



Alexandra Eckert, BSc

# **Dachraumverdichtung von Altbaubeständen mittels modularisiertem Holzwohnbau am Beispiel LFS Grottenhof**

## **MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplom-Ingenieur  
Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Konstruktiver Ingenieurbau

eingereicht an der  
**Technischen Universität Graz**

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerhard Schickhofer  
Institut für Holzbau und Holztechnologie

DI Konstantin Ganster  
Institut für Holzbau und Holztechnologie

DI Manfred Augustin  
Holz.bau Forschungs GmbH

Graz, Jänner 2021



# EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG AFFIDAVIT

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

*I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly indicated all material which has been quoted either literally or by content from the sources used. The text document uploaded to TUGRAZonline is identical to the present master's thesis.*

---

Datum / Date

---

Unterschrift / Signature



## Danksagung

Ich darf mich bei Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerhard Schickhofer, der mir das Thema dieser Arbeit vorschlug und mir die Durchführung ermöglichte, bedanken. Herzlichen Dank für die abschließende Begutachtung dieser Arbeit.

Herrn Dipl. Ing. Konstantin Ganster danke ich für die gründlichen Korrekturen.

Ein ganz großes Dankeschön gilt Herrn Dipl. Ing. Manfred Augustin für das große Interesse an meiner Arbeit. Seine Ratschläge und sein offenes Ohr, vor allem in der finalen Phase meiner Arbeit, waren entscheidend für das Ergebnis dieser Arbeit.

Bei den Mitarbeitern des Instituts für Holzbau und Holztechnologie und der holz.bau forschungs GmbH möchte ich mich ebenfalls sehr bedanken. Sie haben mich bei diversen Fragestellungen beraten und unterstützt.

Ein außerordentlicher Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Studium ermöglicht und mich immer unterstützt haben.

Bei meinen vielen Freunden aus dem Beton- und Holzbau Zeichensaals möchte ich mich für eine wunderbare Studienzeit bedanken. Es ist mir eine Ehre ein Mitglied zu sein.



## **Kurzfassung**

Aufgrund des Bevölkerungszuwachses in den Städten ist eine Erweiterung des dortigen Wohnraumangebots unerlässlich. Um das Flächenwachstum einzudämmen und Grünflächen zu erhalten werden in dieser Arbeit Verdichtungskonzepte zur inneren Stadterweiterung an der Stadt Graz untersucht. Das größte Potential einer vertikalen Verdichtung haben Gründerzeithäuser. Der Ist-Zustand der Altbaubestände und die gegenwärtige Rechtslage bezüglich Aufstockungen und Dachausbauten werden dargelegt. Aufstockungskonzepte aus modularem Holzwohnbau werden vorgestellt. Am Beispiel der Fachschule für Land- und Forstwirtschaft „Grottenhof“ wird aufgrund der aktuellen Rechtslage eine Aufstockung unter Beibehaltung der Dachform geplant. Das Haupttragssystem des vorgeschlagenen Aufstockungskonzeptes besteht aus einem dreiteiligen Falwerk, welches in Firstrichtung gespannt wird. Dachelemente werden an das Falwerk angelehnt und vervollständigen die tragende Dachhaut. Eine statisch-konstruktive Untersuchung, sowie eine Variantenstudie der Verbindungstechnik zwischen den Falwerksflächen und der Dachelemente werden durchgeführt. Zusätzlich wurden Details für eine praktische Umsetzung der Aufstockung am Altbestand entwickelt.

## **Abstract**

Due to growing population in the city an expansion is inevitable. In order to preserve green areas, concepts for urban expansion within the existing city are researched. The biggest potential for vertical densification in the city of Graz are Wilhelminian buildings from the last third of the 19<sup>th</sup> century. The condition of these buildings and the current legal situation regarding densification are presented. Modular concepts using cross laminated timber represent a practical solution. The proposed solution is presented on a school for agriculture called “Grottenhof” which is located in the western region of Graz. The support system of the chosen concept is based on folded cross-laminated timber plates. Roof elements supported by the folded plates complete the skin of the roof. A structural analysis, as well as a comparison of different solutions for the connection between the folded plates and the roof elements are prepared. In addition, the elaboration of construction details for a practical implementation will be worked out.





# Inhaltsverzeichnis

<b>KAPITEL 1: MOTIVATION UND ZIEL .....</b>	<b>1</b>
<b>KAPITEL 2: NACHVERDICHTUNG DER STADT GRAZ.....</b>	<b>2</b>
2-1 DIE STADT GRAZ .....	2
2-1.1 Bevölkerungsprognose [2] .....	2
2-1.2 Die Gründerzeitstadt [3].....	2
2-1.3 Vergleich der Dichtekennzahlen von Großstädten.....	3
2-2 MÖGLICHKEITEN DER NACHVERDICHTUNG .....	4
2-2.1 Horizontale Verdichtung .....	5
2-2.2 Vertikale Verdichtung.....	6
2-2.3 Gegenüberstellung Horizontale und Vertikale Verdichtung .....	7
2-3 BLOCKWEISE VOLLAUFSTOCKUNG .....	8
2-3.1 Bewahrung der Monumentalwirkung des Gründerzeitblocks [6].....	8
2-3.2 Erschließung der Gründerzeithäuser.....	10
2-3.3 Verdichtungspotential [5] .....	12
2-4 AUFSTOCKUNGSBEISPIELE .....	13
<b>KAPITEL 3: BAURECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN .....</b>	<b>15</b>
3-1 STEIERMÄRKISCHES BAUGESETZ 1995.....	16
3-2 STEIERMÄRKISCHES RAUMORDNUNGSGESETZ 2010 .....	18
3-3 4.02 STADTENTWICKLUNGSKONZEPT GRAZ.....	19
3-4 1.0 RÄUMLICHES LEITBILD DER LANDESHAUPTSTADT GRAZ.....	20
3-5 4.0 FLÄCHENWIDMUNGSPLAN DER LANDESHAUPTSTADT GRAZ .....	24
3-6 BEBAUUNGSDICHTEVERORDNUNG 1993 .....	27
3-7 STEIERMÄRKISCHE BAUTECHNIKVERORDNUNG 2015.....	28
3-8 OIB RICHTLINIEN 1 BIS 6 .....	29
3-8.1 OIB – Richtlinie 1 „mechanische Festigkeit und Standsicherheit“ [22] .....	29
3-8.2 OIB – Richtlinie 2 „Brandschutz“ [23] .....	30
3-8.3 OIB – Richtlinie 3 „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“ [25].....	31
3-8.4 OIB - Richtlinie 4 „Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit“ [26] .....	32
3-8.5 OIB - Richtlinie 5 „Schallschutz“ [27].....	32
3-8.6 OIB - Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ [28] .....	33
3-9 UNESCO WELTKULTURERBE .....	34
3-10 GRAZER ALTSTADTERHALTUNGSGESETZ 2008 .....	35

3-10.1	Erhaltung der Dachlandschaft im Schutzgebiet nach dem Grazer Altstadterhaltungsgesetz 1980 .....	38
3-10.2	Gestaltung von Fenstern im Schutzgebiet nach dem Grazer Altstadterhaltungsgesetz 1980 .....	39
3-10.3	Richtlinie für die Dachdeckung in der Grazer Altstadt .....	39
3-11	DENKMALSCHUTZGESETZ .....	40
3-11.1	Standards der Baudenkmalpflege .....	42
3-12	ZUSAMMENFASSUNG RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN .....	43
<b>KAPITEL 4: KONSTRUKTIONEN VON ALTBAUBESTÄNDEN .....</b>		<b>44</b>
4-1	HISTORISCHE DACHSTÜHLE .....	44
4-1.1	Klassifizierung historischer Dachstühle [41].....	44
4-1.2	Statische Analyse .....	45
4-1.3	Zustandserhebung.....	45
4-1.4	Zustand der Grazer Dachstühle .....	46
4-2	HISTORISCHE DECKENKONSTRUKTIONEN .....	46
4-3	MAUERWERK.....	48
<b>KAPITEL 5: VERDICHTUNG MIT MODULARISIERTEM HOLZBAU .....</b>		<b>49</b>
5-1	VERTIKALE VERDICHTUNG VON ALTBESTÄNDEN MIT RAUMZELLEN.....	49
5-1.1	Raumzellenbauweise .....	49
5-1.2	Planung und Vorfertigung.....	49
5-1.3	Montage.....	50
5-1.4	Aufstocken mit Raumzellen.....	51
5-2	VERTIKALE VERDICHTUNG DURCH VORGEFERTIGTE ELEMENTE .....	52
5-2.1	Faltwerke .....	52
5-2.2	Aufstocken mit einem Faltwerk .....	55
5-3	TRANSPORT.....	56
5-4	KONKLUSION .....	56
<b>KAPITEL 6: VERDICHTUNGSBEISPIEL GROTTENHOF.....</b>		<b>57</b>
6-1	BESTANDSERFASSUNG UND -ANALYSE DES DACHTRAGWERKS .....	59
6-1.1	Statische Analyse .....	60
6-1.2	Instandsetzungsmaßnahmen .....	60
6-1.3	Bestandsfotos .....	61
6-2	ENTWURF-NEUGESTALTUNG .....	63
6-3	TRAGWERKSPLANUNG .....	65

6-3.1	Schnitt Bestand und Aufstockung.....	68
6-3.2	Detailausbildung .....	69
6-3.2.1	DETAIL A - Auflager faltwerk.....	69
6-3.2.2	DETAIL B - Auflager Rippendecke .....	70
6-3.3	Brandschutz .....	71
6-3.4	Feuchteschutz.....	72
6-3.4.1	Schimmelbildung.....	74
6-3.4.2	Kondensat an der inneren Bauteiloberfläche .....	76
6-3.4.3	Kondensat im Bauteil.....	79
6-4	LASTAUFSTELLUNG.....	80
6-4.1	Eigengewicht.....	80
6-4.1.1	Dachaufbau.....	80
6-4.2	Nutzlast .....	80
6-4.3	Windlast .....	81
6-4.4	Schneelast .....	83
6-4.5	Erdbeben.....	84
6-5	LASTFALLKOMBINATIONEN .....	85
6-6	MODELLBILDUNG .....	86
6-6.1	Eingabe der Materialeigenschaften .....	90
6-7	GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT .....	93
6-7.1	Baustoffkennwerte .....	93
6-7.2	Nachweise.....	94
6-7.3	Tragwiderstände .....	97
6-7.4	Nachweisführung .....	99
6-8	GRENZZUSTAND DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT .....	107
6-9	BEMESSUNG RIPPENDECKE .....	111
6-9.1	Lastaufstellung.....	111
6-9.1.1	Eigenlast .....	111
6-9.1.2	Nutzlast .....	111
6-9.2	Querschnitt.....	112
6-9.2.1	Querschnittswerte .....	113
6-9.3	Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	114
6-9.3.1	Nachweisführung .....	115

6-9.4	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	117
6-9.4.1	Begrenzung der Verformung .....	117
6-9.4.2	Schwingungsnachweis .....	119
6-10	VERBINDUNGSTECHNIK .....	122
6-10.1	Variantenstudie Anschluss Dachelement – Faltwerk.....	122
6-10.1.1	Variante 1 – Gelenkverbindung mit Stabdübel.....	123
6-10.1.2	Variante 2 – Stahlwinkel verschraubt.....	124
6-10.1.3	Variante 3 – Keil und Stufenfalz verschraubt.....	124
6-10.2	Nachweise der Verbindungsmittel.....	125
6-10.2.1	Axial beanspruchte Verbindungsmittel.....	125
6-10.2.2	Auf Abscheren beanspruchte Verbindungsmittel.....	127
6-10.2.3	Effektive Tragfähigkeit.....	129
6-10.2.4	Bemessungswert der Tragfähigkeit.....	129
6-10.2.5	Kombinierte Beanspruchung.....	129
6-10.2.6	Verschiebungsmodul.....	130
6-10.3	Sonstige Nachweise.....	131
6-10.3.1	Querdrucknachweis.....	131
6-10.4	Verwendete Verbindungsmittel.....	132
6-11	NACHWEISFÜHRUNG DER VERBINDUNGSMITTEL.....	134
6-11.1	Varianten - Anschluss Dachelement an Faltwerk.....	135
6-11.1.1	Variante 1- Gelenkverbindung mit Stabdübel.....	135
6-11.1.2	Variante 2 - Stahlwinkel verschraubt.....	146
6-11.1.3	Variante 3 - Keil und Stufenfalz verschraubt.....	151
6-11.2	Variantenvergleich.....	157
6-11.3	Variantenentscheid.....	160
6-11.4	Nachweise der Restlichen Verbindungen.....	161
6-11.4.1	Faltwerksflächen am First.....	161
6-11.4.2	Faltwerksfläche „Basis“ – Querschott.....	166
6-11.4.3	Faltwerksfläche „Schenkel“ – Querschott.....	169
6-11.4.4	Dachelement – Rippendecke.....	172
6-11.4.5	Dachelemente.....	175
<b>7</b>	<b>KAPITEL 7: ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>	<b>176</b>
7-1	ZUSAMMENFASSUNG.....	176

7-2	AUSBLICK .....	176
<b>ANHANG A</b>	<b>VERZEICHNISSE .....</b>	<b>I</b>
A-1	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	I
A-2	TABELLENVERZEICHNIS .....	V
A-3	LITERATURVERZEICHNIS.....	VI
<b>ANHANG B</b>	<b>ANDERE ANHÄNGE.....</b>	<b>X</b>
B-1	ANHANG FLÄCHENSCHNITTGRÖßEN .....	X



# KAPITEL 1: MOTIVATION UND ZIEL

Das unkontrollierte Flächenwachstum von Städten ist eine der größten Gefahren für unsere Umwelt. Die Faszination von einem Haus im Grünen verursacht ökologisch und ökonomisch negative Folgen und widerspricht dem aktuellen Streben nach Nachhaltigkeit. Innerstädtisches und dichtes Wohnen braucht weniger Ressourcen und fördert die öffentliche Infrastruktur. Durch den Bevölkerungszuwachs ist eine Erweiterung der Stadt zwar unvermeidlich, jedoch besteht neben der Erweiterung nach außen auch die Möglichkeit der inneren Stadterweiterung durch Nachverdichtung. Eine Nachverdichtung von gut erschlossenen Gebieten würde den Flächenwachstum eindämmen und Grünflächen erhalten [1].

*„Grün soll grün bleiben, im besten Fall noch grüner werden und die Stadt soll Stadt bleiben, noch urbaner werden.“ [1]*

Die vielen Gründerzeithäuser der Stadt Graz enthalten ein großes Potential zur Nachverdichtung. Allerdings tritt der Wunsch der Bewahrung der Baukultur in Konflikt mit den Anforderungen der Gegenwart. Deshalb beschränken sich die Nachverdichtungsprojekte im jetzigen Baugeschehen auf grundstücksbezogene Aufstockungen und Dachgeschossausbauten.

Teil dieser Arbeit ist es, die rechtlichen Rahmenbedingungen darzulegen und abzuklären welche Nachverdichtungen derzeit möglich sind.

Ziel ist es, wirtschaftliche Lösungen aus modularisiertem Holzbau zu erarbeiten um durch die Darlegung dieser Option weitere Zersiedelung einzudämmen.

## KAPITEL 2: NACHVERDICHUNG DER STADT GRAZ

In diesem Kapitel wird die Stadt Graz mit deren Bevölkerung und Charakteristik vorgestellt und mögliche Nachverdichtungskonzepte und deren Umsetzung und Potential untersucht.

### 2-1 DIE STADT GRAZ

#### 2-1.1 BEVÖLKERUNGSPROGNOSE [2]

Die Bevölkerungszahl der Stadt Graz wird in Zukunft stark wachsen. Derzeit hat die Stadt Graz in ihren 17 Bezirken 294.630 Einwohner (Stand 01.01.2020). Bis zum 1.1.2034 wird eine Einwohnerzahl von 329.000, also ein Zuwachs von rund 34.000 Personen (11,5%) prognostiziert. Dieser Zuwachs fordert die Schaffung von neuem Wohnraum, Bildungseinrichtungen und Nahversorgern. Es wird ein Konzept benötigt um die zusätzlichen Bewohner in Zukunft nachhaltig unterzubringen.

#### 2-1.2 DIE GRÜNDERZEITSTADT [3]

Die Stadt Graz verfügt über eine Vielzahl an Gründerzeithäusern. Als Gründerzeit wird die Epoche ab ca. 1830 bis zum Ende des 1. Weltkrieges 1919 bezeichnet. In der frühen Gründerzeit entstanden erste Bauordnungen welche detaillierte Vorschriften enthielten um die Gestaltung der Häuser zu kontrollieren. Das baubehördliche Eingriffsrecht in die Fassadengestaltung wurde vorgeschrieben und Baufluchtlinien und Gebäudehöhen wurden beschränkt.



**Abbildung 2-1 Links: Gründerzeitliche Stadterweiterung Graz bis 1911 [3]  
Rechts: Ausschnitt Graz 2020 [4]**

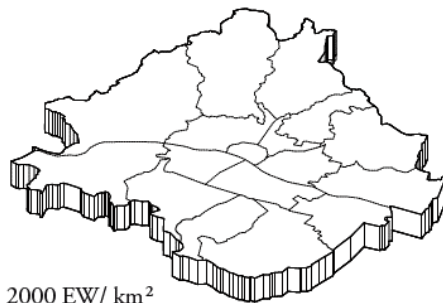
In der kommerzialisierten Gründerzeit wollte man die angestrebte Kombination von Stadt und Landschaft aus der Biedermeierzeit zurückdrängen. In Graz hielt man jedoch an den Prinzipien fest und setzte stark auf die Einbindung von Grünflächen. Der Wachstumsdruck in Graz war im Vergleich zu anderen Städten nicht so explosiv, wodurch man sich den Verzicht auf eine maximale Grundstücksausnutzung leisten konnte. Diese Gründerzeithäuser sind bis heute fast gänzlich erhalten geblieben und bergen ein sehr hohes Verdichtungspotential. [5]



### 2-1.3 VERGLEICH DER DICHTEKENNZAHLEN VON GROßSTÄDTEN

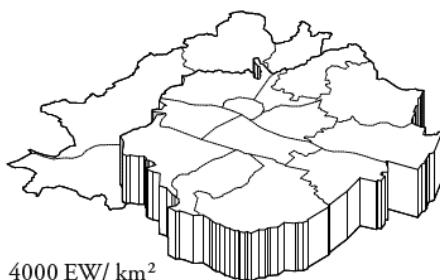
Siehe auch [5]

Um die ansteigende Zersiedelung und das Flächenwachstum der Stadt zu bremsen ist ein effizientes Nachverdichtungskonzept erforderlich. Die Stadt Graz muss dichter werden; die Anzahl der Einwohner pro Fläche steigern. Dies verstärkt die Urbanität und wertet Erdgeschosszonen durch eine Verbesserung der Nahversorgung auf. Zusätzlich kann der öffentliche Verkehr wirtschaftlicher genutzt werden. In Abbildung 2-2 wird die Kennzahl der Einwohner pro Fläche von verschiedenen Städten dargestellt, um Unterschiede zur Stadt Graz aufzuzeigen.



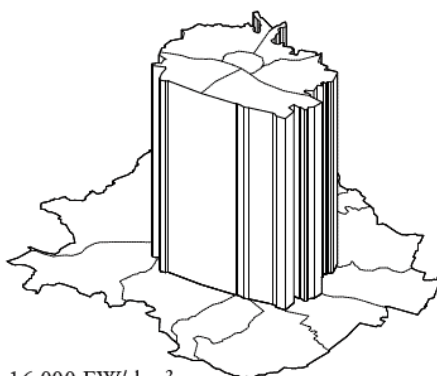
2000 EW/ km<sup>2</sup>  
(Graz)

Graz besteht aus 17 Bezirken. Die Randbezirke werden großteils von Einfamilienhäusern mit Gärten besetzt. Auch die zentrumsnahen Bezirke sind mit vielen Freiflächen versehen. Dieser hohe Grünanteil trägt maßgeblich zur Lebensqualität bei.



4000 EW/ km<sup>2</sup>  
(Berlin/Wien)

Wien und Berlin sind aufgrund ihrer zahlreichen Frei- und Erholungsflächen nicht besonders dicht verbaut. Stellt man sich Grazer Einwohner mit den Kennzahlen von Wien oder Berlin vor, könnten die Flächen der vier nördlichsten Grazer Bezirke gänzlich unbebaut bleiben. Umgekehrt betrachtet hat die Fläche von Graz das Potential von rund 500.000 zusätzlichen Menschen bis sie dieselbe Kennzahl von Wien oder Berlin erreicht.



16 000 EW/ km<sup>2</sup>  
(Barcelona)

Mit der Kennzahl von Barcelona könnte man die Grazer Bevölkerung in den Gründerzeitbezirken innerhalb des Gürtels unterbringen.

#### **Abbildung 2-2 Vergleich von Graz mit anderen Städten [5]**

Diese Beispiele machen sichtbar, dass Graz im Vergleich zu anderen Städten nicht dicht verbaut ist. Durch Nachverdichtung wäre der prognostizierte Bevölkerungszuwachs für die nähere Zukunft durchaus zu bewältigen. Es besteht noch keine unmittelbare Notwendigkeit, neue Baugebiete aufzuschließen.

## 2-2 MÖGLICHKEITEN DER NACHVERDICHUNG

Siehe auch [5]

Grundsätzlich kann man die verschiedenen Arten der Nachverdichtung in die vertikale und horizontale Nachverdichtung aufteilen. Horizontale Nachverdichtung ist das Weiterbauen in der Fläche; durch Verbauung und Auffüllung von Lücken. Vertikale Nachverdichtung erfolgt durch Aufstockung oder Dachbodenausbauten bestehender Bauwerke. Nachfolgend werden Möglichkeiten der Nachverdichtung an Hand eines „Referenzblocks“ der Stadt Graz erläutert.

### Referenzblock

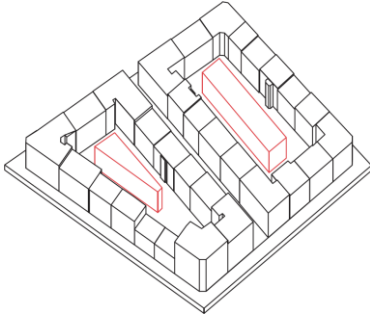
Als Referenzblock werden die ausgewählten Gründerzeitblöcke in Abbildung 2-3 bezeichnet. Die Abmessungen der Blöcke und die Straßenbreiten liegen im gängigen Größenbereich. Die Häuser sind überwiegend dreigeschossig und die Innenhöfe unbebaut. Die Möglichkeiten der Nachverdichtung werden an diesem Referenzblock dargestellt.



