup>	ab m3	Preis	ab m3	Preis	ab m3	Preis
4000 mm	160	285,00	4,00	244,00	25,00	223,00	50,00	204,00
4000 mm	100	285,00	4,00	244,00	25,00	223,00	50,00	204,00



### Dämmfilz Varirock® 035



Abmessungen mm (L x B x D)	Art.-Nr.	ROCKPACK		EINZELROLLE	R <sub>D</sub> (m <sup>2</sup> ·K)/W	Preis €/m <sup>2</sup>	
		Anzahl Rollen	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>		exkl. MwSt.	inkl. MwSt.
4000 x 1000 x 60* <sup>1)</sup>	170379	25	200,0	8,0	1,70	6,15	7,38
6000 x 1000 x 80*	170380	25	150,0	6,0	2,25	8,20	9,84
5000 x 1000 x 100	170381	25	125,0	5,0	2,85	10,35	12,42
4000 x 1000 x 120	170382	25	100,0	4,0	3,40	12,40	14,88
3500 x 1000 x 140*	170383	25	87,5	3,5	4,00	14,35	17,22
3000 x 1000 x 160*	170384	25	75,0	3,0	4,55	16,50	19,80
2500 x 1000 x 180*	170385	25	62,5	2,5	5,10	18,55	22,26
2500 x 1000 x 200	170386	25	62,5	2,5	5,70	20,70	24,84
2000 x 1000 x 220*	170387	25	50,0	2,0	6,25	22,75	27,30
2000 x 1000 x 240*	170388	25	50,0	2,0	6,85	24,90	29,88




Hoch komprimierter Dämmfilz aus nicht-brennbarer Steinwolle für die Dämmung der obersten Geschossdecke, zur Ausfachung von Holzbalkendecken, für den Holzrahmenbau und für den Einsatz zwischen Lagerhölzern bei Fußbodenaufbauten.

- Produktart MW-WL nach ÖNORM B 6000
- Euroklasse A1 nach ÖNORM EN 13501-1
- Nennwert der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_D = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

<sup>1)</sup> 2 Rollen pro Verpackungseinheit

### Dämmfilz Varirock® 040



Abmessungen mm (L x B x D)	Art.-Nr.	ROCKPACK		EINZELROLLE	R <sub>D</sub> (m <sup>2</sup> ·K)/W	Preis €/m <sup>2</sup>	
		Anzahl Rollen	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>		exkl. MwSt.	inkl. MwSt.
6500 x 1000 x 50* <sup>1)</sup>	174801	25	325,0	13,0	1,25	3,80	4,56
6000 x 1000 x 60* <sup>1)</sup>	174016	25	300,0	12,0	1,50	4,70	5,64
4500 x 1000 x 80 <sup>1)</sup>	174022	25	225,0	9,0	2,00	6,15	7,38
6500 x 1000 x 100	174025	25	162,5	6,5	2,50	7,80	9,36
6000 x 1000 x 120	174422	25	150,0	6,0	3,00	9,10	10,92
5000 x 1000 x 140	174427	25	125,0	5,0	3,50	10,75	12,90
4500 x 1000 x 160	174238	25	112,5	4,5	4,00	12,20	14,64
4000 x 1000 x 180	174430	25	100,0	4,0	4,50	14,35	17,22
3500 x 1000 x 200	174437	25	87,5	3,5	5,00	16,00	19,20
3000 x 1000 x 220	174439	25	75,0	3,0	5,50	17,45	20,94
2500 x 1000 x 240	174116	25	62,5	2,5	6,00	19,15	22,98



Hoch komprimierter Dämmfilz aus nicht-brennbarer Steinwolle für die Dämmung der obersten Geschossdecke, zur Ausfachung von Holzbalkendecken, für den Holzrahmenbau und für den Einsatz zwischen Lagerhölzern bei Fußbodenaufbauten.