**Abbildung 2-3 Referenzblock [5]**

## 2-2.1 HORIZONTALE VERDICHTUNG

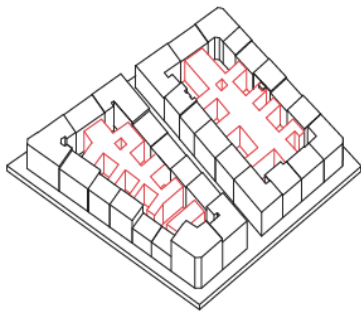
Durch horizontale Nachverdichtung wird die bestehende Dachlandschaft erhalten. Jedoch wird neben der Bebauungsdichte auch der Bebauungsgrad erhöht und der Anteil an Freiflächen beachtlich verringert. Eine horizontale Verdichtung kann auf verschiedene Arten erfolgen:



**Abbildung 2-4: Hofverbauung in Blockhöhe [5]**

- **Hofverbauung in Blockhöhe**

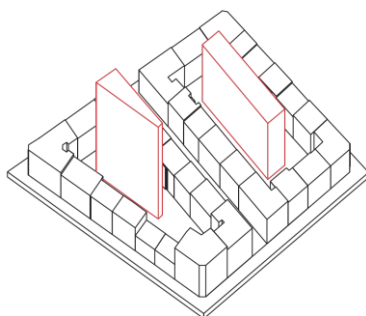
Die Gasse zwischen Bestand und Zubau dient zur natürlichen Belichtung. Die Bestandsbewohner verlieren jedoch den Großteil ihrer Innenhofgärten.



**Abbildung 2-5: Blockauffüllung [5]**

- **dichtestmögliche Blockauffüllung**

Diese Form der Verdichtung könnte bei Einhaltung der Bestandshöhe die maximale Bebauungsdichte erreichen, jedoch ist die Anbindung an die Hoffassaden ohne den Verlust von Belichtungsöffnungen des Bestandsgebäudes schwer umzusetzen.



**Abbildung 2-6: Turmbebauung im Hof [5]**

- **Turmbebauung im Hof**

Die Hochhäuser sind in dieser Ausführung sehr schmal, dadurch ineffizient und statisch anspruchsvoll. Die Bestandshöhe wird in diesem Fall überschritten.

## 2-2.2 VERTIKALE VERDICHTUNG

Bei dieser Form der Verdichtung werden die Bestandsflächen durch eine Erhöhung der Geschosszahl verdichtet und der Innenhof bleibt erhalten.

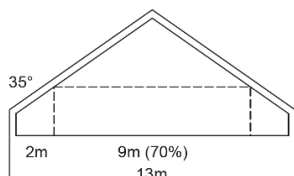


Abbildung 2-7: Dachbodenausbau [5]

- **Dachbodenausbau**

Ein Dachbodenausbau ist die einzige Möglichkeit der Nachverdichtung unter Beibehaltung der bestehenden Dachlandschaft. Mit einer Dachneigung von 30-35° gewinnt man brutto nur 70% der bebauten Fläche.

- **Blockumfassende Aufstockung**

Eine Vollaufstockung würde mehr nutzbare Fläche ergeben als der Dachbodenausbau. Bis zum Erreichen der ehemaligen Firsthöhe können üblicherweise zwei zusätzliche Geschosse angeordnet werden. Die Höhenbegrenzung ergibt sich aus der maximalen Bebauungsdichte und aus den Belichtungsregeln abhängig von vorhandenen Straßenbreiten. Aus statischer Sicht ist aufgrund der soliden Bauweise des Gründerzeitbestandes eine zweigeschossige Aufstockung meist unproblematisch.

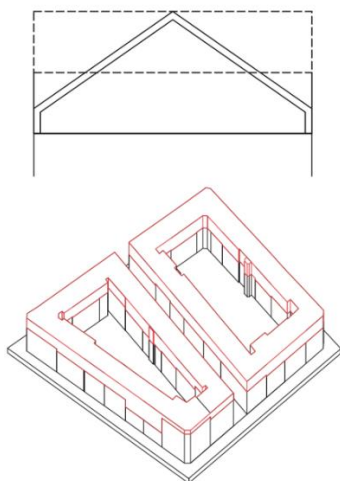


Abbildung 2-8: Blockaufstockung [5]

- **Aufstockung in Zeilen oder Türmen**

Bei dieser Variante kann die Beschattung durch Auslassung einzelner Zeilen verringert werden. Es können einzelne oder benachbarte Gebäude gemeinsam aufgestockt werden. Im Vergleich zur Vollaufstockung müssten die Zeilen oder Türme mehrere Geschosse beinhalten, um auf dieselbe Bebauungsdichte zu kommen.

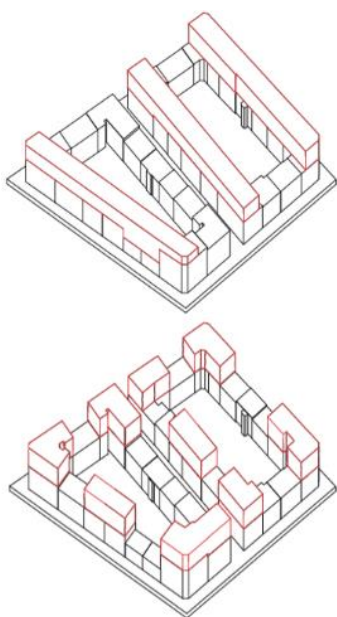


Abbildung 2-9: Aufstockung in Zeilen oder Türmen [5]

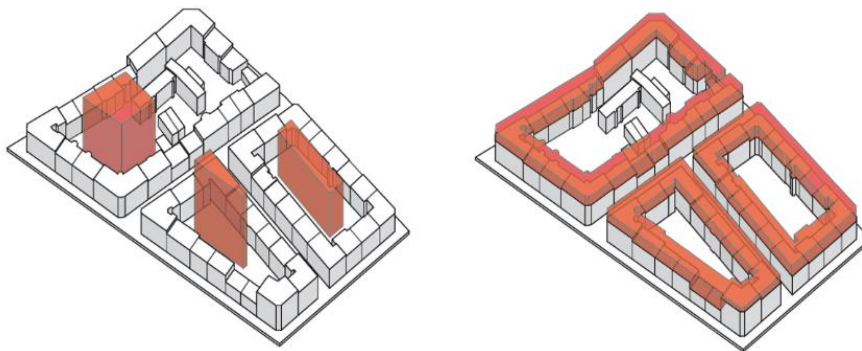
### 2-2.3 GEGENÜBERSTELLUNG HORIZONTALE UND VERTIKALE VERDICHTUNG

Bei jeder Art der Nachverdichtung sollten die Qualitäten des Gründerzeitblocks (z.B. Innenhöfe) erhalten bleiben. Sind Beeinträchtigungen unvermeidlich, sollte mit einer Verbesserung ein direkter Ausgleich geschaffen werden (z.B. Dachterrasse für Bestandsbewohner).

Jede Variante der horizontalen Nachverdichtung bringt eine Entwertung des Innenhofes, eine größere Beschattung und eine geringere Aussicht mit sich. Mit nutzbaren Dachflächen könnte man einige grüne Flächen ersetzen, dies bedeutet jedoch einen Eingriff in die Dachlandschaft.

Der Erhalt der Dachlandschaft ist bei vertikaler Nachverdichtung nur bei Dachgeschossausbauten möglich. Diese Form der Nachverdichtung schafft unter den genannten Möglichkeiten den geringsten Dichtezuwachs. Eine Aufstockung in Zeilen oder Türmen könnte pro Gebäude oder gemeinsam mit benachbarten Gebäuden erfolgen und schafft mehr neue Wohnfläche als Dachgeschossausbauten.

Bei Einhaltung der Bestandshöhen wird die größte Schaffung neuer Wohnfläche mit einer meist zweistöckigen, blockumfassenden Aufstockung erreicht. Um dieselbe Bebauungsdichte zu erreichen müsste bei diesem Referenzblock eine zwölfgeschossige Turmbebauung im Hof mit minimalem Gebäudeabstand errichtet werden.



**Abbildung 2-10 Horizontale und vertikale Verdichtung gleicher Dichte [5]**

Dachflächen bieten das größte Potential für eine innere Stadterweiterung. Das eigentliche Gründerzeitgebäude bildet den Sockel für die Stadterweiterung und wird dadurch konserviert. Somit bleibt der Charakter der Gründerzeitquartiere für die Zukunft nachhaltig erhalten.

## 2-3 BLOCKWEISE VOLLAUFSTOCKUNG

Siehe auch [5]

Gründerzeitfassaden lassen eine einheitliche Wirkung des aus Einzelbauten zusammengefügttem gesamten Blocks entstehen. Genau diese Blockhaftigkeit gibt der Stadt ihren Flair. Eine blockweise Vollaufstockung würde den Hauptcharakter des Gründerzeitblocks bewahren und die Monumentalwirkung verstärken.

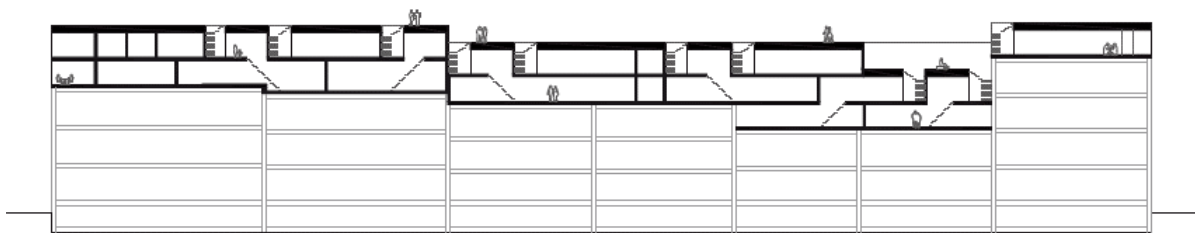
### 2-3.1 BEWAHRUNG DER MONUMENTALWIRKUNG DES GRÜNDERZEITBLOCKS [6]

Die Fassaden der Gründerzeithäuser sind straßenseitig architektonisch wertvoll verziert. In der Frühgründerzeit beschränkte sich die Fassadengestaltung auf ein Bossenwerk im Erdgeschoss, aufgeputzte Fensterrahmen und Gurtgesimse. Mitte des 19. Jahrhunderts gewann die aufwendige Fassadengestaltung mehr an Bedeutung. Frieze und Stuckdekor wurde über Gesimsen, Fensterstürzen und Parapetfeldern angebracht. Im Zuge von Nachverdichtungsmaßnahmen sollten Fassaden in ihrer vollständigen Gestalt bis zum Abschlussgesims erhalten bleiben.



**Abbildung 2-11 Fassade Rechbauerstraße [5]**

Der Fokus auf gleich hohe Traufen begann erst ab 1960, daher verfügen die Grazer Gründerzeitblöcke über unterschiedlichste Höhen. Eine einheitliche Aufstockung des gesamten Blocks gleicht Höhenunterschiede aus und verstärkt somit die monumentale Gesamtwirkung der Gründerzeithäuser.



**Abbildung 2-12 blockweise Aufstockungsbeispiele [5]**

Aktuelle Nachverdichtungsprojekte beschränken sich bisher auf grundstücksbezogene Aufstockungen und schaffen somit mehr Inhomogenität.

*„Offensichtlich verleitet das Bauen oberhalb der üblichen Sichtlinie dazu, sich Konventionen zu entziehen und Grenzen auszuloten. Die besondere originelle Lösung, die Schaffung von Unikaten und Prototypen, mag interessant und relevant sein, wo sie zu neuen Typen und formalen Strömungen führt, orientiert sich im praktischen Geschehen aber meist an aktuellen Moden und produziert dabei oft wirklich einfach nur „Parasiten“ [5].*

Es bedarf einheitlicher Lösungsansätze, um den schützenswerten Bestand aufzustocken. Einzelfall-Entscheidungen sollten vermieden werden.

Architektonische Studien geben einen Einblick in eine mögliche Zukunft der Stadt Graz. Die Visionen in Abbildung 2-13 und Abbildung 2-14 basieren auf der Idee der modularen Aufstockung (näheres dazu im Kapitel 5):



**Abbildung 2-13 Studie Vollaufstockung Naglergasse [1]**



**Abbildung 2-14 Studie Vollaufstockung Spabersbachgasse [1]**

### 2-3.2 ERSCHLIEßUNG DER GRÜNDERZEITHÄUSER

Siehe auch [6]

Grazer Gründerzeithäuser bestehen im Regelfall aus 60 m<sup>2</sup> bis 80 m<sup>2</sup> großen Mietwohnungen und haben über alle Geschosse dieselbe Raumaufteilung (ersichtlich in Abbildung 2-15). Typisch für Grundrisse der Gründerzeithäuser sind große straßenseitige Zimmer. Die Zimmer in Richtung Innenhof sind kleiner und für untergeordnete Zwecke bestimmt. Stiegenhäuser und Balkone sind fast ausschließlich zentral an der Hofseite angeordnet. Da Sanitärleitungen in der Regel an den Stiegenhauswänden positioniert wurden, befinden sich pro Geschoss meist zwei symmetrisch angelegte Wohneinheiten. Die Gebäudetiefe von rund 13 m entstand aus den wirtschaftlichen Spannweiten der Holzdecken zwischen den Außenwänden und der tragenden Innenwand. Ein gängiges Maß des Grazer Gründerzeitblocks entspricht rund 120 m mal 60 m.



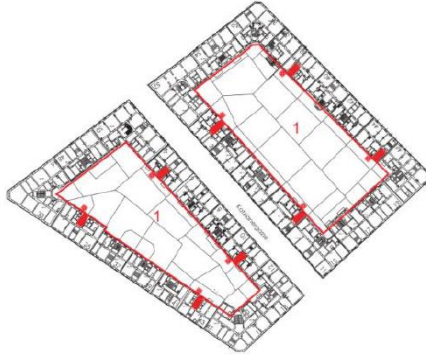
**Abbildung 2-15 typischer Grundriss eines Grazer Gründerzeitblockes [5]**

Würde man diesen Block innerhalb der Parzellen einzeln aufstocken, müsste jedes Stiegenhaus hochgezogen werden. Eine kostengünstigere, wirtschaftliche Lösung sind parzellenübergreifende Aufstockungen.



**Parzellenübergreifende Aufstockung:**

Parzellenübergreifend kann ökonomischer mit der Erschließung umgegangen werden und der Eingriff in den Bestand wird verringert. Ein Stiegenhaus kann beispielsweise die gesamte aufgestockte Zeile erschließen.



**Abbildung 2-16 Erschließung blockumfassende Aufstockung [5]**

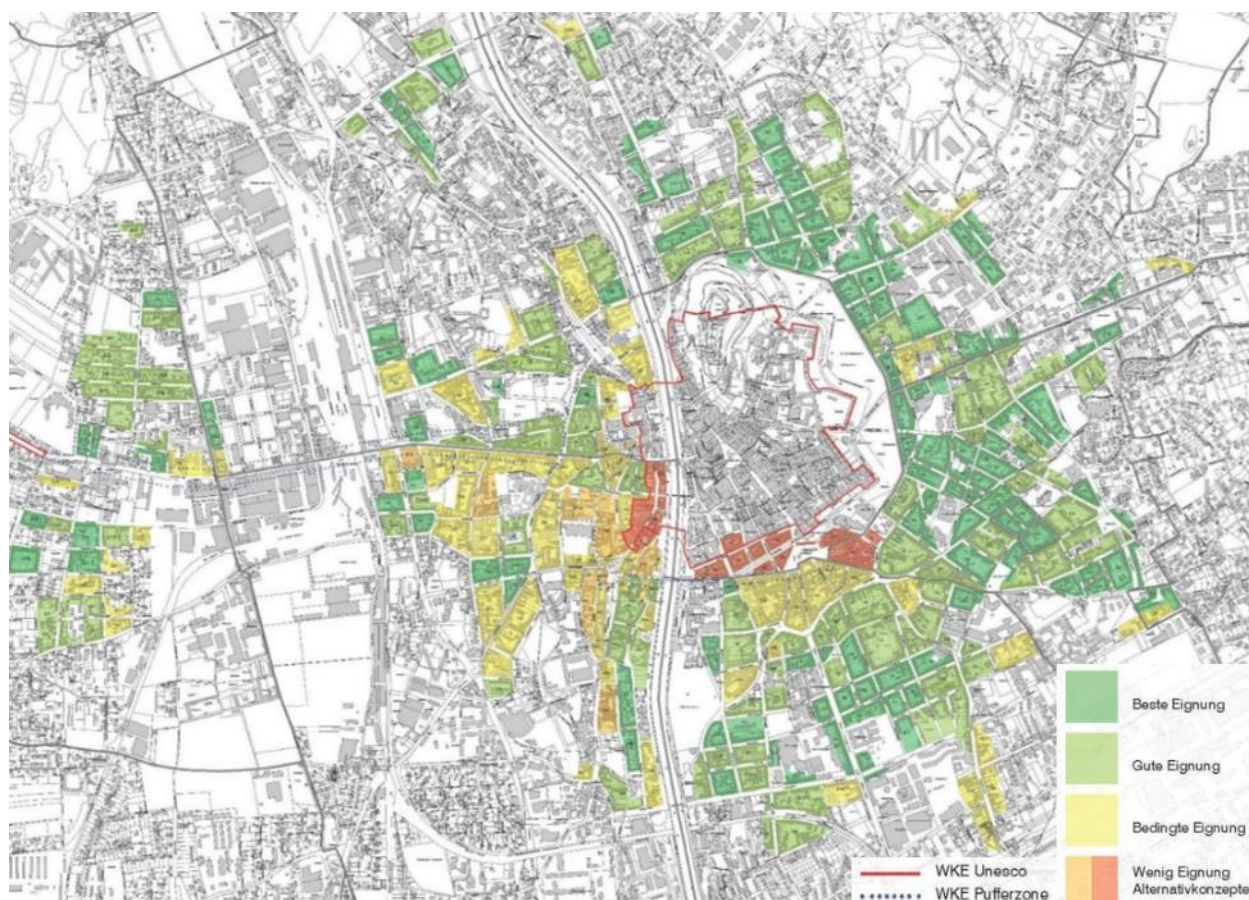
Weitere Vorteile der parzellenübergreifenden Betrachtung eines Gründerzeitblockes ergeben sich durch das Zusammenlegen schlecht zugänglicher eingezäunter Gärten im Innenhof. Diese können in gemeinschaftlich genutzte Parks mit Spielplätzen, Sporteinrichtungen und/oder Gemüsegärten usw. umgewandelt werden. Flachdächer können als begehbare Dachterrassen und Dachgärten für alle Bewohner nutzbar ausgeführt werden und ein neues charakteristisches Stadtbild ergeben.

### 2-3.3 VERDICHTUNGSPOTENTIAL [5]

In [5] wird das Verdichtungspotential der Gründerzeitstadt Graz ermittelt. Als Verdichtungsmodell wird eine blockübergreifende, meist zweigeschossige Aufstockung gewählt.

Voraussetzungen innerhalb eines Blocks sind:

- geschlossene oder teiloffene Blockrandbebauung,
- typologische Homogenität ,
- freie Höfe und
- erhaltenswerte Bausubstanz



**Abbildung 2-17: Verdichtungspotential Stadt Graz [5]**

Über das gesamte Untersuchungsgebiet lassen sich in den gut und bestgeeignetsten Blöcken zusätzlich knapp 36.000 Menschen ansiedeln, dies würde dem prognostizierten Zuwachs [2] der nächsten 12 Jahre entsprechen.

Das erarbeitete Nachverdichtungsmodell „Gründerzeitstadt 2.1“ bietet somit ein realisierbares Stadterweiterungskonzept ohne der Notwendigkeit die Stadt neu planen und erschließen zu müssen.

## 2-4 AUFSTOCKUNGSBEISPIELE

### Graz Muchargasse

Das Gebäude befindet sich in der Altstadtschutzzone III („Gründerzeitviertel“). Die Aufstockung basiert auf einem Trägersystem aus Brettschichtholz. Die Planungs- und Einreichphase der Aufstockung zog sich aufgrund der Anforderungen der Altstadtkommission [7] über drei Jahre.

Auf rechtliche Hürden einer Aufstockung in der Stadt Graz wird im Kapitel 3: ausführlich eingegangen.



*Abbildung 2-18 Bestandsbeispiel einer Einzelaufstockung in Graz [7]*

### Graz Jakoministraße

Das Gebäude „Wilder Mann“ liegt in der Altstadtschutzzone III. Die dreigeschossige Aufstockung aus Brettspertholz verdoppelt die Nutzfläche des Gebäudes. Von der Jakoministraße aus ist die Aufstockung nicht zu sehen [8].



*Abbildung 2-19 Aufstockungsbeispiel Graz [8]*

### Wien Margaretenstraße

Dieses viergeschossige Gründerzeithaus befindet sich in der Schutzzone Wiens und wurde mit drei neuen Ebenen vollflächig aufgestockt. Die Geometrie der Aufstockung basiert auf konvergierenden Linien der Straßenfluchten [9].



**Abbildung 2-20 Bestandsbeispiel Aufstockung in Wien [9]**

### Wien Radezkystraße

Die ein- bis zweigeschossige Aufstockung auf das Gründerzeithaus ist vom Straßenraum kaum sichtbar. Zur Erschließung dient ein in der Spindel des Treppenhauses platzierter Lift und eine hofseitige Freitreppe [10].



**Abbildung 2-21 Aufstockung Wien [10]**

## KAPITEL 3: BAURECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN

Siehe auch [11]

In diesem Kapitel werden die rechtlichen Rahmenbedingungen der Stadt Graz mit Bezug auf die Aufstockung von Altbaubeständen dargelegt. Die folgenden Gesetze und Verordnungen werden herangezogen:

- Steiermärkisches Baugesetz 1995
- Steiermärkisches Raumordnungsgesetz 2010
- 4.02 Stadtentwicklungskonzept Graz
- Räumliches Leitbild der Landeshauptstadt Graz
- 4.0 Flächenwidmungsplan der Landeshauptstadt Graz
- Bebauungsdichteverordnung 1993
- Steiermärkische Bautechnikverordnung 2015
- OIB Richtlinien 1-6
- Richtlinien UNESCO-Weltkulturerbe
- Grazer Altstadterhaltungsgesetz 2008
  - Verordnung über die Erhaltung der Dachlandschaft im Schutzgebiet nach dem Grazer Altstadterhaltungsgesetz 1980
  - Richtlinie für die Dachdeckung in der Grazer Altstadt
  - Verordnung über die Gestaltung von Fenstern im Schutzgebiet nach dem Grazer Altstadterhaltungsgesetz 1980
- Denkmalschutzgesetz

### 3-1 STEIERMÄRKISCHES BAUGESETZ 1995

---

Das Steiermärkische Baugesetz (Stmk BauG) [12] bildet die Grundlage für Planungen von Bauten. Für diese Arbeit relevante Bestimmungen werden nachstehend angeführt.

Begriffe im Zusammenhang mit Aufstockungen sind lt. Stmk. BauG. folgendermaßen definiert:

**„5. Aufenthaltsraum:** Raum, der zum länger dauernden Aufenthalt von Personen bestimmt ist (z. B. Wohn- und Schlafräum, Wohnküche, Arbeitsraum, Unterrichtsraum), nicht dazu zählen jedenfalls Badezimmer und Toiletten

**16. Bebauungsdichte:** Verhältniszahl, die sich aus der Teilung der Bruttogeschosßfläche der Geschoße durch die zugehörige Bauplatzfläche ergibt

**22. Dachboden:** unausgebauter Dachraum

**23. Dachgeschoß:** für Aufenthalts-, Lagerräume u. dgl. ganz oder teilweise ausgebauter Dachraum

**34a. größere Renovierung:** Renovierung, bei der mehr als 25 % der Oberfläche der Gebäudehülle einer Renovierung unterzogen werden, es sei denn, die Gesamtkosten der Renovierung der Gebäudehülle und der gebäudetechnischen Systeme betragen weniger als 25 % des Gebäudewerts, wobei der Wert des Grundstücks, auf dem das Gebäude errichtet wurde, nicht mitgerechnet wird

**56. Stand der Technik:** auf den einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhender Entwicklungsstand fortschrittlicher bautechnischer Verfahren, Einrichtungen und Bauweisen, deren Funktionstüchtigkeit erprobt oder sonst erwiesen ist; jedenfalls sind die OIB-Richtlinien Regel der Technik, die den Stand der Technik wiedergeben

**58. Umbau:** die Umgestaltung des Inneren oder Äußeren einer bestehenden baulichen Anlage, die die äußeren Abmessungen nicht vergrößert oder nur unwesentlich verkleinert, jedoch geeignet ist, die öffentlichen Interessen zu berühren (z. B. Brandschutz, Standsicherheit, äußeres Erscheinungsbild), bei überwiegender Erhaltung der Bausubstanz

**64. Zubau:** die Vergrößerung einer bestehenden baulichen Anlage der Höhe, Länge oder Breite nach bis zur Verdoppelung der bisherigen Geschoßflächen“ [12]

Die nachstehenden Paragraphen des steiermärkischen Baugesetzes sind für die Verdichtung von Altbaubeständen von Bedeutung:

- **§ 19 Baubewilligungspflichtige Vorhaben**

Grundsätzlich sind Neu-, Zu- oder Umbauten von baulichen Anlagen sowie größere Renovierungen bewilligungspflichtig (Ausnahmen bestehen bei Kleinhäusern mit Zustimmung der Anrainer - §20 Anzeigepflichtige Vorhaben). Ebenfalls bewilligungspflichtig sind folgende Nutzungsänderungen:

*„Nutzungsänderungen, die auf die Festigkeit, den Brandschutz, die Hygiene, die Sicherheit von baulichen Anlagen oder deren Teilen von Einfluss sein können oder die Nachbarrechte berühren oder wenn Bestimmungen des jeweils geltenden Raumordnungsgesetzes, des Flächenwidmungsplanes oder des Bebauungsplanes berührt werden können“ [12]*

- **§ 40 Rechtmäßiger Bestand**

Bauliche Anlagen und Feuerstätten welche zum Zeitpunkt der Errichtung nicht über eine Baubewilligung verfügen gelten als rechtmäßiger Bestand, wenn sie vor dem 1. Jänner 1969 errichtet wurden oder zwischen dem 1. Jänner 1969 und 31. Dezember 1984 errichtet wurden und zum Zeitpunkt ihrer Errichtung bewilligungsfähig gewesen wären.

- **§ 43 Allgemeine Anforderungen**

Abgesehen von den allgemeinen bautechnischen Anforderungen wird hier auf die Berücksichtigung des Straßen-, Orts- und Landschaftsbildes und denkmalgeschützter Objekte hingewiesen. Konkrete gestalterische Anforderungen werden nicht genannt.

- **§70 Erschließung**

Der Einbau eines Personenaufzuges ist grundsätzlich ab drei oberirdischen Geschossen erforderlich. Eine Ausnahme sind Gebäude mit nicht mehr als neun Wohnungen je vertikaler Erschließungsachse bei höchstens drei oberirdischen Geschossen, es muss jedoch ein nachträglicher Einbau möglich sein.

- **§76 Barrierefreie Gestaltung von Bauwerken**

Ein Wohngebäude mit mehr als drei Wohnungen sieht mindestens einen stufenlosen Eingang mit den erforderlichen Mindestbreiten vor. In den meisten Fällen verfügen Gründerzeithäuser über 2-3 Stufen im Eingangsbereich plus weitere Stufen bis zum erhöhten Erdgeschoss. Aus diesen Gründen gibt es eine Ausnahme für Altbauten, welche im nächsten Punkt erläutert wird.

- **§97 Baumaßnahmen an Altbauten**

Für Gebäude, die vor dem 1. Jänner 1969 errichtet wurden kann die Baubehörde Erleichterungen gegenüber der allgemeinen bautechnischen Bestimmungen (1. Teil des II. Hauptstücks) für die Schaffung von Aufenthaltsräumen in bestehenden Dachräumen, die Errichtung von Aufzügen und für Zu- und Umbauten vorsehen. Hinsichtlich Standsicherheit, Festigkeit, Brand-, Wärme- und Schallschutz sowie Hygiene müssen die Erleichterungen unbedenklich sein.

- **§98 Sonstige Ausnahmen**

Weitere Ausnahmen von bautechnischen Vorschriften sind bei Vorhaben im Interesse des Ortsbildschutzes, der Altstadterhaltung oder des Denkmalschutzes zugelassen. Standsicherheit, Brandschutz, Hygiene, Gesundheit, Nutzungssicherheit und Nachbarschaftsschutz dürfen wiederum keine Bedenken darstellen.

## **3-2 STEIERMÄRKISCHES RAUMORDNUNGSGESETZ 2010**

---

Das steiermärkische Raumordnungsgesetz (StROG) [13] regelt die örtliche und überörtliche Raumordnung der Steiermark. Die für eine Nachverdichtung in Graz maßgebenden Punkte werden nachstehend erläutert.

- **§ 9 Bausperre**

Zur Sicherung einer Zielsetzung eines zu erlassenden Entwicklungsprogrammes (z.B. Flächenwidmungs- oder Bebauungsplan) können Bausperren erlassen werden. Bei dem Entwurf des „1.0 Räumlichen Leitbildes“ der Stadt Graz hat der Grazer Gemeinderat eine Bausperre erlassen. Demnach durften bis Inkrafttreten des „1.0 räumlichen Leitbildes“ keine dem Leitbild widersprechenden Bewilligungen und behördliche Genehmigungen gemäß § 33, § 18, § 45 und § 47 des Stmk.BauG erteilt werden.

### **Entwicklungskonzept**

Jede Gemeinde hat ein Entwicklungskonzept auf Basis der Prognosen für die Sektoren Wohnen, Gewerbe, Industrie, Handelseinrichtungen und Tourismus aufzustellen und fortzuführen. Ein Teil davon ist das räumliche Leitbild.

Im Kapitel 3-3 und 3-4 werden das Stadtentwicklungskonzept und das räumliche Leitbild weiters erläutert.

### **Flächenwidmungsplan**

Der Flächenwidmungsplan (FLÄWI) besteht aus der Verordnung, der grafischen Darstellung des Flächenwidmungsplans, dem Bebauungsplanzonierungsplan und allfälligen Ergänzungsplänen. Im Bebauungsplanzonierungsplan wird festgelegt für welche Teile des Baulandes durch Verordnung Bebauungspläne zu erlassen sind. Festlegungen des Flächenwidmungsplans werden bei der nächsten regelmäßigen Revision überprüft.

Der Flächenwidmungsplan definiert für alle Flächen des Gemeindegebietes die Nutzungsarten Bauland, Verkehrsflächen und Freiland. Minimale und maximale Bebauungsdichten für alle Grundstücke in allen Baugebieten sind festgelegt. Zusätzlich zur Dichte kann auch die höchste Bauwerksstelle definiert werden. Voraussetzungen für die Unter- bzw. Überschreitung der zulässigen Dichten wird in der Bebauungsdichteverordnung geregelt. Grundsätzlich ist es möglich, aus städtebaulichen Gründen oder aus Gründen des Ortsbildes, eine Überschreitung festzusetzen.

Im Kapitel 3-5 wird genauer auf den Flächenwidmungsplan der Stadt Graz eingegangen.

### **Bebauungsplan**

Bebauungspläne dienen zur Umsetzung des Flächenwidmungsplans. Im Baulandzonierungsplan werden jene Bereiche festgelegt, für die ein Bebauungsplan zu erstellen ist. Nach Ansuchen um Erstellung eines Bebauungsplanes hat die Gemeinde das Verfahren zur Erstellung oder Änderung des Bebauungsplanes unverzüglich einzuleiten und spätestens nach 18 Monaten abzuschließen. Baubewilligungen und Genehmigungen nach § 33 des Stmk. BauG dürfen erst nach Vorliegen des rechtswirksamen Bebauungsplanes erteilt werden. Für Zubauten reicht lt. §40 Abs. 8 ein raumplanerisches Gutachten aus. Im Kapitel 3-5 werden die Bebauungspläne genauer erläutert.



### 3-3 4.02 STADTENTWICKLUNGSKONZEPT GRAZ

Das „4.02 Stadtentwicklungskonzept“ (4.02 STEK) [14] der Stadt Graz skizziert die Entwicklung der kommenden 15 Jahre mit dem Ziel, die Ausweitung der Siedlungsgrenzen durch Nachverdichtung und Umnutzung in infrastrukturell gut erschlossenen Gebieten zu verhindern. Für bestehende, zentrumsnahe oder gut erschlossene Lagen, die ein großes Potential für die Siedlungsentwicklung bergen schafft der Entwicklungsplan den Rahmen für entsprechende Anpassungen des Flächenwidmungsplans.

Das 4.02 Stadtentwicklungskonzept besteht aus 5 Teilen:

- Teil A: Entwicklungsplan und Verordnung
- Teil B: Erläuterungsbericht
- Teil C: Erläuterungen zu den Sachbereichen
- Teil D: Sachbereichskonzepte
- Teil E: Karten und Pläne

Die **Verordnung** zum 4.02 STEK enthält rechtlich verbindliche Festlegungen, welche auf die Fortführung des Flächenwidmungsplanes ausgerichtet sind und klare Vorgaben für die Erstellung von Bebauungsplänen und Beurteilungen im Bauverfahren enthalten.

Für die Nachverdichtung ist **§ 26 Naturraum und Umwelt** Abs. 26 von Bedeutung:

Zum Schutz und der Revitalisierung von Innenhöfen und Vorgärten in geschlossenen Siedlungsbereichen besteht die Pflicht zur Erstellung von Bebauungsplänen für Bereiche mit bestehender oder angestrebter Blockrandbebauung. Die betroffenen Gebiete mit ihren Kriterien sind im FLÄWI festgelegt.

Im **Entwicklungsplan** sind die Inhalte des regionalen Entwicklungsprogrammes festgelegt. Wohngebiete sind nach ihrer Dichte in Zonen eingeteilt. Funktionen und Nutzungen sind für einen langfristigen Zeitraum festgelegt. Die Ausdehnung des Siedlungsgebietes werden durch absolute und relative Entwicklungsgrenzen festgelegt (siehe Abbildung 3-1).

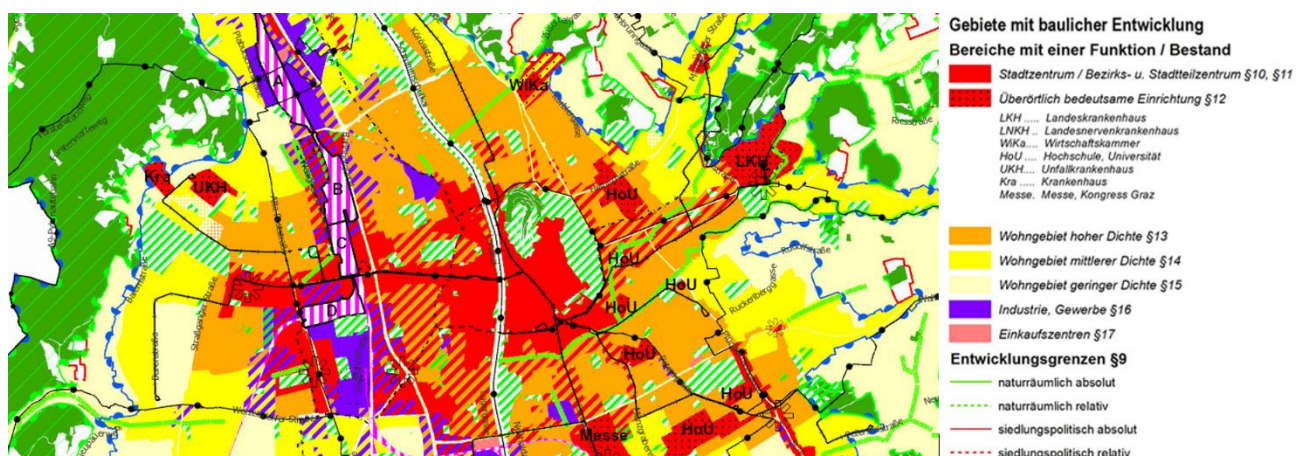


Abbildung 3-1 Entwicklungsplan [14]

### **3-4 1.0 RÄUMLICHES LEITBILD DER LANDESHAUPTSTADT GRAZ**

---

Das 1.0 Räumliche Leitbild (1.0 RLB) [15] wird nach dem Steiermärkischen Raumordnungsgesetz geregelt und ist seit 27. Februar 2020 rechtskräftig. Die Festlegungen aus dem STEK und dem FLÄWI werden konkretisiert und bilden die Grundlage für die Bebauungsplanung und gutachterliche Tätigkeiten. Geltungsbereich ist die gesamte Stadt Graz, ausgenommen sind zum Auflagebeschluss bereits bestehende rechtswirksame Bebauungspläne.

Zur Sicherung der Zielsetzungen des 2. Entwurfs des 1.0 RLB wurde am 8.2.2018 eine Bausperre verhängt. Demnach dürfen für raumbedeutsame Maßnahmen Bewilligungen und Genehmigungen gemäß § 33 (Anzeigeverfahren), Festlegungen gemäß § 18 (Festlegungen der Bebauungsgrundlagen im Bauland für den Einzelfall) Stmk BauG und Bewilligungen von Teilungen (§ 45) und Vereinigungen (§ 47) von Grundstücken gemäß StROG nicht erteilt werden, wenn sie dem 1.0 RLB widersprechen [16].

Bestandteile des 1.0 Räumliche Leitbildes:

- **Verordnungswortlaut**
- **Grafische Darstellung der Bereichstypen - Hauptplan**
  - Deckplan 1 – Teilraumabgrenzungen
- **Erläuterungsbericht**
  - Karte 1: Stadtmorphologie
  - Karte 2: Übersicht Maximale Geschoßanzahl
  - Karte 3: Übersicht Offene Erschließungen
  - Karte 4: Übersicht Werbeanlagen

## § 4 Bereichstypen

Das gesamte Stadtgebiet wird in 13 Bereichstypen gegliedert und charakterisiert. Für diese Arbeit relevante Bereichstypen sind:

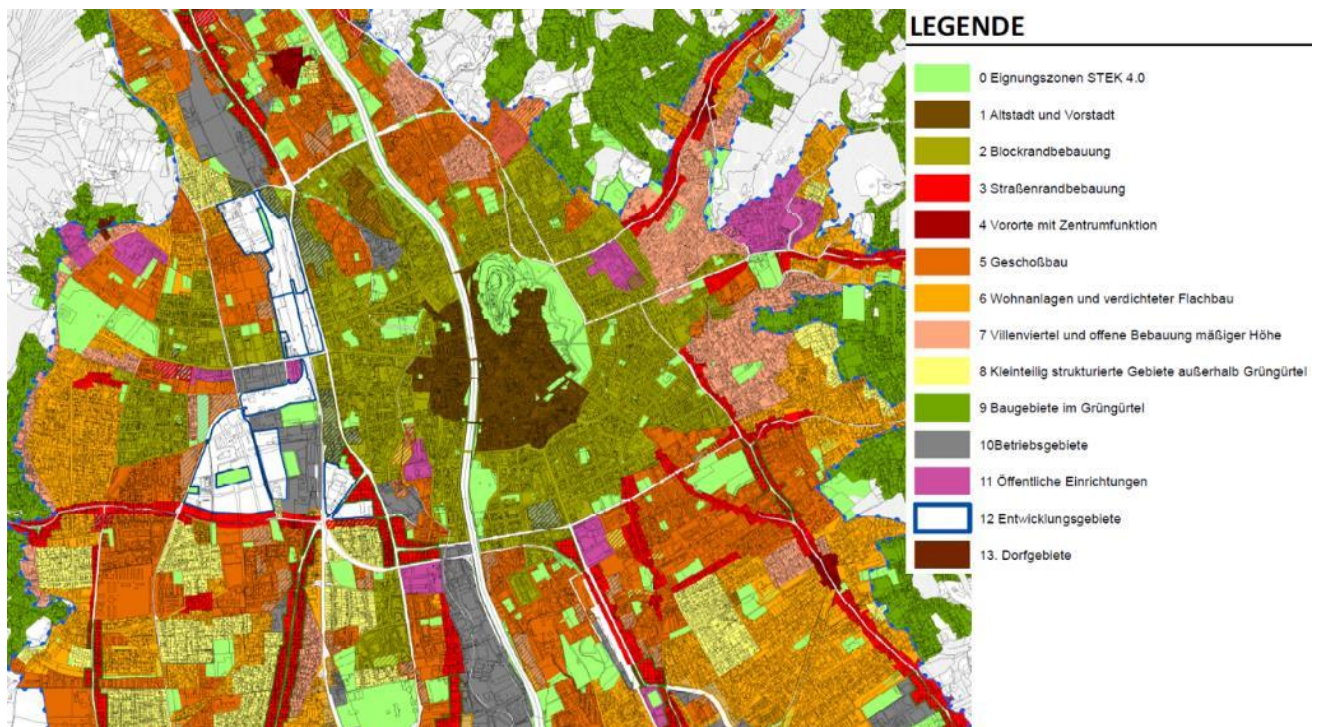
„(1) Altstadt und Vorstadt

a. *Charakteristik: weitgehend geschlossene, die Straßen- und Platzräume begrenzende dichte Bebauung, einheitliche Dachformen, starke Funktionsdurchmischung, engmaschiges öffentliches Fußwegenetz, attraktive öffentliche Freiräume.*

(2) Blockrandbebauung

a. *Charakteristik: straßenbegleitende und straßenraumbildenden Bebauung mit begrünten Höfen und teilweise mit begrünten Vorgärten, meist durchgehende Bauflucht, häufig einheitliche Traufhöhe.“ [15]*

Die verschiedenen Bereichstypen werden im Hauptplan dargestellt. Ein Ausschnitt ist in der nachstehenden Abbildung 3-2 ersichtlich.



**Abbildung 3-2 Ausschnitt Hauptplan-Bereichstypen [15]**

**§ 6 Festlegungen zu den Bereichstypen (Gesamtstadt)**

Um die Charakteristika der einzelnen Bereichstypen zu erhalten oder zu verbessern, werden Festlegungen zu den Bereichstypen definiert:

Bereichstyp	Rahmen der Geschosßzahl	Bebauungsweise	Lage zur Straße	Funktionsdurchmischung	Begrünung, Einfriedungen, Sichtschutz u.a.	Zulässige Formen der Parkierung	Sonstige Festlegungen
§4 Abs 1 (Altstadt und Vorstadt)	-	geschlossen, gekuppelt	straßenraumbildend	Im Zuge von Bebauungsplänen verbindliche Festlegungen treffen	-	Tiefgarage (im Neubaufall)	Ausschluss von straßenseitigen offenen Erschließungen
§4 Abs 2 (Blockrandbebauung)	-	geschlossen	straßenraumbildend, straßenbegleitend	Im Zuge von Bebauungsplänen verbindliche Festlegungen treffen	Begrünung der Vorgärten und Innenhöfe	Tiefgarage (im Neubaufall), keine Abstellflächen für Kraftfahrzeuge in Innenhöfen und Vorgärten	Ausschluss von straßenseitigen offenen Erschließungen, Ausschluss von straßenbegleitenden Lärmschutzwänden

**Tabelle 3-1 Festlegungen Bereichstypen [15]**

Im **Erläuterungsbericht** zum 1.0 RLB werden diese Festlegungen der Bereichstypen konkretisiert und weitere Ziele definiert.

Bereichstyp 1: Altstadt und Vorstadt

Die Geschosßzahl wird nicht verbindlich festgelegt, jedoch wird ein Richtwert von 2 bis 5 in Abhängigkeit gebietsbezogener einheitlicher Merkmale (z.B. Traufenhöhen) angegeben.

Relevante Ziele:

- Nachverdichtung durch Zubauten unter Beachtung der städtebaulichen Gegebenheiten (z.B. Dachgeschosßausbauten, Lückenschlüsse, udgl.),
- Beachtung der Vorgaben des UNESCO-Weltkulturerbes und der Altstadtschutzzone,
- Weiterführung der homogenen Dachlandschaftsgestaltung (Dachform, Dachdeckung) und
- Beseitigung von strukturfremden Elementen (z.B. Hofentkernung).

Bereichstyp 2: Blockrandbebauung

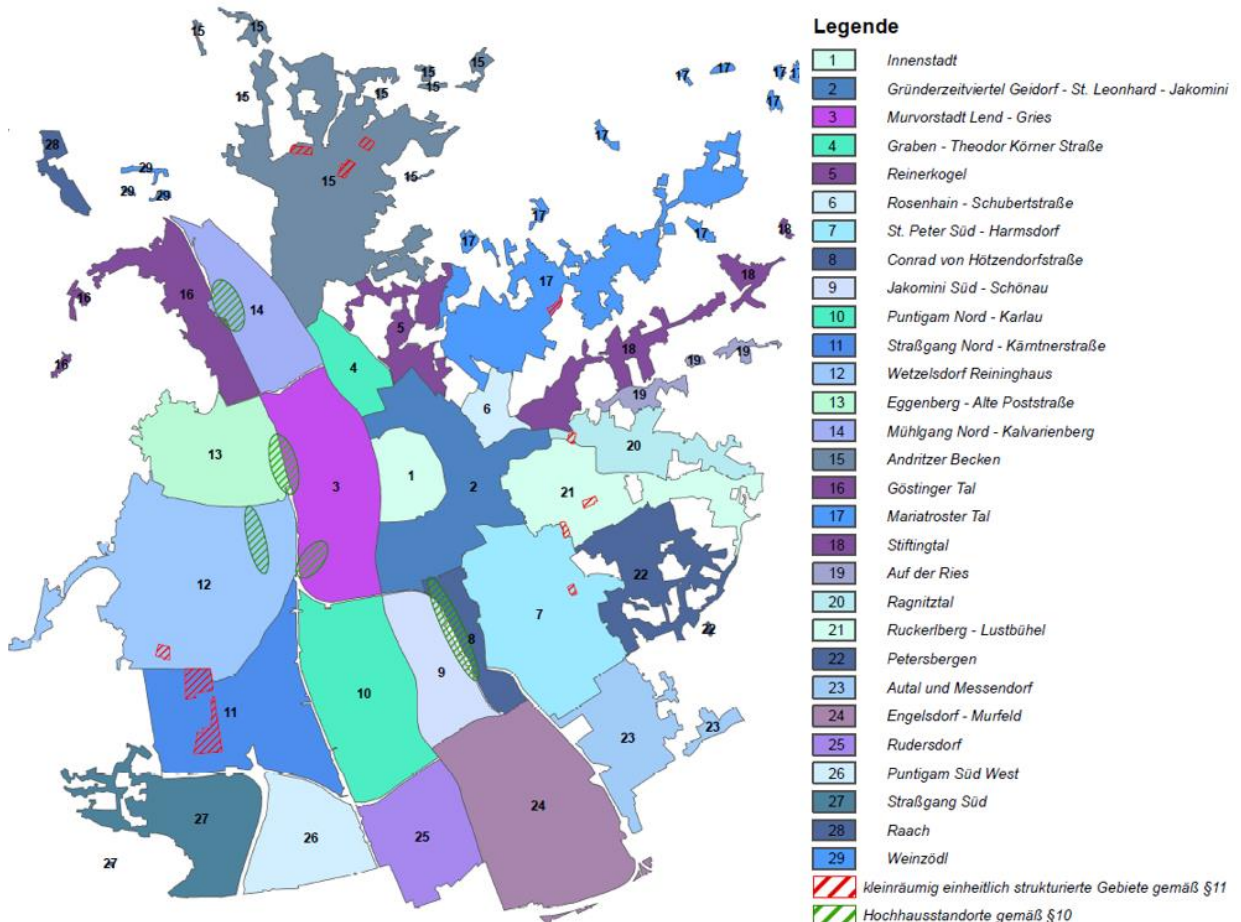
Der nicht verbindliche Richtwert für die Geschosßzahl beträgt 3 bis 5 und orientiert sich an der Breite des bestehenden Straßenquerschnitts, um ausreichende Belichtung zu gewährleisten.