- Produktart MW-WL nach ÖNORM B 6000
- Euroklasse A1 nach ÖNORM EN 13501-1
- Nennwert der Wärmeleitfähigkeit  $\lambda_D = 0,040 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

<sup>1)</sup> 2 Rollen pro Verpackungseinheit



## Preisliste 2016

Preise g tlig ab 01.01.16

Alle Debitoren

Nr. Bezeichnung Preis in EUR per

### VSD - Hohldielendecken

Betongüte VSD 8-16 - VSD 4-32: C 50/60 - Betongüte VSD 4-40 - VSD 4-50: C 55/67

Spannweiten lt. Belastungsdiagramm

Preise ab Werk, inkl. PVC-Kappen und Entwässerungsbohrungen

VSD16M	VSD Hohldiele, Typ 8-16 M	44,95 m�
VSD16B	VSD Hohldiele, Typ 8-16 B	51,00 m�
VSD20B	VSD Hohldiele, Typ 6-20 B	56,15 m�
VSD20C	VSD Hohldiele, Typ 6-20 C	63,55 m�
VSD26B	VSD Hohldiele, Typ 5-26,5 B	72,90 m�
VSD26C	VSD Hohldiele, Typ 5-26,5 C	78,05 m�
VSD28S	VSD Hohldiele, Typ 5-28,5 S (nur GSK)	Preis auf Anfrage
VSD32B	VSD Hohldiele, Typ 4-32 B	80,40 m�
VSD32C	VSD Hohldiele, Typ 4-32 C	88,95 m�
VSD40B	VSD Hohldiele, Typ-4-40 B	92,45 m�
VSD40C	VSD Hohldiele, Typ-4-40 C	98,60 m�
VSD42S	VSD Hohldiele, Typ-4-42 S (nur GSK)	Preis auf Anfrage
<b>VSD 4-45 ab Werk GWD, VOE, WOE</b>		
VSD45B	VSD Hohldiele, Typ-4-45 B	Preis auf Anfrage
	Aussparungen werksseits nicht möglich	
VSD45C	VSD Hohldiele, Typ-4-45 C	Preis auf Anfrage
	Aussparungen werksseits nicht möglich	
<b>VSD 4-50 ab Werk GWD, HZB, RDF</b>		
VSD50B	VSD Hohldiele, Typ 4-50 B	Preis auf Anfrage
	Aussparungen werksseits nicht möglich	
VSD50C	VSD Hohldiele, Typ 4-50 C	Preis auf Anfrage
	Aussparungen werksseits nicht möglich	

### Bewehrung:

Bewehrungspreise sind unverbindlich und können sich jederzeit ändern.

Den tagesaktuellen Preis bitten wir anzufragen.

### Bewehrung mitgeliefert:

PVSDROS7	VSD Standard Fugen- und Rostbewehrung mitli. 7 m Stangen, gerade, nicht gebogen	1.200,00 to
PVSDROST	VSD Fugen- und Rostbewehrung mitliefern geschnitten und teilweise gebogen	1.450,00 to
PVSDZA16	VSD Zuganker für Hohldiele 16 cm mitliefern geschnitten und gebogen - Werk VOE	3,93 S tk
PVSDZA20	VSD Zuganker für Hohldiele 20 cm mitliefern geschnitten und gebogen - Werk VOE	4,20 S tk
PVSDZA26	VSD Zuganker für Hohldiele 26 cm mitliefern geschnitten und gebogen - Werk VOE	4,45 S tk
PVSDZA32	VSD Zuganker für Hohldiele 32 cm mitliefern geschnitten und gebogen - Werk VOE	4,72 S tk