Relevante Ziele:

- Behutsame Nachverdichtung bei untergenutzten Objekten,
- Lückenschlüsse zur Ensembleergänzung und Lärmabschottung,
- Entsiegelungsmaßnahmen in Innenhöfen und Vorgärten forcieren und
- Erhalt von prägenden, baukulturell wertvollen Solitärbauten.

## § 7 Teilraumgliederung

Das gesamte Gebiet wird zusätzlich in 29 Teilräume unterteilt, um diese individuell betrachten und auf Qualitäten und Defizite besser eingehen zu können. Die Teilräume werden im Deckplan 1 dargestellt (siehe Abbildung 3-3).



**Abbildung 3-3 Deckplan 1 Teilraumabgrenzungen [15]**

## § 8 Festlegungen zu den Bereichstypen (Teilräume)

Die Festlegungen für Bereichstypen werden durch Festlegungen für Teilräume teilweise eingeschränkt oder ergänzt. Die Bereichstypen 1 (Altstadt und Vorstadt) und 2 (Blockrandbebauung) liegen in den Teilräumen 1 (Innenstadt), 2 (Gründerzeitviertel Geidorf – St. Leonhard – Jakomini) und 3 (Murvorstadt Lend – Gries). Für den Bereichstyp 1 und 2 geben diese Teilräume jedoch keine weiteren Festlegungen vor.

## § 9 Ausnahmebestimmungen

Abweichungen von Bestimmungen gemäß § 6 und § 8 können genehmigt werden, wenn:

*„...das charakteristische Erscheinungsbild des Bereichstypen aufgrund der bestehenden Parzellierung nur durch eine andere als die festgelegte Bauungsweise erreichbar ist.“ [15]*

In Bauverfahren ist dazu ein positives städtebauliches Gutachten erforderlich.

### 3-5 4.0 FLÄCHENWIDMUNGSPLAN DER LANDESHAUPTSTADT GRAZ

Der Flächenwidmungsplan (4.0 FLÄWI) [17] ist eine Verordnung gemäß § 25 des StROG und besteht aus:

- dem Verordnungswortlaut
- dem Flächenwidmungsplan (graphische Darstellung)
  - den vier Deckplänen:
    1. Bebauungsplanzonierungsplan
    2. Beschränkungszonen für die Raumheizung
    3. Hochwasserabfluss
    4. Baulandmobilisierungsplan
- und dem Erläuterungsbericht inkl. diverser Kartendarstellungen

#### Verordnung

§ 4 Bebauungsplanzonierung besagt, dass für Flächen, für die gemäß Bebauungsplanzonierungsplan ein Bebauungsplan erforderlich ist, Baubewilligungen sowie Genehmigungen nach § 33 Stmk BauG erst nach Vorliegen eines rechtswirksamen Bebauungsplanes erteilt werden dürfen. Gemäß 4.0 STEK § 26 Abs 26 ist zum Schutz der Innenhöfe in geschlossenen Siedlungsbereichen ein Bebauungsplan zu erstellen. Zur Schließung von Baulücken ist ein raumplanerisches Gutachten ausreichend.

#### Graphische Darstellung - Flächenwidmungsplan

Die im StROG definierten Flächen (§ 30 Baulandarten, § 32 Verkehrsflächen, § 33 Freiland) werden im Flächenwidmungsplan farblich dargestellt (siehe Abbildung 3-4). Weiters sind zulässige Dichten der Grundstücke und rechtswirksame überörtliche Planungen (z.B. Denkmalgeschützte Objekte oder Schutzgebiete) eingezeichnet.

##### BAULAND §30

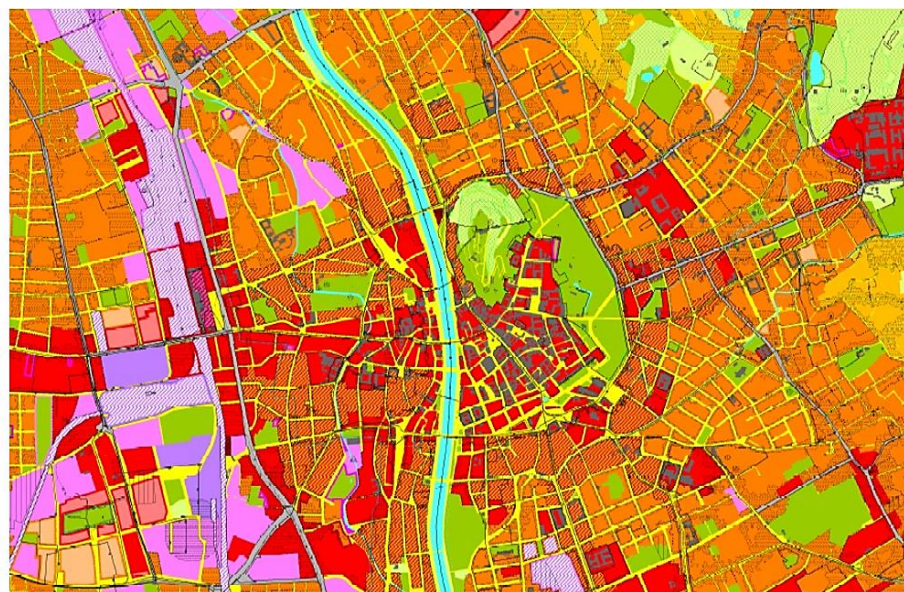
	WR	Reines Wohngebiet
	WA	Allgemeines Wohngebiet
	DO	Dorfgebiet
	KZ	Kerngebiet
	KZ1EA	Kerngebiet mit Einkaufszentrumausschluss
	E1	Einkaufszentrum 1
	E2	Einkaufszentrum 2
	KU	Kurgebiet
	EH	Erholungsgebiet
	GG	Gewerbegebiet
	I1	Industrie- und Gewerbegebiet 1

##### Freiland §33

 Landwirtschaftlich genutzte Fläche

##### Verkehrsflächen §

 Verkehrsfläche



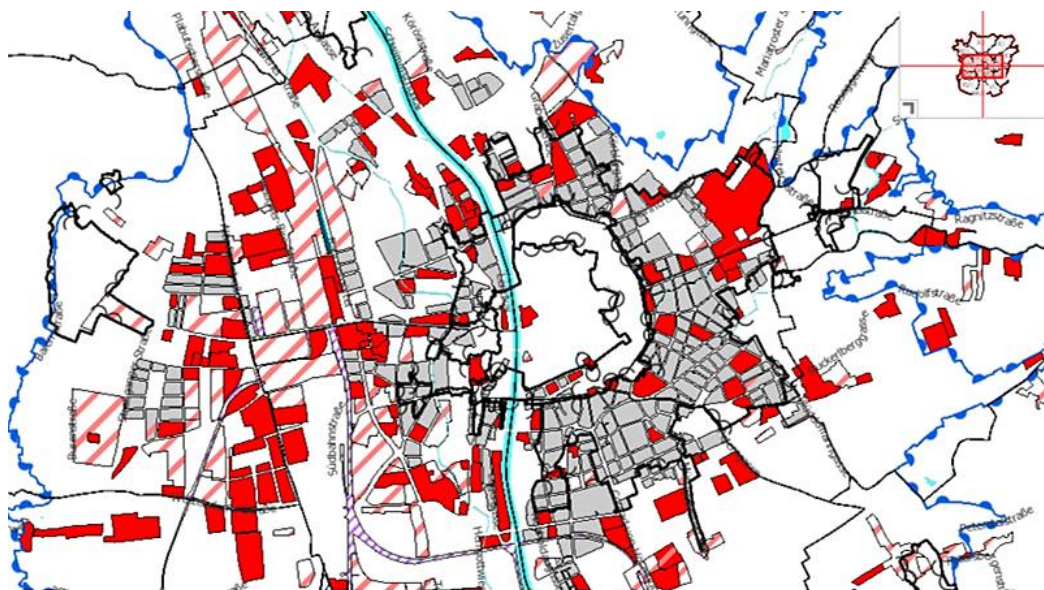
**Abbildung 3-4 Ausschnitt Flächenwidmungsplan 4.0 mit Ausschnitt der Legende [17]**

### Deckplan 1 Baulandzonierungsplan

Der Baulandzonierungsplan (gemäß § 24 Abs. 4 und § 40 Abs. 1 StROG 2010) bietet eine Übersicht der bestehenden, erforderlichen und in Auftrag gegebenen Bebauungspläne.

Geschlossene Siedlungsbereiche mit Innenhöfen und Vorgärten (für jene gemäß 4.0 STEK, §26 Abs.26 in jedem Fall ein Bebauungsplan zu erstellen ist) sind gesondert in Grau hervorgehoben.

Im Bereich des Gründerzeitviertels sind noch wenige Bebauungspläne vorhanden, aber fast flächendeckend verpflichtend (siehe Abbildung 3-5).



**Bebauungsplan (B):**

- BEBAUUNGSPLAN, RECHTSWIRKSAM (Ordnungsnummer)
- BEBAUUNGSPLAN, IN AUFLAGE (Ordnungsnummer)
- BEBAUUNGSPLAN ERFORDERLICH
- BEBAUUNGSPLAN, IN AUFLAGE Geschlossene Siedlungsbereiche mit Innenhöfen und Vorgärten (gemäß 4.0 STEK, §26 Abs.26)
- BEBAUUNGSPLAN ERFORDERLICH Geschlossene Siedlungsbereiche mit Innenhöfen und Vorgärten (gemäß 4.0 STEK, §26 Abs.26)

**Bebauungsrichtlinie (R):**

- BEBAUUNGSRICHTLINIE, RECHTSWIRKSAM (Ordnungsnummer)

**Ersichtlichmachungen:**

- Gutachten nach GAEG 2008 innerhalb der Grazer Altstadtsschutzzonen (1-5)
- 4.0 STEK der Landeshauptstadt Graz GRÜNGÜRTEL §8
- 4.0 Flächenwidmungsplan der Stadt Graz BAHN

**Abbildung 3-5: Ausschnitt Baulandzonierungsplan [18]**

## Bebauungsplan

Der Bebauungsplan dient zur Sicherstellung der geplanten Siedlungsentwicklung. Er soll einen sensiblen Umgang des Bestandes mit bestmöglicher Neuentwicklung berücksichtigen.

In der Stadt Graz sind für wenige Blöcke Bebauungspläne vorhanden. In Gebieten der Blockrandbebauung ist gemäß §26 Abs.26 des STEK 4.02 ein Bebauungsplan erforderlich. Bei Zubauten würde lt. §40 Abs. 8 des StROG ein Gutachten eines Raumplaners ausreichen, jedoch wird in der Regel ein Bebauungsplan erstellt.

Gegebene Höhen und Baufluchtlinien werden als Grenzwert für Lückenschlüsse angegeben, um Homogenität zu bewahren (siehe Abbildung 3-6).



**Abbildung 3-6: Bebauungsplan Beispiel [19]**

## **Deckplan 2 Raumheizungen**

Für das gesamte Stadtgebiet inkl. der Gründerzeitviertel gilt die Beschränkungszone für Raumheizungen. Somit dürfen bei Neuerrichtungen oder Austausch von Heizungsanlagen über 8KW Nennheizleistung keine festen Brennstoffe verwendet werden.

## **Deckplan 3 Hochwassergefährdungsbereiche**

Einige Bereiche der Gründerzeitviertel liegen in hochwassergefährdeten Bereichen und sind daher im Bauverfahren gemäß §5 Bauplatzzeichnung des Stmk. BauG anzuführen.

## **Erläuterungsbericht und diverse Karten**

Dem Flächenwidmungsplan sind der Erläuterungsbericht und diverse Karten angehängt. Aus dem Abwasserplan ist ersichtlich, dass im Gründerzeitviertel ein öffentlicher Kanalanschluss flächendeckend vorhanden ist. Dies ist für die Bauplatzzeichnung relevant. Den Verkehrslärmkatastern sind die unterschiedlichen Lärmpegel für die Ermittlung der notwendigen Schallschutzanforderungen der Außenbauteile gemäß OIB 5 Schallschutz zu entnehmen.



### 3-6 BEBAUUNGSDICHTEVERORDNUNG 1993

Die Bebauungsdichteverordnung [20] ist eine Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung mit der Mindest- und Höchstwerte der Bebauungsdichte für Bauten festgelegt werden.

In **§1 Begriffsbestimmungen** werden relevante Begriffe definiert:

„Die **Bebauungsdichte** ist die Verhältniszahl, die sich aus der Teilung der Gesamtfläche der Geschosse durch die zugehörige Bauplatzfläche ergibt“ [20].

„Als **Gesamtfläche** der Geschosse gelten...

...bei Dachraumausbauten mit abgeschrägten Decken jene Flächen, über welchen die lichte Raumhöhe mehr als 1,50 m beträgt“ [20].

In **§2 Bebauungsdichte** werden Mindest- und Höchstwerte der Bebauungsdichte bestimmt.

z.B.:

„a) reine Wohngebiete	0,2 - 0,8
b) allgemeine Wohngebiete	0,2 - 1,4
c) Kerngebiete	0,5 - 2,5“ [20]

Die Festlegung für einzelne Grundstücke ist dem Flächenwidmungsplan zu entnehmen.

#### §3 Überschreitungen:

(1) „Die im Flächenwidmungsplan und in § 2 angegebenen Höchstwerte der Bebauungsdichte können durch Festsetzungen in einem Bebauungsplan bei Vorliegen von städtebaulichen Gründen oder aus Gründen des Ortsbildes überschritten werden. Als derartige Gründe kommen insbesondere jene der Verkehrserschließung einschließlich der Vorsorge für den ruhenden Verkehr, weiters der Versorgung durch öffentliche Einrichtungen, der Einfügung in die umgebende Bebauung, Ensemblekomplettierung, städtebauliche Schwerpunktsetzungen, Dachraumausbauten und Zubauten in Betracht. Ist nach der Bebauungsplanungszonierung ein Bebauungsplan nicht zu erlassen, so kann die Überschreitung im Baubewilligungsverfahren bei Vorliegen der genannten Gründe festgesetzt werden; dafür ist ein Gutachten eines Sachverständigen auf dem Gebiet der Raumplanung einzuholen“ [20].

Somit ist eine Überschreitung im Falle eines Dachgeschossausbaus oder einer Aufstockung mit Einfügung in die umgebende Bebauung oder als Ensemblekomplettierung möglich.

### **3-7 STEIERMÄRKISCHE BAUTECHNIKVERORDNUNG 2015**

---

Mit der Steiermärkischen Bautechnikverordnung 2015 (StBTV) [21] wurden die OIB-Richtlinien 2015 rechtswirksam zum Stand der Technik erhoben.

Auf die folgenden OIB-Richtlinien wird im nächsten Kapitel (3-8) eingegangen:

- OIB 1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit
- OIB 2: Brandschutz
  - OIB 2.1: Brandschutz bei Betriebsbauten
  - OIB 2.2: Brandschutz bei Garagen, überdachten Stellplätzen und Parkdecks
  - OIB 2.3: Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22m
- OIB 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz
- OIB 4: Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit
- OIB 5: Schallschutz
- OIB 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz

### 3-8 OIB RICHTLINIEN 1 BIS 6

---

Mittlerweile haben alle Bundesländer die OIB-Richtlinien für verbindlich erklärt.

#### 3-8.1 OIB – RICHTLINIE 1 „MECHANISCHE FESTIGKEIT UND STANDSICHERHEIT“ [22]

##### Bestandserhebung:

Für Änderungen an Bestandsgebäuden gilt gemäß 2.1.3:

*„Bei Änderungen an bestehenden Bauwerken mit Auswirkungen auf bestehende Tragwerke sind für die bestehenden Tragwerksteile Abweichungen vom aktuellen Stand der Technik zulässig, sofern das erforderliche Zuverlässigkeitsniveau des rechtmäßigen Bestandes nicht verschlechtert wird.“ [22]*

Gemäß dem Leitfaden zur Richtlinie ist eine Erhebung des IST-Zustandes des Bestandsgebäudes durchzuführen. Je nach Baumaßnahme sind unterschiedliche Stufen (1 bis 3) der Bestandsaufnahme vorgegeben. Aufstockungen sind gemäß der aufwendigsten Stufe aufzunehmen, da dies zu einer wesentlichen Lasterhöhung führt. Wesentliche Bestandteile einer vollständigen Bestandserhebung der Stufe 3 sind folgende:

- Fundierung
- Wände und Stützen
- Mittelmauer – Abgasanlagen (früher: Rauchfang, Abgasfang, Kamin) und umschließendes Mauerwerk (v. a. im Hinblick auf die vertikale Lastableitung)
- Aussteifungssituation (Zwischenwände, Auswechslungen, Verschließungen)
- Querschnittsschwächungen (z.B. infolge Leitungsführungen, Installationen etc.)
- Decken und Träger (Zustand, Konstruktion)
- Dachstuhl und Gesimse (nur soweit diese erhalten bleiben sollen)
- Haupttreppen

Die Tragfähigkeit wird nach ÖNORM B 4008-1 bewertet und abschließend wird ein Gutachten erstellt.

##### **Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit – Umgang mit bestehenden Hochbauten**

Bestehende Zuverlässigkeitsniveaus dürfen grundsätzlich nicht verschlechtert werden, außer der aktuelle Stand der Technik wird trotzdem eingehalten.

Der rechtmäßige Bestand im Sinne der OIB-Richtlinie 1 setzt einen Konsens der Baubewilligung und dem Zustand voraus, erlaubt aber andere Bestimmungen landesrechtlicher Vorschriften (Stmk BauG §40 Rechtmäßiger Bestand). Das Zuverlässigkeitsniveau des rechtmäßigen Bestandes gemäß OIB Leitfaden kann bzgl. außergewöhnlicher Einwirkungen oder Erdbeben vom aktuellen Stand der Technik abweichen, wenn es dem Stand der Technik zum Zeitpunkt der Baubewilligung bzw. Errichtung entspricht. Diese Ausnahme gilt nicht für die Grundkombination der Lastfälle Eigengewicht, Nutzlasten, Wind und Schnee.

### 3-8.2 OIB – RICHTLINIE 2 „BRANDSCHUTZ“ [23]

Die OIB Richtlinie 2 regelt die brandschutztechnischen Maßnahmen um die Tragfähigkeit des Bauwerks während eines bestimmten Zeitraums zu erhalten. Die Ausbreitung von Feuer und Rauch ist durch definierte Brandabschnitte abhängig von der Gebäudeklasse zu begrenzen. Die Gebäudeklassen 1-5 werden durch die Anzahl an freistehenden Seiten, dem Fluchtniveau, der Anzahl der oberirdischen Geschosse und deren Brutto-Grundfläche definiert.

Begriffsbestimmungen [24]:

#### **„Fluchtniveau**

*Höhendifferenz zwischen der Fußbodenoberkante des höchstgelegenen oberirdischen Geschosses und der an das Gebäude angrenzenden Geländeoberfläche nach Fertigstellung im Mittel.*

#### **Geschoß, oberirdisches**

*Geschoß, dessen äußere Begrenzungsflächen in Summe zu mehr als der Hälfte über dem anschließenden Gelände nach Fertigstellung liegen. Nicht zu den oberirdischen Geschossen zählen solche, in denen sich keine Wohnungen, Betriebseinheiten oder Teile von solchen befinden (z.B. nicht ausgebaute Dachräume, Triebwerksräume, Räume für haustechnische Anlagen).“*

#### **Brandabschnitte**

Gründerzeithäuser haben im Regelfall 2 bis 4 Geschosse mit Geschosshöhen von rund 3,5 bis 4 m und sind somit üblicherweise der Gebäudeklasse 4 oder 5 zuzuordnen.

In der OIB 2 Punkt 3.1.1. wird für reine Wohnnutzung die Anzahl der oberirdischen Geschosse je Brandabschnitt nicht begrenzt, eingeschränkt ist lediglich die Längsausdehnung des Brandabschnittes mit 60m.

#### **Brandwiderstandsdauer**

Anforderungen an Bauteile werden durch die Brandwiderstandsdauer bestimmt.

Die konkreten Anforderungen an das Brandverhalten von Bauteilen sind in den Tabellen 1a bis 3 der OIB 2 in Abhängigkeit von der Gebäudeklasse definiert.

#### **Trennwände und Trenndecken**

Bis auf GK1 sind alle Wohnungen untereinander sowie zu anderen Gebäudeteilen durch Trennwände und Trenndecken zu trennen. Deren Anforderungen sind der Tabelle 1b OIB 2 zu entnehmen. Die Anforderungen an Trennwände zu Treppenhäuser sind in den Tabellen 2a, 2b und 3 definiert [23].

#### **Erleichterungen**

Die Steiermärkische Bautechnikverordnung [21] ermöglicht unter §1 Abs. 3 Erleichterungen in Bezug auf die Feuerwiderstandsklassen bei dreiseitig freistehenden Wohngebäuden. Gründerzeitblöcke sind jedoch in der Regel nicht dreiseitig freistehend.

### 3-8.3 OIB – RICHTLINIE 3 „HYGIENE, GESUNDHEIT UND UMWELTSCHUTZ“ [25]

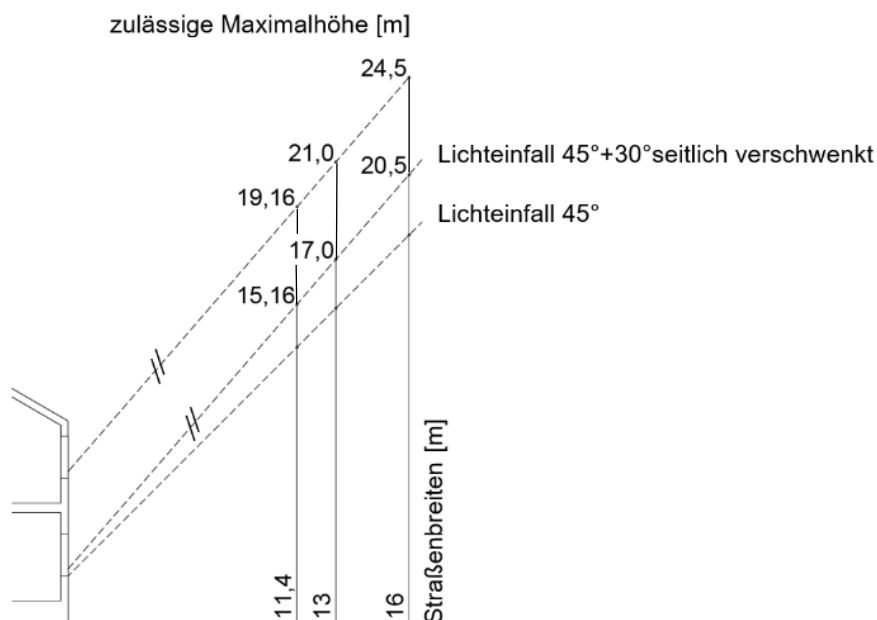
Diese Richtlinie beschreibt grundlegende Anforderungen an Bauwerke und deren Ausstattungen, wie Sanitäreinrichtungen, Trinkwasser, Abwasser oder Belichtung und Lüften.

#### Belichtung

Die Lichteintrittsfläche eines Aufenthaltsraumes muss mind. 12% der Bodenfläche des Raumes betragen. Als solcher ist definiert:

*„Aufenthaltsraum: Ein Raum, der zum länger dauernden Aufenthalt von Personen bestimmt ist (z.B. Wohn- und Schlafräum, Wohnküche, Arbeitsraum, Unterrichtsraum), nicht dazu zählen jedenfalls Badezimmer und Toiletten.“ [24]*

Ein ausreichender Lichteinfall im Winkel von  $45^\circ$  zur Horizontalen muss gegeben sein, jedoch darf er um  $30^\circ$  seitlich verschwenkt sein.



**Abbildung 3-7 zulässige Maximalhöhen abhängig von Straßenbreiten [5]**

Parapethöhen von Fenstern in Erdgeschosswohnungen betragen von Straßenoberkante aus rund 2 m. Mit dem notwendigen Lichteinfallswinkel ergibt sich bei einer Straßenbreite von 11,4 m eine zulässige Traufenhöhe von 15,16 m (mehr als der durchschnittliche Bestand). Wenn die Erdgeschosse nicht als Wohnungsflächen genutzt werden, sind Höhen von 19,16 m zulässig.

#### Raumhöhen

Aufenthaltsräume von Wohnungen müssen über eine lichte Raumhöhe von mind. 2,5 m verfügen. Bei Aufenthaltsräumen mit geneigten Dachflächen muss diese Mindesthöhe über die Hälfte der Fußbodenfläche vorliegen.

#### Bauführungen im Bestand

Abweichungen von den aktuellen Anforderungen dieser Richtlinie sind bei Änderungen an bestehenden Bauwerken zulässig, sofern das ursprüngliche Anforderungsniveau des rechtmäßigen Bestandes nicht verschlechtert wird.

### **3-8.4 OIB - RICHTLINIE 4 „NUTZUNGSSICHERHEIT UND BARRIEREFREIHEIT“ [26]**

Aufgrund der möglichen Ausnahmen in §76 und §97 des Steiermärkischen Baugesetz ist davon auszugehen, dass im Falle von Aufstockungen oder Dachgeschossausbauten im Gründerzeitobjekt keine Barrierefreiheit erforderlich ist.

#### **Personenaufzüge**

Gemäß steiermärkischem Baugesetz ist die Möglichkeit eines nachträglichen Lifteinbaus einzuplanen.

Bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m ist ein Personenaufzug erforderlich und bei mehr als 32 m sind zwei Personenaufzüge vorzusehen.

#### **Bauführungen im Bestand**

Abweichungen von den aktuellen Anforderungen dieser OIB-Richtlinie sind bei Änderungen an bestehenden Bauwerken zulässig, sofern das ursprüngliche Anforderungsniveau des rechtmäßigen Bestandes nicht verschlechtert wird.

### **3-8.5 OIB - RICHTLINIE 5 „SCHALLSCHUTZ“ [27]**

Die OIB 5 regelt den Schallschutz von Aufenthalts- zu Nebenräumen, die anderen Nutzungseinheiten im Gebäude, benachbarten Gebäuden oder von außen. Für Planung von Wand- und Deckenaufbauten ist der Schallschutz ein grundlegender Parameter.

#### **Anforderungen an den Schallschutz von Außenbauteilen**

Der gegebene Außenlärmpegel des jeweiligen Grundstückes kann aus den Karten 2A (Verkehrslärmkataster – Straße/Nacht) und 2C (Verkehrslärmkataster – Straße/Tag) des 4.0 Flächenwidmungsplan entnommen werden.

Basierend auf dem Außenlärmpegel ist die mindesterforderliche Schalldämmung von Außenbauteilen für Wohngebäude der Tabelle der OIB 5 zu entnehmen.

Die Anforderungen an den Luftschallschutz und Trittschallschutz in Gebäuden sind ebenfalls in den Tabellen der OIB 5 enthalten.

Die OIB 5 lässt bei Altbauten keine Ausnahmen oder Abweichungen zu.

### 3-8.6 OIB - RICHTLINIE 6 „ENERGIEEINSPARUNG UND WÄRMESCHUTZ“ [28]

Die OIB 6 definiert die Anforderungen an konditionierte Gebäude und fordert grundsätzlich die Anfertigung eines Energieausweises.

#### Ausnahmen

*„Auf Gebäude und Gebäudeteile, die als Teil eines ausgewiesenen Umfelds oder aufgrund ihres besonderen architektonischen oder historischen Wertes offiziell geschützt sind, gelten die Anforderungen dieser Richtlinie nicht, soweit die Einhaltung dieser Anforderungen eine unannehmbare Veränderung ihrer Eigenart oder ihrer äußeren Erscheinung bedeuten würde. Das Erfordernis der Ausstellung eines Energieausweises bleibt davon unberührt“ [28].*

#### Anforderungen an Gebäude

Der Nachweis kann über den Endenergiebedarf oder über den Gesamtenergieeffizienz-Faktor basierend auf dem Referenzklima erfolgen. Bei größeren Renovierungen oder bei Einzelmaßnahmen können sich Anforderungen ändern, sollten bautechnische oder baurechtliche Gründe deren Erfüllung entgegenstehen.

- **Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile beim Neubau**

Die die nicht zu überschreitenden Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) von Bauteilen beim Neubau sind in der OIB 6 unter Punkt 4.4 der Tabelle zu entnehmen. Dachschrägen mit einer Neigung von mehr als 60° (gegenüber der Horizontalen) gelten als Wände.

Diese Anforderungen gelten gemäß StBTV §1 Abs. 2 auch bei Zubauten und bestehenden Gebäuden soweit durch Nutzungsänderungen (§19 Bewilligungspflichtige Vorhaben Stmk BauG) Wohnungen geschaffen werden [21].

- **Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile bei Einzelmaßnahmen an der Gebäudehülle**

Diese Anforderungen gelten gemäß StBTV §1 Abs. 2 auch für bestehende Gebäude, wenn Wohnungen oder konditionierte Nicht-Wohngebäude durch Nutzungsänderung (§ 19 Z. 2 des Stmk BauG) geschaffen werden [21].

- **Schadensbildende Kondensation und Risiko zur Schimmelbildung**

Bei Neubau und Renovierungen ist die schadensbildende Kondensation und das Risiko zur Schimmelbildung an der inneren Bauteiloberfläche sowie die schadensbildende Kondensation im inneren von Bauteilen zu vermeiden.

- **Sommerlicher Wärmeschutz**

Bei Neubauten und größeren Renovierungen von Wohngebäuden muss nachgewiesen werden, dass die sommerliche Überwärmung vermieden wird. Der (standortabhängige Tagesmittelwert)/3 + 21,8° gilt als Grenzwert. Für Dachgeschossausbauten ist dies von großer Bedeutung.

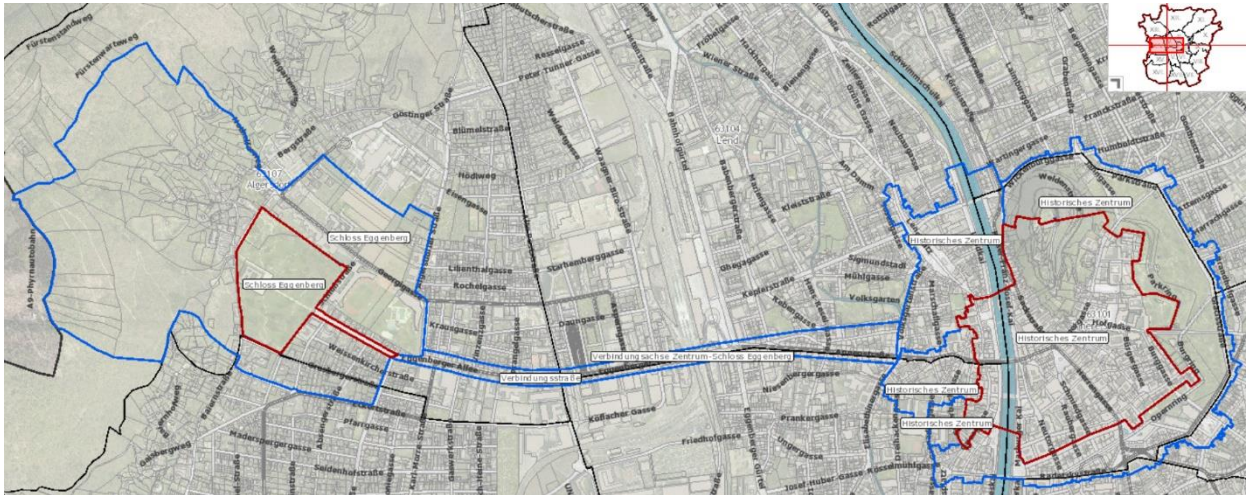
- **Anforderungen an die Wahl der eingesetzten Energieträger**

Bei Neubau und größerer Renovierung müssen hocheffiziente alternative Energiesysteme in Betracht gezogen werden. Die Versorgung mit Fernwärme gilt als hocheffizientes Energiesystem und wird im Gründerzeitviertel flächendeckend zur Verfügung gestellt.

### 3-9 UNESCO WELTKULTURERBE

Siehe auch [29]

Das Weltkulturerbe "Historische Altstadt von Graz" entspricht der Kernzone der Altstadt und der Zone „Schloss Eggenberg“ (siehe Abbildung 3-8). Die dazugehörige Pufferzone dient zum Schutz der Kulissenwirkung. Für die Kernbereiche und in modifizierter Form auch für die Pufferzone gelten Maßnahmen eines für das Weltkulturerbe erstellten Managementplanes.



**Abbildung 3-8: Kern- und Pufferzone UNESCO Weltkulturerbe [30]**

Der Managementplan definiert einen generellen Handlungsleitfaden mit empfehlendem Charakter in strukturellen Rahmenbedingungen. Die Maßnahmen beziehen sich größtenteils auf die Vorgaben der Schutzzonen des Grazer Altstadterhaltungsgesetzes 2008.

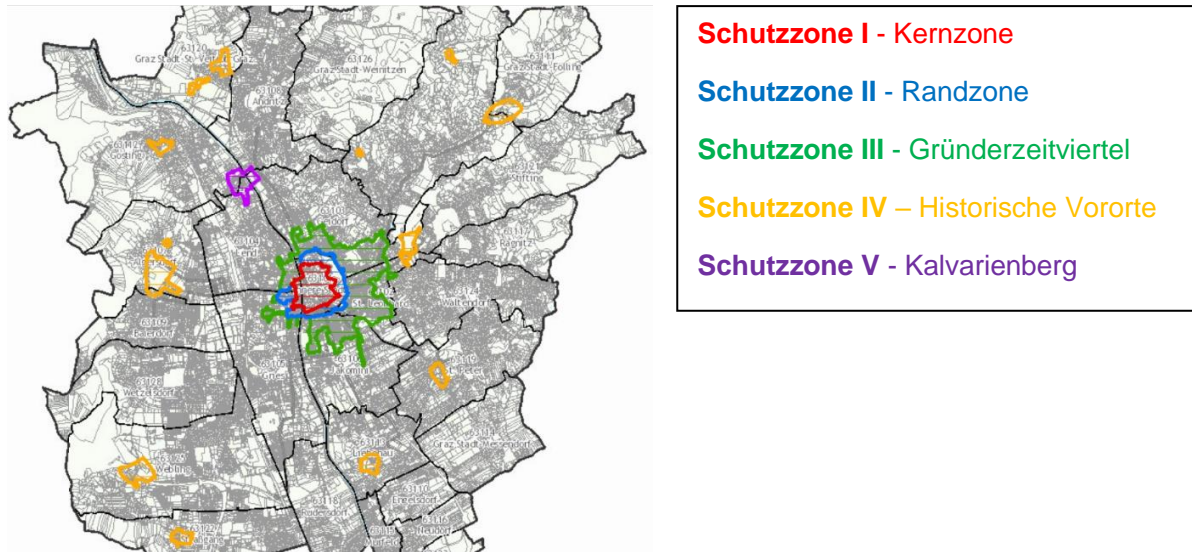


### 3-10 GRAZER ALTSTADTERHALTUNGSGESETZ 2008

Ziel des Grazer Altstadterhaltungsgesetzes (GAEG) [31] ist die Erhaltung der Altstadt in ihrem Erscheinungsbild. Das Gesetz soll auch einen Beitrag zur Erhaltung der Altstadt als UNESCO-Weltkulturerbe leisten.

#### Schutzzonen

Die Schutzzonen (I-V) des Grazer Altstadterhaltungsgesetzes prägen das Stadtbild und sind in ihrer vielfältigen urbanen Funktion zu erhalten. Nachstehend werden die Schutzzonen abgebildet.



**Abbildung 3-9: Überblick Schutzzonen I-V [32]**

**Schutzzone I** beschreibt die historische Kernzone mit dem Schlossberg und Teilen der Murvorstadt. Diese Zone innerhalb der ehemaligen Renaissancebefestigung entspricht auch dem UNESCO Weltkulturerbe „Graz Historisches Zentrum“.

**Schutzzone II** deckt sich teilweise mit der Pufferzone für das UNESCO Welterbe Graz und beschreibt den Beginn der vorgründerzeitlichen Stadterweiterung.

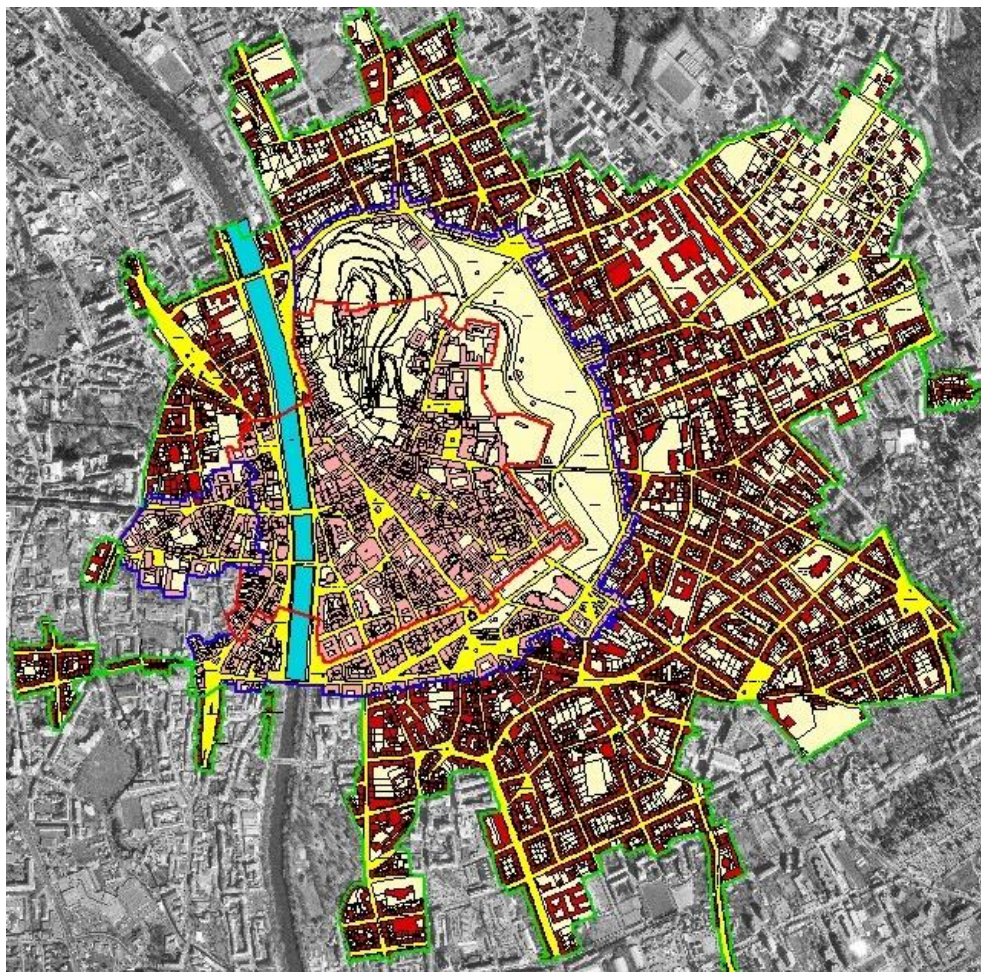
**Schutzzone III** umfasst die gründerzeitliche Stadterweiterung.

**Schutzzone IV** (1- 13) bezeichnet die ehemaligen historischen Vororte und umfasst teilweise auch die Verbindungsachse zwischen den UNESCO Welterbe Kernzonen.

**Schutzzone V** bezeichnet die Region um den Kalvarienberg.

Außerhalb der Schutzzonen des GAEG gilt das Ortsbildgesetz 1977.

In der nachstehenden Abbildung sind die Schutzzonen I – III genauer ersichtlicher.



**Abbildung 3-10: Schutzzonen I- III [32]**

Gemäß Grazer Altstadterhaltungsgesetz sind schutzwürdige Bauwerke folgend definiert:

#### **§4 Schutzwürdige Bauwerke**

*„Schutzwürdige Bauwerke sind jene Gebäude und sonstigen baulichen Anlagen, die in ihrer baulichen Charakteristik für das Stadtbild von Bedeutung sind. Zu ihrem äußeren Erscheinungsbild gehören alle gestaltwirksamen Merkmale des Bauwerkes, wie z. B. die Bauwerkshöhe, Geschoßhöhe, die Dachform, Dachneigung und Dachdeckung, die Fassaden, die Gliederungen, Dekorelemente, die Portale, Tore, Fenster, Fensterumrahmungen und Fensterteilungen, Gesimse, Balkone und Erker sowie die Durchgänge, Höfe, Vorgärten und Einfriedungen.“ [31]*

#### **§ 5 Erhaltung schutzwürdiger Bauwerke**

Im Schutzgebiet sind schutzwürdige Bauwerke in ihrem äußeren Erscheinungsbild ganz oder teilweise (je nach Maßgabe der Schutzwürdigkeit) zu erhalten. Der Abbruch bedarf einer Bewilligung und darf nur erteilt werden, wenn die Erhaltung technisch nicht möglich oder unzumutbar ist.

## §7 Neubauten, Zubauten, Umbauten

Neu-, Zu- und Umbauten die nach Stmk. BauG bewilligungs- oder anzeigepflichtig sind und Einfluss auf das charakteristische Erscheinungsbild haben bedürfen einer Bewilligung nach GAEG.

*„(2) Eine Bewilligung darf nur erteilt werden, wenn sich das Vorhaben – insbesondere auch durch seine baukünstlerische Qualität – in das Erscheinungsbild des betreffenden Stadtteils einfügt. Wenn das Vorhaben schutzwürdige Bauwerke betrifft, darf die Bewilligung darüber hinaus nur erteilt werden, soweit die Charakteristik des äußeren Erscheinungsbildes im Sinne des § 4 nicht beeinträchtigt wird.“ [31]*

Detailregelungen gibt es nur im Bereich der Fenstergestaltung und der Dachlandschaft (siehe Kapitel 3-10.1, 3-10.3 und 3-10.2).

Die allgemein gehaltenen Vorgaben sind aufgrund ihres Auslegungsspielraums sehr schwer zu wahrzunehmen. Deshalb ist es empfehlenswert bereits in der frühen Entwurfsphase eine Stellungnahme der Altstadtsachverständigenkommission (ASVK) einzuholen. Die Bewilligung nach GAEG kann wesentliche Auswirkungen auf den Entwurf und auf die Verfahrensdauer haben.

Ein Bewilligungsantrag oder eine Anzeige nach dem Steiermärkischen Baugesetz gilt auch als Bewilligungsantrag nach dem GAEG. Die Baubehörde hat dafür ein Gutachten bei der ASVK einzuholen.

### **Altstadtsachverständigenkommission (ASVK) und Altstadtanwaltschaft**

Die ASVK besteht aus Mitgliedern der Landesregierung des Landes Steiermark, der Stadt Graz, der Architekten- und Ingenieurkonsulentenkammer für Steiermark und Kärnten und aus Mitgliedern der Bereiche Architektur und Geisteswissenschaften.

Der Altstadtanwalt ist zur Wahrung des öffentlichen Interesses an der Erhaltung der Altstadt zu bestellen. Dieser darf der ASVK nicht angehören.

Wenn die Behörde beabsichtigt vom Gutachten der ASVK abzuweichen, ist sie dazu verpflichtet den Altstadtanwalt zu einer Stellungnahme aufzufordern. Ab diesem Zeitpunkt, oder spätestens ab Bescheiderlass, hat der Altstadtanwalt Parteistellung und kann eine Beschwerde gegen Bescheide an das Landesverwaltungsgericht erheben. Das Beschwerderecht ist jedoch auf Entscheidungen beschränkt, die diesem Gutachten widersprechen.

Anders als die Altstadtanwaltschaft hat die ASVK keine Möglichkeit gegen einen positiven Bescheid entgegen ihrem negativen Gutachten vorzugehen. [33]

### 3-10.1 ERHALTUNG DER DACHLANDSCHAFT IM SCHUTZGEBIET NACH DEM GRAZER ALTSTADTERHALTUNGSGESETZ 1980

Siehe auch [34]

Die sogenannte „Dachlandschaftsverordnung“ gilt für schutzwürdige Bauwerke in den Schutzzonen gemäß dem GAEG 2008.

Nach dieser Verordnung ist bei Öffnungen, Aufbauten oder sonstiger Veränderungen der Dachhaut auf eine Einfügung in das Erscheinungsbild der Grazer Dachlandschaft zu achten.

*„Die Dachlandschaft umfaßt hiebei die Gesamtheit der gestaltwirksamen Merkmale der Dachzone, wie Größe, Form, Konstruktion, Neigung, Gesimse bzw. Traufenausbildung, Deckungsmaterial, Elementform, Deckungsfarbe, Aufbauten (Gaupen, Zwerchhäuser, Rauch- und Abgasfänge, Kehrstege u. dgl.) sowie Verschneidungen der Dächer.“ [34]*

Der Sichtbarkeit der Dachlandschaft von öffentlichen Flächen, vom Schlossberg sowie vom umgebenden Hügelland des Grazer Beckens kommt maßgebende Bedeutung zu.