## Preisliste 2016

Preise g tlig ab 01.01.16

Alle Debitoren

Nr. Bezeichnung Preis in EUR per

### VSD - Hohldielendecken

Betongüte VSD 8-16 - VSD 4-32: C 50/60 - Betongüte VSD 4-40 - VSD 4-50: C 55/67

Spannweiten lt. Belastungsdiagramm

Preise ab Werk, inkl. PVC-Kappen und Entwässerungsbohrungen

VSD16M	VSD Hohldiele, Typ 8-16 M	44,95 m�
VSD16B	VSD Hohldiele, Typ 8-16 B	51,00 m�
VSD20B	VSD Hohldiele, Typ 6-20 B	56,15 m�
VSD20C	VSD Hohldiele, Typ 6-20 C	63,55 m�
VSD26B	VSD Hohldiele, Typ 5-26,5 B	72,90 m�
VSD26C	VSD Hohldiele, Typ 5-26,5 C	78,05 m�
VSD28S	VSD Hohldiele, Typ 5-28,5 S (nur GSK)	Preis auf Anfrage
VSD32B	VSD Hohldiele, Typ 4-32 B	80,40 m�
VSD32C	VSD Hohldiele, Typ 4-32 C	88,95 m�
VSD40B	VSD Hohldiele, Typ-4-40 B	92,45 m�
VSD40C	VSD Hohldiele, Typ-4-40 C	98,60 m�
VSD42S	VSD Hohldiele, Typ-4-42 S (nur GSK)	Preis auf Anfrage
<b>VSD 4-45 ab Werk GWD, VOE, WOE</b>		
VSD45B	VSD Hohldiele, Typ-4-45 B	Preis auf Anfrage
	Aussparungen werksseits nicht möglich	
VSD45C	VSD Hohldiele, Typ-4-45 C	Preis auf Anfrage
	Aussparungen werksseits nicht möglich	
<b>VSD 4-50 ab Werk GWD, HZB, RDF</b>		
VSD50B	VSD Hohldiele, Typ 4-50 B	Preis auf Anfrage
	Aussparungen werksseits nicht möglich	
VSD50C	VSD Hohldiele, Typ 4-50 C	Preis auf Anfrage
	Aussparungen werksseits nicht möglich	

### Bewehrung:

Bewehrungspreise sind unverbindlich und können sich jederzeit ändern.

Den tagesaktuellen Preis bitten wir anzufragen.

### Bewehrung mitgeliefert:

PVSDROS7	VSD Standard Fugen- und Rostbewehrung mitli. 7 m Stangen, gerade, nicht gebogen	1.200,00 to
PVSDROST	VSD Fugen- und Rostbewehrung mitliefern geschnitten und teilweise gebogen	1.450,00 to
PVSDZA16	VSD Zuganker für Hohldiele 16 cm mitliefern geschnitten und gebogen - Werk VOE	3,93 S tk
PVSDZA20	VSD Zuganker für Hohldiele 20 cm mitliefern geschnitten und gebogen - Werk VOE	4,20 S tk
PVSDZA26	VSD Zuganker für Hohldiele 26 cm mitliefern geschnitten und gebogen - Werk VOE	4,45 S tk
PVSDZA32	VSD Zuganker für Hohldiele 32 cm mitliefern geschnitten und gebogen - Werk VOE	4,72 S tk

## Grobkostenrechnung für Sprinkleranlagen

**Diese Berechnung kann für Hochregallager nicht verwendet werden.**

- Der Schwierigkeitsgrad "S" 100% entspricht einer mittelschweren Montage.
- Der Mittelwert darf zwischen 80 und 120% liegen.
- Zuschlag für Sprinkleranlagen in Lager oder Fabrikation + 20%
- In frostgefährdeten Gebäuden wird ein Zuschlag von 15% einkalkuliert

Frostgefahr

Bezeichnung	m2	S	Sfr.tot	Stk.	Sfr./Sp	Sfr.Total
Tiefgarage	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	1'300.00	10	130.00	1'300.00
Verkaufsläden	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	2'100.00	13	165.00	2'062.50
Lager	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	1'930.00	13	155.00	1'937.50
Fabrikation	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>	2'100.00	13	160.00	2'000.00
<b>Total Rohrleitungsnetz</b>	<b>400</b>		<b>7'430.00</b>	<b>49</b>		<b>7'300</b>
<b>Zentrale und Zubehör</b>					<b>Stk./m</b>	<b>Sfr. Total</b>
1 Sprinklerzentrale pro 10'000m2, bei Trockenanlagen 5'000m2				<input type="text" value="0"/>		9'500.00
Brandmeldezentrale - Alarmübermittlung				<input type="text" value="0"/>		0.00
Zubehör, Spül-, Prüf- und Entleerventile, Durchflussmelder						146.00
Verb.Leitungen ab Zentrale bis geschützten Bereich				<input type="text" value="0"/>		0.00
<b>Total Zentrale und Zubehör</b>						<b>9'646.00</b>
<b>Total Sprinkleranlage exkl. MWSt. fertig montiert</b>						<b>16'946.00</b>
Total Montagezeit in Wochen mit 2 Mann						1
Total Stundenaufwand						51

Die Angaben wurden versandt. Besten Dank!

Firma\*:

Name\*:

Email\*:

**ZENTEX BRANDSCHUTZ AG**  
Hofmattstrasse 9  
CH-5432 Neuenhof

Tel +41 56 416 20 30  
Fax +41 56 416 20 31  
info@zentex.ch

PIKETTDIENST