Nach Maßgabe der Schutzwürdigkeit und unter Bedachtnahme auf den betreffenden Stadtteil gilt:

- „1. Dachaufbauten für Belichtungszwecke sollen als Einzelgaupen ausgebildet werden.*
- 2. Oberhalb und unterhalb von Gaupen soll ein ausreichend dimensionierter, ungegliederter Dachstreifen verbleiben. SchlepPGAupen kommen vorwiegend bei Dächern mit mehr als 45 Dachneigung in Betracht.*
- 3. Die Verwendung von Blech als Eindeckungsmaterial ist zulässig, wenn anders die Dichtheit der Dachhaut durch die konstruktiven baulichen Gegebenheiten nicht gewährleistet werden kann. Blechdächer haben sich farblich in die Dachlandschaft einzufügen.“ [34]*

Nachstehende Maßnahmen sind jedenfalls für zu erhaltende Gebäude (nach GAEG 2008) unzulässig:

- „1. Flachdächer in der Zone I, ausgenommen für Nebengebäude oder Anbauten von untergeordneter Bedeutung;*
- 2. bei Neueindeckung in der Zone I das Abgehen von der Ziegeldeckung;*
- 3. bei Neueindeckung in der Zone II und in den weiteren Zonen das Abgehen von dem die jeweilige Dachlandschaft des Ensembles im überwiegenden Maße prägenden Dachdeckungsmaterial;*
- 4. großformatige Deckungselemente, die nicht in der überwiegenden Zahl der Deckung der Nachbarobjekte eine Entsprechung finden;*
- 5. Dachdeckung mit einer zur Falllinie asymmetrischen Wirkung;*
- 6. Dachfenster ohne einheitliches Format nach Maßgabe der Sichtbarkeit;*
- 7. Dachfenster in mehr als zwei Ebenen;*
- 8. Dachfenster, die nicht im Rhythmus der Sparren oder der Fensterachsen der Fassade angeordnet sind;*
- 9. Kehrstege nach Maßgabe der Sichtbarkeit.“ [34]*

### **3-10.2 GESTALTUNG VON FENSTERN IM SCHUTZGEBIET NACH DEM GRAZER ALTSTADTERHALTUNGSGESETZ 1980**

Siehe auch [35]

Die sogenannte „Fensterschutzverordnung“ definiert fensterspezifische Merkmale schutzwürdiger Bauwerke in den Schutzzonen gemäß GAEG 2008.

Gemäß §1 Abs.1 gilt:

*„Im Schutzgebiet nach dem Grazer Altstadterhaltungsgesetz 1980 sind alle Fenster, Fenstertüren und deren Kombinationen so zu gestalten, daß sie hinsichtlich ihrer Bestandteile (Fensterläden aller Art, innere und äußere Fensterflügel, Rollos, Jalousien u. dgl.), ihrer Einfassung und Rahmung, ihrer Lage in der Fassade bzw. zur Fassadenebene, ihrer Konstruktion und Konstruktionsdimensionierung, ihrer Höhe, Breite, Proportion und Teilung, ihrer Öffnungsart, ihrer Materialbeschaffenheit und Farbe, dem Erscheinungsbild des Gebäudes, des Ensembles sowie dem Straßen- und Stadtbild entsprechen.“ [35]*

Für Aufstockungen befinden sich in dieser Verordnung keine gesonderten Angaben. Fenster der bestehenden Aufstockungsbeispiele im Gründerzeitviertel haben meist keine Ähnlichkeit mit den Bestandsfenstern.

### **3-10.3 RICHTLINIE FÜR DIE DACHDECKUNG IN DER GRAZER ALTSTADT**

Siehe auch [36]

Diese Richtlinie wurde von der ASVK, der Innung der Dachdecker und dem Bundesdenkmalamt überarbeitet und wird von der ASVK bei Dachsanierungen in den Altstadtzonen herangezogen.

Grundsätzlich haben sich Neueindeckungen oder Reparaturen unterschiedlichster Deckmaterialien nach dem historischen Bestand und der jeweiligen Stilepoche der Baukunst in ihrer ästhetischen Beschaffenheit zu richten.

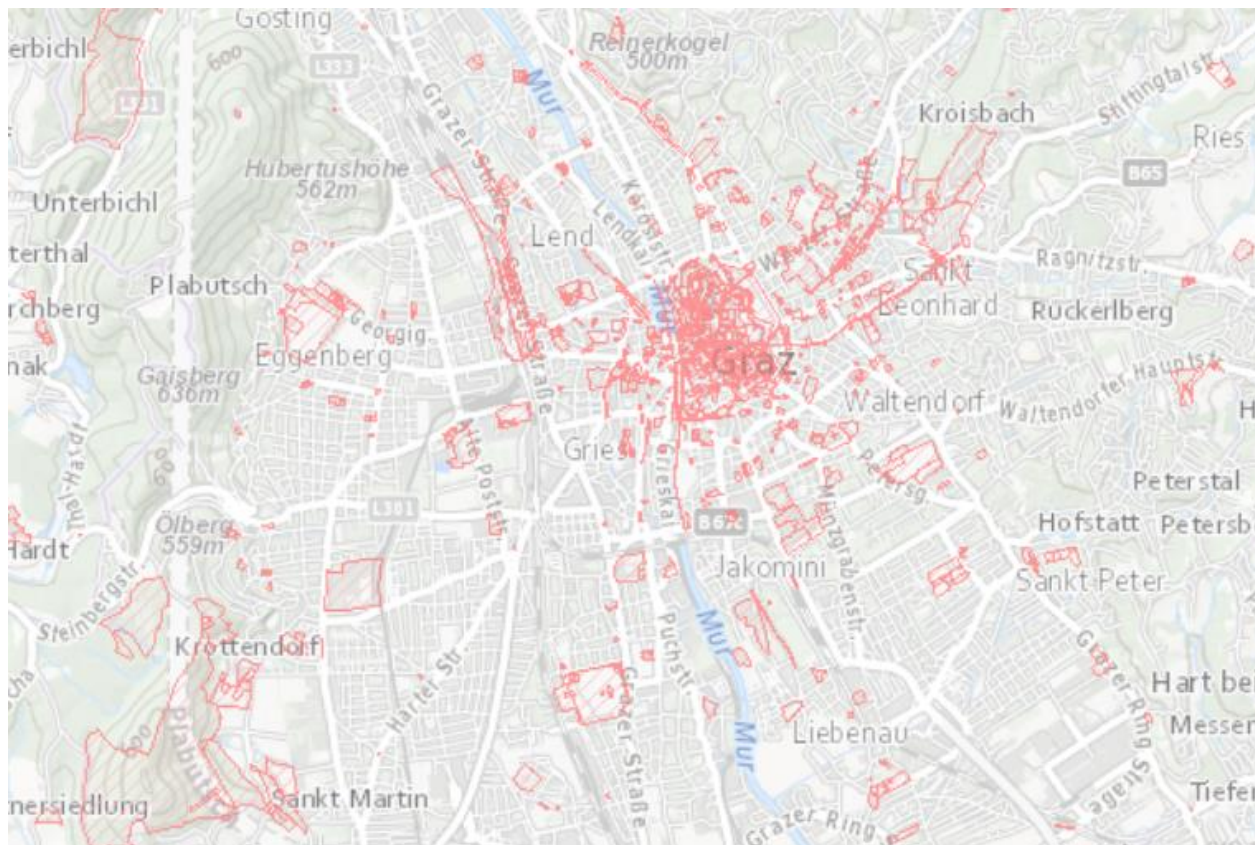
Für die Schutzzone I gibt es genaue Regelungen hinsichtlich der Verwendung von alten Deckungsmaterial, der Ausbildung von Firsten, Graten, Ichen und Orgängen sowie von zugehörigen Elementen wie z.B. Traufenblechen oder Schneefängen.

Für die restlichen Schutzzonen gilt:

*„Kein Abgehen von Dachdeckungsmaterial, von dem die jeweilige Dachlandschaft des Ensembles im überwiegenden Maße geprägt wird. In den meisten Fällen ist ein handelsüblicher Biberschwanzziegel zulässig. Die Verwendung verschiedener Ziegellängen oder verschiedener Ziegel in Sonderstärke ist im Allgemeinen nicht erforderlich.“ [36]*

### 3-11 DENKMALSCHUTZGESETZ

Das Denkmalschutzgesetz (DMSG) [37] findet unter anderem Anwendung bei unbeweglichen Objekten von geschichtlicher, künstlerischer oder sonstiger kultureller Bedeutung, wenn ihre Erhaltung im öffentlichen Interesse liegt. In der nachstehenden Abbildung sind denkmalgeschützte Objekte und Ensembles in Graz und Umgebung in roter Farbe ersichtlich.



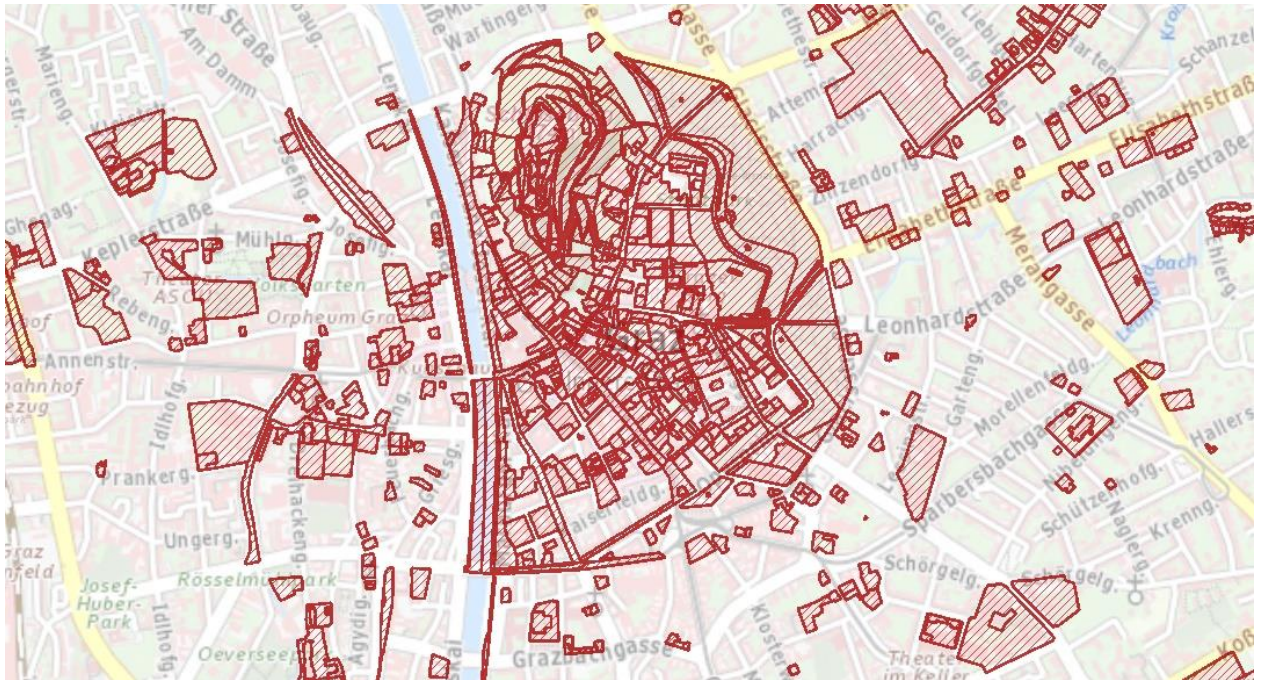
**Abbildung 3-11 Überblick Bundesdenkmalamt in Graz Umgebung [38]**

Vom Bundesdenkmalamt wird eine Liste über unbewegliche und archäologische Denkmale unter Denkmalschutz geführt und ist öffentlich einzusehen. Vor Planungsbeginn sollte abgeklärt werden ob das Gebäude unter Denkmalschutz steht. Bei denkmalgeschützten Gebäuden bedarf es zusätzlich zur Baubewilligung auch einer Bewilligung des Bundesdenkmalamtes, in diesem Fall muss das Bundesdenkmalamt in die Planung und Ausführung miteinbezogen werden. Sollten sich die denkmalgeschützten Bauten in die Zonen I-V des GAEG bzw. unter die Dachlandschaftserhaltungsverordnung fallen ist somit auch ein Gutachten der ASVK erforderlich [31]. Im Gegensatz zum GAEG steht bei denkmalgeschützten Objekten auch der Innenraum unter Schutz.

#### **§4 Verbot der Zerstörung und Veränderung von Denkmalen**

Grundsätzlich ist eine Zerstörung und Veränderung der Substanz des Bestandes ohne Bewilligung verboten. Als Zerstörung gilt auch eine offenbar absichtliche Unterlassung einer notwendigen Instandhaltungsmaßnahme, obwohl es sich um zumutbare Maßnahmen handelt (z.B. Ergänzung einzelner Dachziegel). Es handelt sich auch um Zerstörung, wenn einzelne Teile erhalten geblieben sind, aber dessen Erhaltung nicht im öffentlichen Interesse liegt.

In der nachstehenden Abbildung ist ersichtlich, dass die meisten denkmalgeschützten Markierungen in der Schutzzone I und II des Grazer Altstadterhaltungsgesetzes liegen (siehe Kapitel 3-10).



**Abbildung 3-12 Überblick Baudenkmäler im Zentrum und Gründerzeitviertel [30]**

### **§5 Bewilligung der Zerstörung oder Veränderung von Denkmälern**

Die Zerstörung und Veränderung eines Denkmals bedarf einer Bewilligung des BDA, außer es handelt sich um Gefahr im Verzug (hierbei muss dies jedoch unverzüglich beim BDA angezeigt werden).

Eine Zerstörung wird nur bewilligt, sofern die Erhaltung aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist und nicht im öffentlichen Interesse liegt. Eine Veränderung wird bewilligt, wenn die überlieferte Erscheinung oder die künstlerische Wirkung nicht wesentlich beeinträchtigt wird. Den Antrag auf Veränderung hat das BDA innerhalb von sechs Monaten zu entscheiden. Das BDA kann Bedingungen, Auflagen oder Bestimmungen zu Detailmaßnahmen an eine Bewilligung knüpfen.

Denkmäler die durch Zeitablauf, Unglücksfälle oder ohne Bewilligung zerstört oder verändert wurden, stehen weiterhin so lange unter Denkmalschutz bis das BDA festgestellt hat, dass an der Erhaltung kein öffentliches Interesse mehr besteht (Denkmalschutzaufhebungsverfahren).

Anträge auf Bewilligung von Veränderung oder Zerstörung eines Denkmals können vom Landeshauptmann und jeder Person, die durch Rechtsspruch oder ein rechtliches Interesse beteiligt ist, gestellt werden. Zur Durchführung eines Denkmalschutzaufhebungsverfahrens ist jeder Miteigentümer sowie der Landeshauptmann berechtigt. Beschwerden gegen Bescheide des BDA können beim Bundesverwaltungsgericht eingereicht werden.

### **§36 Wiederherstellung und §37 Strafbestimmungen**

Im Falle einer widerrechtlich erfolgten Veränderung oder Zerstörung eines Denkmals können ein Wiederherstellungsauftrag, Wertersatzstrafen und alternativ Verwaltungs- oder gerichtliche Strafen verhängt werden.

### 3-11.1 STANDARDS DER BAUDENKMALPFLEGE

Die Standards der Baudenkmalpflege [39] bilden ein Werkzeug für das BDA, um die Entscheidungswege bundesweit einheitlich zu gestalten.

#### Veränderungen an denkmalgeschützten Bauwerken

Die Möglichkeit von Aufstockungen oder Dachausbauten ist abhängig von der denkmalfachlichen Bedeutung der Dachbauteile:

- Veränderungen an denkmalfachlich bedeutenden Dachstühlen sind nicht vertretbar.
- Sollte bei erhaltenswerten Dachstühlen der Ausbau denkmalfachlich vertretbar sein, muss die Originalsubstanz mit ihrer historisch-ästhetischen Erscheinung erhalten bleiben. Hierbei sollten bauphysikalische Auswirkungen der Funktionsänderung berücksichtigt werden.
- Dachstühle, die keine bauhistorische Bedeutung haben und nichts zum Denkmalstatus beitragen, können ausgebaut und erneuert werden, jedoch ist die Dachform mit ihren ursprünglichen Abmessungen beizubehalten.

Aufstockungen sind in der Regel, aufgrund des substanziellen Verlusts durch den Abbruch des Dachstuhls, nicht vertretbar. In Ausnahmefällen können Aufstockungen an untergeordneten Gebäuden mit einer Einfügung in das Baudenkmal genehmigt werden.

#### Grenzen für bauliche Veränderungen an denkmalgeschützten Bauwerken [40]

Hinsichtlich der Möglichkeiten für Veränderungen konnten an Praxisbeispielen folgende Erfahrungen gesammelt werden:

- Kompromissbereitschaft des Bundesdenkmalamtes  
Die Grenze kann durch einen guten Willen des BDA übersprungen werden.
- Baupolizeilicher Abbruchauftrag (die „Achillesferse“ des Denkmalschutzes)  
Wenn dem Eigentümer der Abbruch eines denkmalgeschützten Bauwerks aufgetragen wird, steht der baupolizeiliche Auftrag über dem Denkmalschutz. Das Gebäude kann bzw. muss vom Eigentümer abgetragen werden.
- Zerstörung oder Veränderung ohne Bewilligung - Überschreitung durch den Bauherrn  
Ist die vorsätzliche Zerstörung nachweisbar, hat der Verursacher mit rechtlichen Konsequenzen zu rechnen.

Durch den großen Spielraum der denkmalfachlichen Bedeutung eines Bauwerks, ist eine frühe Abklärung des Änderungspotentials mit dem Bundesdenkmalamt zu empfehlen.



### **3-12 ZUSAMMENFASSUNG RECHTLICHE RAHMENBEDINGUNGEN**

---

Das Stadtentwicklungskonzept und das Räumliche Leitbild der Stadt Graz stimmt mit den Zielen einer Nachverdichtung überein. Die Planung von Lückenschlüssen in geschlossenen Siedlungsbereichen (Gründerzeitblöcken) und dem Schutz der Innenhöfe werden mit Bebauungsplänen verpflichtend dargestellt. Jedoch stehen Bedingungen, wie die der Erhalt der homogenen Dachlandschaft, in Konflikt mit Aufstockungsprojekten welche das äußere Erscheinungsbild verändern.

Das steiermärkische Baugesetz und die OIB-Richtlinien sehen für Altbauten einige Erleichterungen und Ausnahmen vor, sofern grundsätzliche Anforderungen wie Standsicherheit, Brandschutz und Hygiene keine Bedenken darstellen.

Auch die Bebauungsdichteverordnung und der FLÄWI lassen Ausnahmen zu. Demnach können Überschreitungen der angegebenen Höchstwerte aufgrund von Ensemblekomplettierung oder Dachraumausbauten mit Einfügung in den Bestand zugelassen werden.

Das Grazer Altstadterhaltungsgesetz schreibt Detailregelungen für die Dachlandschaft in der Schutzzone 1 bezüglich der Ausbildung von Öffnungen und der Dachdeckung vor. Für die restlichen Schutzzonen gilt die grundsätzliche Bewahrung des charakteristischen Erscheinungsbildes nach Maßgabe der Schutzwürdigkeit.

Steht ein Bauwerk unter Denkmalschutz ist die Zerstörung oder Veränderung grundsätzlich verboten. Abhängig von der Schutzwürdigkeit und dem guten Willen des Bundesdenkmalamtes können Veränderungen möglich werden. Ein baupolizeilicher Auftrag zum Abbruch eines Bauwerks steht jedoch über dem Denkmalschutzgesetz.

# KAPITEL 4: KONSTRUKTIONEN VON ALTBAUBESTÄNDEN

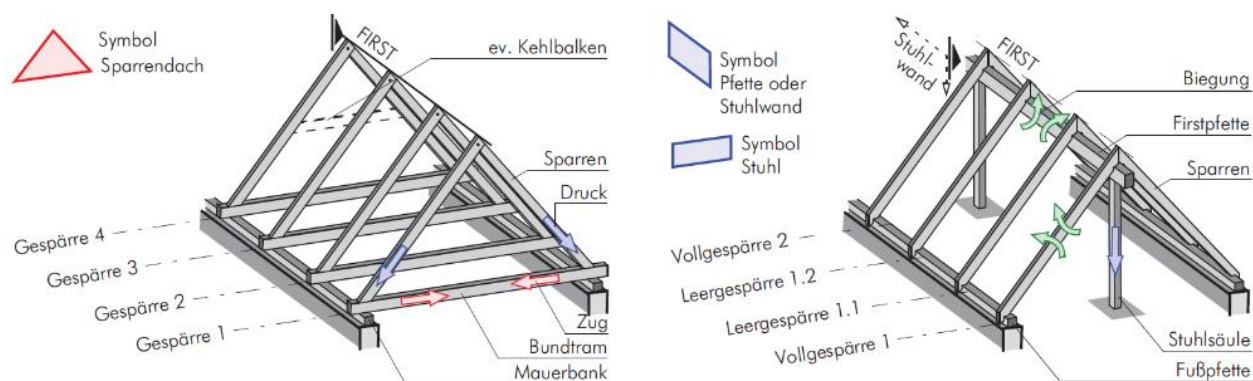
## 4-1 HISTORISCHE DACHSTÜHLE

Siehe auch [41], [42]

Um eine Zustandsbeurteilung eines Dachstuhls zu erstellen, ist die Klassifizierung erforderlich um die Lastabtragung nachvollziehen zu können. Im Folgenden wird eine Klassifizierung nach Meisel [41] vorgestellt.

### 4-1.1 KLASSIFIZIERUNG HISTORISCHER DACHSTÜHLE [41]

Nahezu alle Dachstühle lassen sich in die Grundtypen Sparren- oder Pfettendach einteilen.

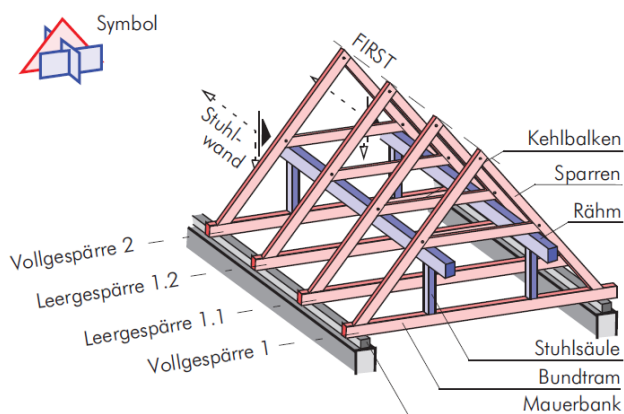


**Abbildung 4-1 links: Sparrendach**

**rechts: Pfettendach [41]**

Die globale Lastabtragung eines Sparrendachs erfolgt über das unverschiebliche Dreieck normal zum First, bestehend aus Sparren und Bundtram. Die globale Lastabtragung eines Pfettendachs erfolgt parallel zum First, wobei die Pfetten wiederum auf Stühlen aufgelagert sein können, welche normal zum First abtragen.

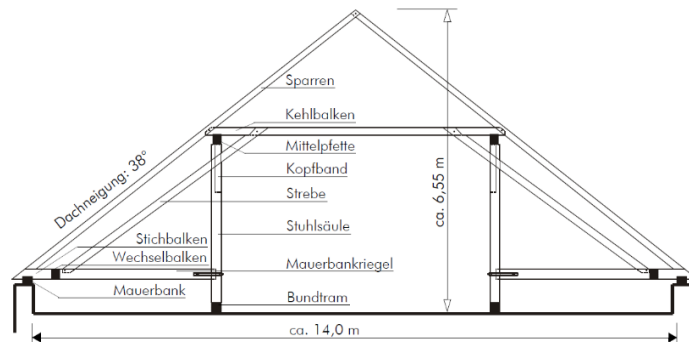
### Kehlbalkendach



Das Kehlbalkendach trägt die Lasten sparrendach- und pfettendachartig ab. Der Anteil der jeweiligen Lastabtragung ist abhängig vom Steifigkeitsverhältnis zwischen dem Kehlbalkendach (rot) und dem Stuhl (blau). Sollten einzelne Bauteile aufgrund von Schäden ausfallen erfolgt eine Lastumlagerung innerhalb des Systems.

**Abbildung 4-2 Kehlbalkendach mit zweifach stehendem Stuhl [41]**

Bei vor 1800 errichteten Dachtragwerken handelt es sich überwiegend um Kehlbalckendächer. Im 19. Jahrhundert wurden die Kehlbalckendächer weitgehend von Pfettendächern verdrängt. Sie verfügen über eine bessere Anpassungsfähigkeit an verwinkelte Grundrisse und sind leichter zu montieren. Das Pfettendach mit zweifachem Hängewerk wurde zur Standardkonstruktion in Graz, deshalb wird diese Konstruktion auch „Grazer Dachstuhl“ genannt (siehe Abbildung 4-3 Beispiel eines „Grazer Dachstuhls“ Abbildung 4-3).



**Abbildung 4-3 Beispiel eines „Grazer Dachstuhls“ [42]**

#### 4-1.2 STATISCHE ANALYSE

Werden Umbauten oder Nutzungsänderungen (Stmk BauG §19 Baubewilligungspflichtige Vorhaben) geplant, muss das Bauwerk dem heutigen Stand der Technik (OIB-Richtlinien) entsprechen (siehe Kapitel 3: Baurechtliche Rahmenbedingungen). Die Tragsicherheit ist jedoch nicht einfach zu ermitteln. Nach Augenschein ist die Tragwirkung eines historischen Dachstuhls allgemein schwer nachzuvollziehen. Es sind unterschiedliche Modelle möglich, deren Ergebnisse erheblich voneinander abweichen können. Die Schwierigkeit liegt oftmals in der Modellierung der räumlichen Lastabtragung und der Auflagerbedingungen.

#### 4-1.3 ZUSTANDSERHEBUNG

Obwohl die Grazer Dachlandschaft Teil des UNESCO-Weltkulturerbes ist und durch Gesetze und Richtlinien geschützt wird, wird sehr wenig auf die Instandhaltung der Tragkonstruktion geachtet. Häufig bedarf es eines auffälligen Schadens oder der Absicht einer Nutzungsänderung bis eine erste Beurteilung beauftragt wird.

#### Zustandsbeurteilung nach Meisel [42]

Die Zustandsbeurteilung basiert auf der Vergabe von Punkten in den folgenden Kriterien:

- Schadensfolgeklasse
- Tragsicherheit
  - Grad der Unbestimmtheit
  - Umbauten und Instandsetzungen
  - Holzzerstörung (Pilz- oder Insektenbefall)
  - Verbindungs- und/oder Stabversagen
  - Konstruktive Mängel
  - Verformungen und/oder Klaffungen
  - Verschlechterungstendenz
- In-Situ-Probebelastungen

Mit dem Punktergebnis wird entschieden ob und wann ein Handlungsbedarf notwendig ist.

#### 4-1.4 ZUSTAND DER GRAZER DACHSTÜHLE

Im Zuge eines Forschungsvorhabens [42] wurde bei 15 möglichst unterschiedlichen Dachtragwerken eine Zustandserhebung durchgeführt. Beim Großteil davon besteht spätestens innerhalb der nächsten fünf Jahre Handlungsbedarf. Die meisten Instandsetzungsmaßnahmen sind aufgrund feuchtegeschädigter Bauteile und Verbindungen erforderlich.

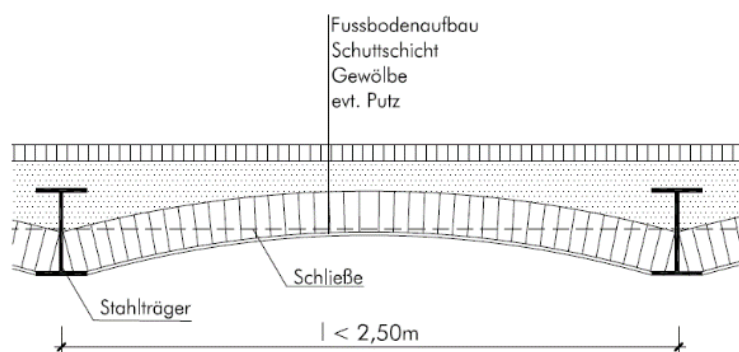
#### 4-2 HISTORISCHE DECKENKONSTRUKTIONEN

Siehe auch [43]

Die meist verbauten Deckenarten der Gründerzeit unterscheiden sich in Gewölbe- und Holzdecken. Die Art und Ausführung der Deckenkonstruktion ist abhängig vom Baujahr, Verwendungszweck, Bauherr und ausführenden Zimmermeister. Bis in das letzte Viertel des 19. Jahrhunderts wurden hauptsächlich Kappendecken, Dippelbaumdecken und Varianten der Tramdecken verbaut.

##### Gewölbedecke:

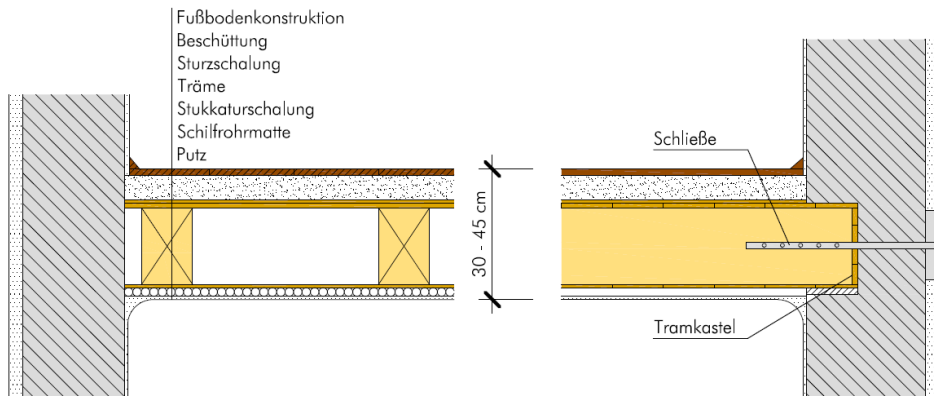
Gewölbedecken befinden sich aufgrund ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit praktisch in jedem Keller der Gründerzeit. Die einfachste Form eines Gewölbes, das Tonnengewölbe, lagert auf zwei Mauern. Kreuzgewölbe und dessen Varianten, wie z.B. Platzlgewölbe sind auf den vier Eckpunkten gelagert. Eine besondere Form des Gewölbes ist die Kappendecke (siehe Abbildung 4-4). Diese besteht aus I-Trägern oder Eisenbahnschienen, welche in einem Abstand von ca. 80 bis 120 cm verlegt werden und als Auflager für die einzelnen Tonnengewölbe dienen. Durch diese Konstruktion ergibt sich eine niedrigere Konstruktionshöhe der Decke und ein stützenfreier Raum.



**Abbildung 4-4 Kappendecke [43]**

##### Tramdecke

Die hochkantigen Holzbalken werden oftmals in ein „Tramkastl“ eingebettet, um die feuchtesensiblen Tramköpfe vor Feuchtigkeit aus dem Mauerwerk zu schützen (siehe Abbildung 4-5). Vorwiegend wurden 22 bis 28 cm hohe Träme verwendet, womit man eine Spannweite von 4 bis 6 m erreichen konnte. Ein Beispiel einer Tramdecke wird in der nachstehenden Abbildung 4-5 dargestellt.

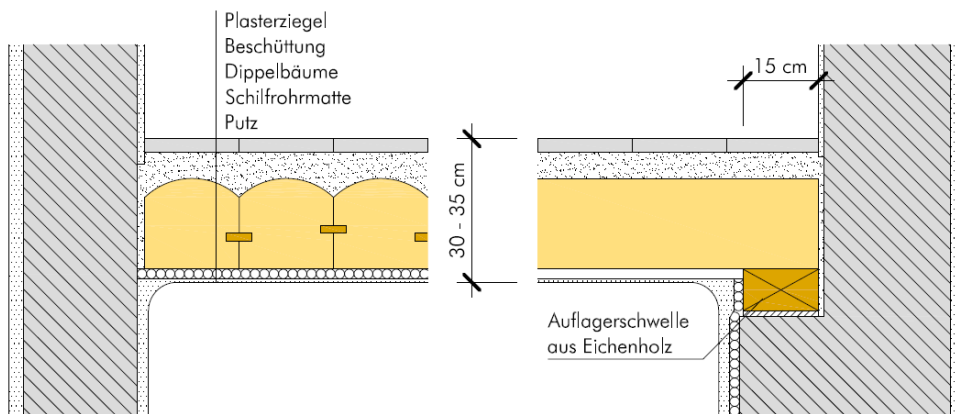


**Abbildung 4-5 Tramdecke [43]**

Variationen der Tramdecke sind z.B. die Tramdecke mit Einschubboden, um Konstruktionshöhe zu sparen oder die Fehltramdecke, welche durch separate Tramlagen über einen besseren Trittschallschutz verfügt.

**Dippelbaumdecke**

Die oberste Geschossdecke ist meist als Trümmerschutz gegen den Einsturz des Dachstuhles sowie aus Brandschutzgründen als Dippelbaumdecke ausgeführt. Sie besteht aus „Mann-an-Mann“ gelegten 3-seitig gehackten Holzbalken. Um eine Scheibenwirkung zu erzielen, wurden diese im Abstand von ca. 2 m mit Hartholzdübeln („Dippel“) verbunden. Die Mauerstärke ist um die Auflagertiefe der Dippelbäume zurückversetzt. Spannweiten von 5 bis 8 m sind üblich.



**Tabelle 4-1 Dippelbaumdecke [43]**

**Tragfähigkeit der Deckenkonstruktion**

Die oberste Geschossdecke wurde in der Gründerzeit größtenteils als Dippelbaumdecke ausgeführt. Zur Ermittlung des Zustands der Holzkonstruktion und der tatsächlichen Tragfähigkeit ist i. Allg. ein Freilegen der Konstruktion erforderlich. Es wird davon ausgegangen, dass die Tragfähigkeit dieser Deckenkonstruktionen nicht die Last der Aufstockung aufnehmen kann. Die Aufstockungen werden deshalb so geplant, dass sie ausschließlich das Bestandsmauerwerk belasten.

### 4-3 MAUERWERK

Siehe auch [6]

Gebräuchliche Mauerwerksziegel waren vor allem das „Österreichische Format“ mit den Abmessungen 29 x 14 x 6,5 cm und das „Reichsformat“ (heute „Normalformat“ genannt) mit den Abmessungen 25 x 12 x 6,5 cm.

Bei beiden Formaten war die doppelte Ziegelbreite plus 1 cm Mörtelfuge gleich lang wie eine Ziegellänge. Die Ziegel wurden in ganzen und halben, sowie in Viertel- und Dreiviertelsteinen hergestellt. Mauerstärken wurden in einem Vielfachen der Halbsteine angegeben, diese sind in der nachstehenden Tabelle aufgelistet.

Halbsteine	Österreich-Format [cm]	Normalformat [cm]
1	15	12
2	30	25
3	45	38
4	60	51
5	75	64
6	90	77

**Tabelle 4-2 Mauerstärken nach Ziegelstärken und Formaten [6]**

In der Gründerzeit war es üblich die Mindeststärken des Mauerwerks abhängig von den Geschosshöhen in den Bauordnungen festzulegen. Typische Mauerwerksstärken waren 60 cm bei freistehenden Außenwänden und 30 cm bei anschließenden Außenwänden.

#### Tragfähigkeit des Mauerwerks

Abgesehen von städtebaulichen Vorgaben, ist die tatsächliche mögliche Anzahl an zusätzlichen Geschossen von der Tragfähigkeit des vorhandenen Mauerwerks abhängig. Es bedarf einer Bestandserhebung des Mauerwerks um die Tragfähigkeit nach ÖNORM B 1996-1-1: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten ermitteln zu können. In dieser Arbeit wird von einer ausreichenden Tragfähigkeit des Mauerwerks ausgegangen.

---

# KAPITEL 5: VERDICHUNG MIT MODULARISIERTEM HOLZBAU

Literaturquellen für dieses Kapitel: [44], [45].

## **5-1 VERTIKALE VERDICHUNG VON ALTBESTÄNDEN MIT RAUMZELLEN**

---

Ein Lösungsvorschlag zur Aufstockung von Altbauten mit oder ohne Beibehalt der ursprünglichen Dachform basiert auf der Raumzellenbauweise. Diese wird nachstehend erläutert.

### **5-1.1 RAUMZELLENBAUWEISE**

Die Raumzellenbauweise beruht auf dem Prinzip der Modularisierung; der Aufteilung eines Ganzen in einzelne Module. Je mehr Module produziert werden, umso wirtschaftlicher wird dessen Herstellung.

Ein Modul stellt eine Raumzelle mit meist rechteckigem Grundriss und sechs Begrenzungsflächen dar. Es ist selbsttragend und kann in Holzrahmen- oder Holzmassivbauweise hergestellt werden.

Raumzellen können allseitig geschlossenen oder mit Öffnungen ausgeführt werden. Es können Seiten weggelassen werden, um aus mehreren Raumzellen einen Raum zu fügen. Untereinander werden sie bestenfalls gar nicht verbunden. Die Oberflächen der Raumzelle sind meist Teil der Decke oder einer Trennwand. Doppelte Flächen sind in der Raumzellenbauweise zwar unvermeidbar, sollten aber so gering wie möglich gehalten werden, um Probleme durch Setzungen an den Übergängen zu anderen Bauteilen zu vermeiden.

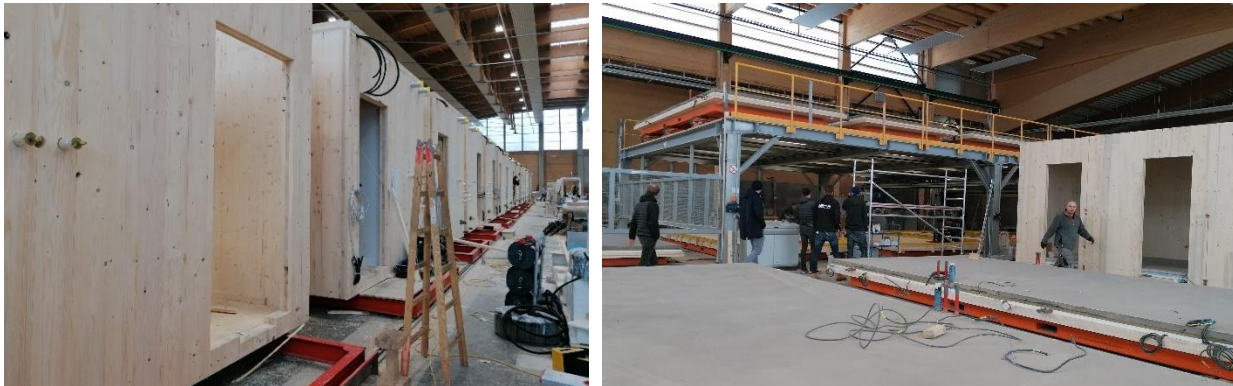
Ausgesteift werden die Module über Scheiben- und Plattensysteme oder mit angrenzenden Stahlbetonkernen. Aus brand- oder schallschutztechnischen Gründen wird meist eine Trennwand aus Stahlbeton angeordnet.

### **5-1.2 PLANUNG UND VORFERTIGUNG**

Von Beginn der Planung an muss berücksichtigt werden, dass die Größe des Moduls von den Produktionsstätten, der Montage und dem Transport abhängig ist. Detailausführungen und sämtliche Oberflächen müssen früh festgelegt werden. Dasselbe gilt für Ausstattungsgegenstände und Gebäudetechnik. Rohrabschnitte etc. können somit vorgefertigt werden und zeiteffizient in den einzelnen Modulen montiert werden.

Durch die serielle Fertigung der Raumzellen sind Unternehmen in einer Produktionshalle aufeinander eingespielt. Abläufe können genauer geplant und durch wiederholt anzufertigende Raumzellen optimiert werden.

Die Raumzellen werden in Produktionsstätten auf Schienensystemen produziert. Sie werden vollautomatisch von Gewerk zu Gewerk weitergefahren. Das Material wird „just in time“ in das Werk geliefert, um Lagerflächen einzusparen.



**Abbildung 5-1 links: Raumzellen auf Schiene      rechts: Estricharbeiten**

Da Estricharbeiten durch ihre lange Trocknungszeit zu Verzögerungen führen können, kann diese von der Produktionslinie entkoppelt werden. Der Estrich wird nach der Sanitär- und Elektroinstallation eingebracht, anschließend wird das Bodenelement in eine zweite Ebene gehoben, wo er austrocknen kann. Nach rund 16 Stunden wird das Bodenelement wieder in die Produktionsebene gehoben und in die Raumzelle eingefügt. Die Raumzelle kann im nächsten Gewerk ausgebaut werden.

Nachdem Fenster, Türen sowie fertige Armaturen und Möbel montiert wurden, wird die Raumzelle vollständig kontrolliert und bis zum Abtransport zwischengelagert. Die LKW-Verladung wird abhängig von der Montage koordiniert.

### **5-1.3 MONTAGE**

Von gleicher Bedeutung ist die Planung der Montage, da die örtlichen Gegebenheiten und der Verkehr oft herausfordernd sind. Bei Projekten im innerstädtischen Raum gibt es kaum Platz um die Raumzellen zu lagern. Die Anlieferung der Raumzellen muss demnach in der richtigen Reihenfolge und zum richtigen Zeitpunkt erfolgen. Auf der Baustelle angekommen werden sie mit dem Kran an die richtige Stelle versetzt. Wenn nötig werden die Module anschließend verbunden. Sofort nach der Montage wird meist die Dampfsperre verlegt, welche auch als Notdach dient. Sobald alle Module versetzt sind beginnen die Fassadenarbeiten und die Fertigstellung der Haustechnik. Vorzugsweise sind die Fassadenelemente auch vorgefertigt, um die gesamte Bauzeit so kurz wie möglich zu halten.



#### 5-1.4 AUFSTOCKEN MIT RAUMZELLEN

Eine Nachverdichtung durch Aufstockung kann mittels modularisiertem Holzbau mit oder ohne Beibehalt der Dachform erfolgen.

In der Stadt Graz kann die Aufstockung mit Beibehalt der Dachform (siehe Abbildung 5-2) gemäß Grazer Altstadterhaltungsgesetz zulässig sein. Abhängig von den verschiedenen Schutzzonen können Regelungen bzgl. Dachdeckung, Dachfenster oder Aufbauten (z.B. Gaupen) maßgebend werden.

Eine Aufstockung mit Veränderung der Dachform ist in der Schutzzone I des Grazer Altstadterhaltungsgesetz keinesfalls möglich. In den weiteren Zonen entscheidet die Altstadtsachverständigenkommission abhängig von der Schutzwürdigkeit der Bauwerke und der Einfügung in das Stadtbild.



**Abbildung 5-2 links: Beibehalt der Dachform**

**rechts: ohne Beibehalt der Dachform [44]**

Die oberste Geschossdecke des Bestandes wird nicht belastet und kann bestehen bleiben. Ein Stahlträgerrost leitet die Lasten der Aufstockung in die Außenwände bzw. tragenden Innenwänden.

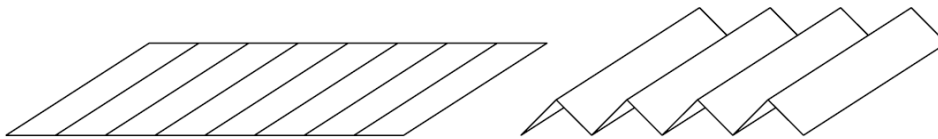
## 5-2 VERTIKALE VERDICHTUNG DURCH VORGEFERTIGTE ELEMENTE

Der Lösungsvorschlag zur Aufstockung mit Beibehalt der ursprünglichen Dachform basiert auf einem vorgefertigten Faltwerk. Aus diesem Grund werden zunächst Informationen zu Faltwerken dargelegt.

### 5-2.1 FALTWERKE

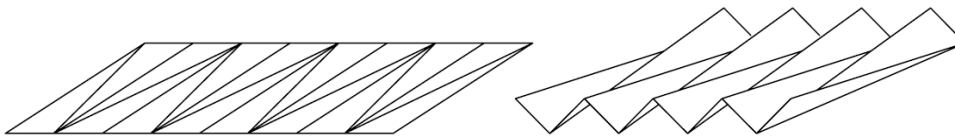
Siehe auch [46]

Ein Faltwerk ist ein flächenförmiges Tragsystem und entsteht durch die „Faltung“ der Flächen. Die Ausbildung der Falten kann in unterschiedlichen Mustern erfolgen. Das einfachste Faltmuster bestehend aus parallelen Geraden erzeugt ein Faltwerk aus parallel angeordneten rechteckigen Flächen (siehe Abbildung 5-3).



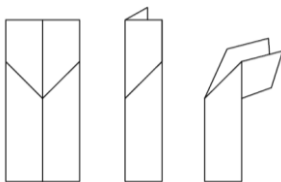
**Abbildung 5-3 Faltwerkmuster aus parallelen Falten**

Werden dem Faltmuster schräge Gegenfalten hinzugefügt entstehen Faltwerke aus dreieckigen Flächen mit geneigten Faltwerkskanten (siehe Abbildung 5-4).



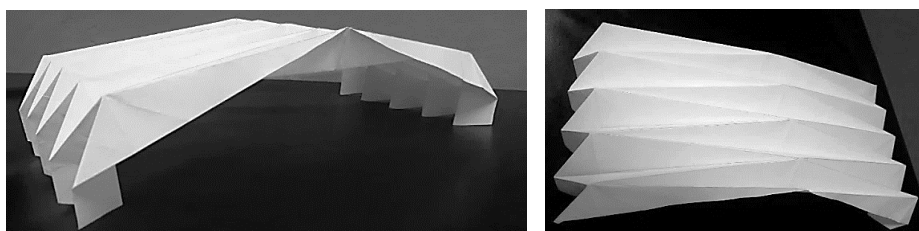
**Abbildung 5-4 Faltwerkmuster aus Falten und Gegenfalten**

Durch die Ausbildung von Gegenfalten sind auch Richtungswechsel möglich. Diese Art der Faltung wird auch Umkehrfalte genannt. Wird die Umkehrfalte in einem Winkel von  $45^\circ$  ausgeführt wird ein Richtungswechsel von  $90^\circ$  erzeugt (siehe Abbildung 5-5).



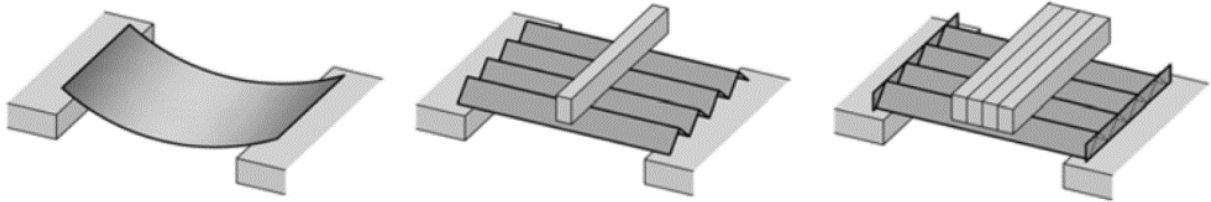
**Abbildung 5-5 Gegenfalte für Richtungswechsel mit Beispiel**

Durch Kombinationen der vorgestellten Faltmuster können unterschiedlichste Formen entstehen. Ein Beispiel wird in der nachstehenden Abbildung 5-6 gezeigt.



**Abbildung 5-6 Beispiel Faltwerk mit Gegenfalten aus Papier**

Im Gegensatz zu einem Plattentragwerk kann ein gefaltetes Tragsystem aus schubfest verbundenen Scheiben bzw. Platten höhere Lasten abtragen. Maßgebend für die erhöhte Tragwirkung ist die Ausbildung von Querschotten an den Endauflagern (siehe Abbildung 5-7).



**Abbildung 5-7 Potential von Falten und Querschotten [46]**

### Querschotten

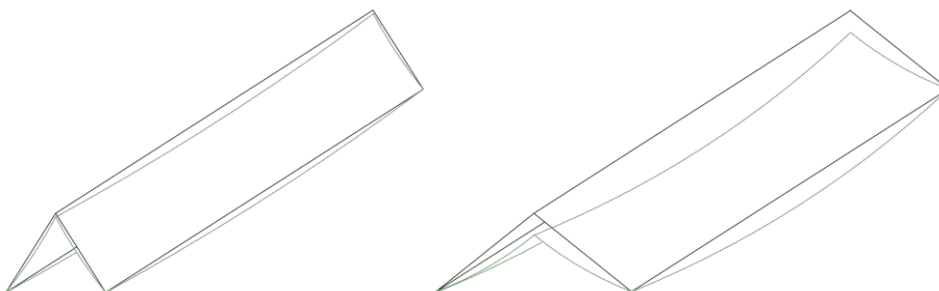
Querschotten dienen zur Formstabilisierung des Faltwerts. Durch die Einfügung dieser wird die Verdrehung und Verschiebung der Faltwertflächen verhindert. Ein Querschott wird als Scheibe ausgebildet und sollte entsprechend der Faltwerttheorie horizontal verschieblich mit dem Faltwert verbunden werden, um die Verformung des Faltwerts in Längsrichtung nicht zu behindern. Im Holzbau ist diese Umsetzung nicht möglich, daher werden die Querschotten gelenkig mit dem Faltwert verbunden.

### Ausbildung der Faltwertskanten

Die Verbindung der Faltwertskanten kann biegesteif oder gelenkig erfolgen und hat einen wesentlichen Einfluss auf das Tragverhalten des Faltwerts. Biegesteife Kanten verhindern die Verdrehung der Faltwertflächen untereinander, während gelenkige Kanten Verdrehungen zulassen. Bei Faltwerten aus Holz sind biegesteife Kanten nur mit hohem Aufwand umsetzbar, gelenkige Kanten sind einfacher auszubilden.

### Neigung der Flächen

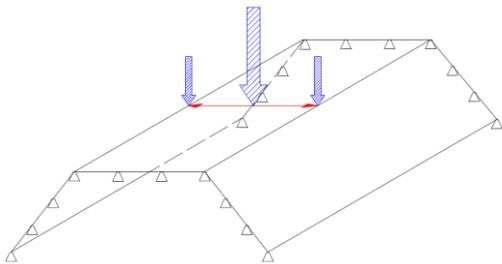
Die Neigung der Flächen hat einen großen Einfluss auf das Tragverhalten und auf die Verformung. Je steiler die Flächen des Faltwerts angeordnet werden, desto besser ist das Tragverhalten und desto geringer fallen Verformungen aus.



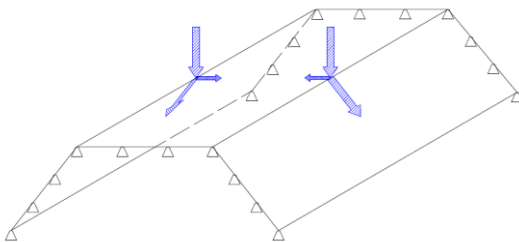
**Abbildung 5-8 Durchbiegung von steil und flach geneigten Flächen**

## Lastabtragung

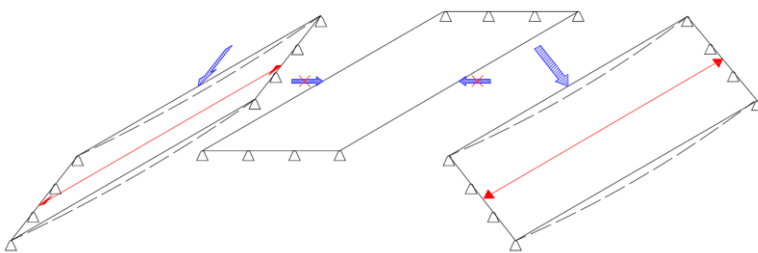
Die typische Lastabtragung eines Faltwerks lässt sich folgend zerlegen:



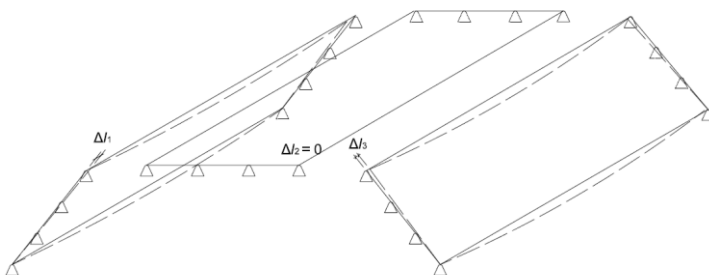
Die einwirkenden Lasten werden mittels „Plattenbiegung“ in Querrichtung auf die Kanten übertragen. Die Faltwerkskanten wirken als Auflager der beanspruchten Fläche.



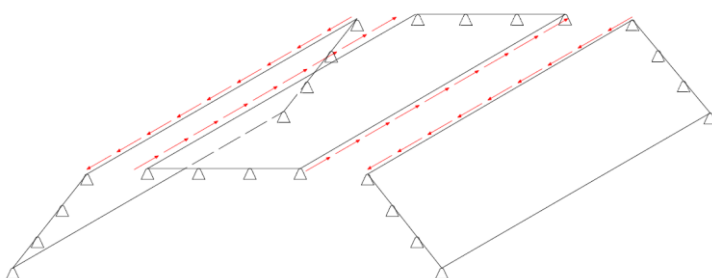
Die resultierenden Kräfte werden in Richtung der anschließenden Fläche zerlegt und beanspruchen diese Flächen als Scheibe.



Die Scheibenbelastungen werden mittels Scheibentragwirkung in Längsrichtung auf die Endauflager abgetragen. Diese Tragwirkung kann mit der Balkenbiegung eines hochkantigen Rechteckquerschnitts verglichen werden.



Die Dehnungen der Kanten müssen mit den Dehnungen der benachbarten Kanten gleich groß sein um diese Lastabtragung zu gewährleisten.



Die Verbindung der Faltwerkflächen muss also schubfest erfolgen.

**Abbildung 5-9 Lastabtragung eines Faltwerks [46]**

## 5-2.2 AUFSTOCKEN MIT EINEM FALTWERK

Diese Verdichtungsmethode bietet eine moderne Alternative zum klassischen Sparrendach und ergibt einen stützenfreien Dachraum.



**Abbildung 5-10 Faltwerkslösung [44]**








Bei dem genannten Verdichtungskonzept besteht das Faltwerk aus drei Flächen und bildet ein Tragsystem, welches über mind. zwei tragende Wände gespannt wird. Die Länge des Faltwerks wird durch die maximale Produktionslänge der Brettsperrholzflächen von rund 20 m begrenzt. Die Feuermauern der Gründerzeithäuser haben üblicherweise einen Abstand zwischen 15 und 18 m, somit ist es größtenteils möglich das BSP-Faltwerk auf den Feuermauern zu lagern.

Auf dem Faltwerkträger werden nun ebenfalls vorgefertigte Dachelemente eingehängt. Diese können mit Öffnungen ausgeführt werden, wodurch ein stützenfreier, belichteter Dachraum entsteht.

Für die raumbildende Abgrenzung nach unten kann eine Rippendecke über die Breite des Gebäudes (quer zum First) auf den Außenwänden gelagert werden. Eine tragende Innenwand kann als zusätzliches Auflager dienen. Die gesamte Tragkonstruktion kann in, vom Transport abhängigen Abschnitten, vorgefertigt werden.

### 5-3 TRANSPORT

Die Transportfähigkeit ist für Falterklösungen sowie für Modullösungen ein limitierender Faktor. Zu Beginn der Planung sind maximale Transportabmessungen und mögliche Engstellen der Zufahrt zur Baustelle zu eruieren. Ein Überblick über Abmessungen und zu erfüllende Randbedingungen des Transports für den deutschsprachigen Raum bietet die nachstehende Abbildung.

							
	B 2,55 m H 2,90 m L 13,60 m	B 3,00 m H 2,90 m L 30,00 m	B 3,50 m H 2,90 m L 12,50 m	B 4,00 m H 3,10 m L 12,50 m	B 4,20 m H 4,20 m L 12,50 m	B 4,50 m H 4,20 m L 12,50 m	B 5,50 m H 4,20 m L 12,50 m
Genehmigung	keine	Ausnahmegenehmigungen erforderlich					
		Für die jeweiligen Transporte müssen separate Genehmigungen beschafft werden.					
Begleitfahrzeug		Begleitfahrzeug auf Bundesstraßen erforderlich					
		Auf Autobahnen: in A immer, in D, CH teilweise					
Polizeibegleitung		Polizeibegleitung in D, CH immer mit Polizeibegleitung					
Sonstiges		Tiefladerkombination					
		Streckenprüfung im Vorhinein					

**Abbildung 5-11 Transportabmessungen und zu erfüllende Randbedingungen [47]**

### 5-4 KONKLUSION

Für eine Vollaufstockung ohne Beibehaltung der Dachform empfiehlt sich die Raumzellenbauweise durch ihren hohen Vorfertigungsgrad. Es wird wenig Platz für die Baustelleneinrichtung benötigt und die Bauzeit wird sehr gering gehalten. Jedoch muss sich ein Raster finden lassen, um den Grundriss in sich wiederholende Raumzellen aufzuteilen. Außerdem ist ein gewisser Wiederholungsfaktor notwendig um die Raumzellenbauweise wirtschaftlich umzusetzen.

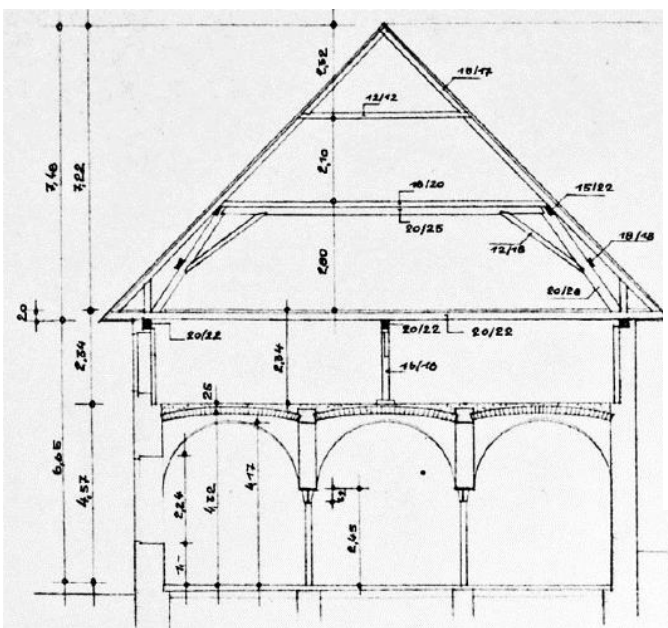
Soll die ursprüngliche Dachform behalten werden, bietet die Falterklösung eine wirtschaftliche Alternative. Bei diesem Konzept wird die Tragkonstruktion vorgefertigt und die Verbindungstechnik kann standardisiert werden. Das Falterksystem ist unabhängig von Nutzung und Größe des Verdichtungsprojektes.

## KAPITEL 6: VERDICHTUNGSBEISPIEL GROTTENHOF

Im nachfolgenden Kapitel wird am Beispiel des Gebäudekomplexes „Alt-Grottenhof“ im Westen von Graz eine vertikale Verdichtung geplant. Bei der Fachschule für Land- und Forstwirtschaft Grottenhof handelt es sich um ein Ensemble aus mehreren Gebäuden. Genauer betrachtet wird in dieser Arbeit das Wirtschaftsgebäude.



**Abbildung 6-1 Wirtschaftsgebäude**



**Abbildung 6-2 Schnitt durch den Haupttrakt [48]**

Das Wirtschaftsgebäude wurde Ende des 18. Jahrhunderts als Stallgebäude erbaut.

Das Mauerwerk besteht aus Ziegeln im „Österreich Format“ (29 x 14 x 6,5 cm) mit einer Dicke von rund 75 cm im Erdgeschoss. Die Decke über dem Erdgeschoss ist eine 25 cm starke Kappendecke. Darunter befindet sich ein Platzgewölbe, welches auf Gusseisen-Stützen mit einem Durchmesser von rund 20 cm lagert.

Ende des 20. Jahrhunderts erfolgte ein Umbau der Halle des Wirtschaftsgebäudes. In dem Zug wurde der Dachstuhl repariert und neu eingedeckt. In der Halle befindet sich seit dem die Lehrwerkstätte.



**Abbildung 6-3 Lehrwerkstätte**

### **Baurechtliche Gegebenheiten**

Das Ensemble liegt außerhalb der Schutzzonen des Grazer Altstadterhaltungsgesetzes und der im räumlichen Leitbild ausgewiesenen Bereiche. Im Entwicklungsplan des Stadtentwicklungskonzeptes der Landeshauptstadt (STEK) liegt die Landwirtschaftsschule im Grüngürtel. Gemäß §8 des „STEK“ [14] ist die Bebauungsdichte im Einzugsbereich öffentlicher Verkehrsmittel auf 0,4 begrenzt. Es gilt die großräumigen Grünflächen zu erhalten, Dachgeschossausbauten sind jedoch zulässig.

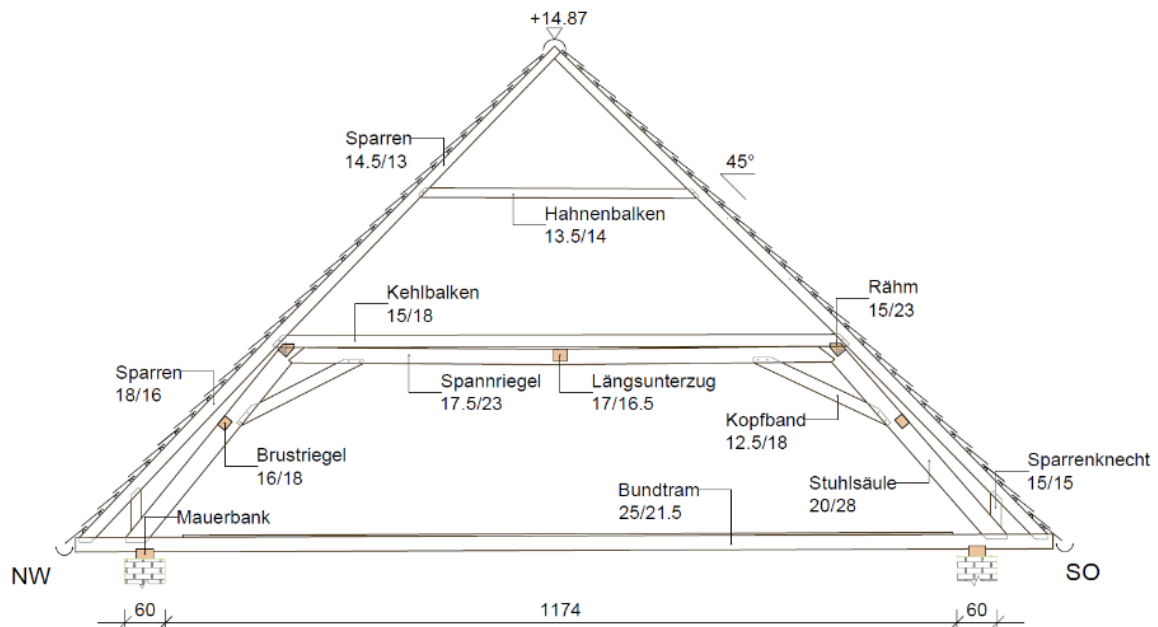
Das Ensemble und somit auch das Wirtschaftsgebäude stehen unter Denkmalschutz. Ob der Dachstuhl denkmaltechnisch erhaltenswert ist, wird in der durchgeführten Bestandserfassung eruiert.



## 6-1 BESTANDSERFASSUNG UND -ANALYSE DES DACHTRAGWERKS

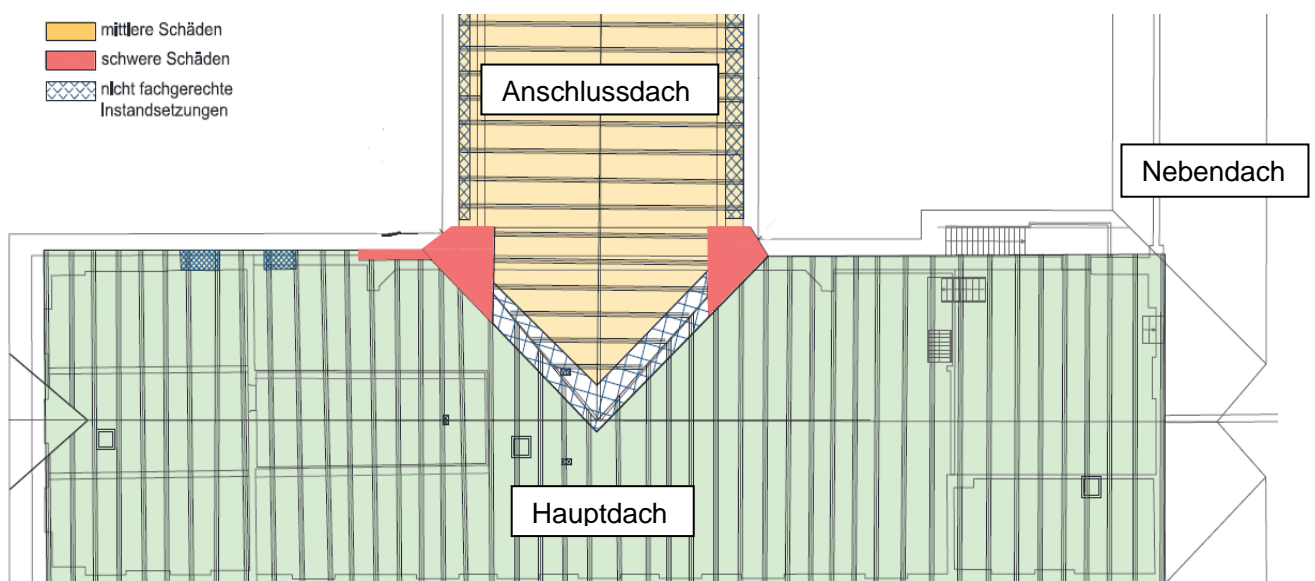
Siehe auch [48]

Beim Dachstuhl des Wirtschaftsgebäudes handelt es sich um ein Kehlbalkendach mit liegendem Stuhl und Hahnenbalken mit überwiegend zimmermannsmäßigen Verbindungen. Die wesentlichen Bauteile des Dachstuhles sind in Abbildung 6-4 dargestellt.



**Abbildung 6-4 Dachwerk Hauptdach [48] (eigene Bearbeitung) [Maße in cm]**

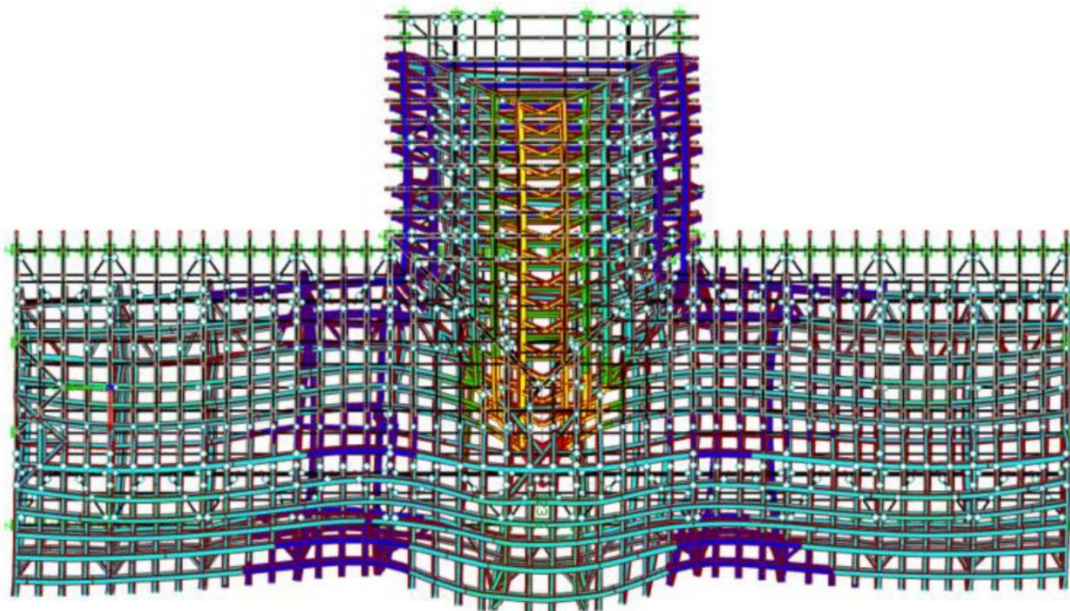
Im Zuge einer Masterarbeit [48] wurde eine ausführliche Bestandserfassung des Hauptdaches mit dem Anschlussdach durchgeführt. Über den gesamten Dachbereich wurden Schäden festgestellt, eine Übersicht bietet die nachstehende Abbildung 6-5. Die gravierendsten Schäden befinden sich in den Dachverschneidungen und deren Fußpunkten (siehe Abbildung 6-5).



**Abbildung 6-5 Überblick Schäden [48] (eigene Bearbeitung)**

### 6-1.1 STATISCHE ANALYSE

Die statische Analyse des Dachtragwerks ergibt ein „Anlehnen“ des Anschlussdachs an das Hauptdach (siehe Abbildung 6-6).



**Abbildung 6-6 Globale Verformung [48]**

Die Schäden der Dachverschneidung haben nicht nur lokale Auswirkungen, sondern beeinflussen das gesamte Tragwerk. Der Ausnutzungsgrad der Ichsien liegt bei 150% während er im Regelbereich bei 70% liegt. Das Tragwerk entspricht nicht dem geforderten Sicherheitsstandard des EC 5. Sollten die Knotenpunkte in den originalen Zustand rückgeführt werden, gilt der Vertrauensgrundsatz der ONR 24009 [49].

### 6-1.2 INSTANDSETZUNGSMAßNAHMEN

Innerhalb der nächsten Monate bis 5 Jahre liegt lt. Bestandsanalyse Handlungsbedarf vor.

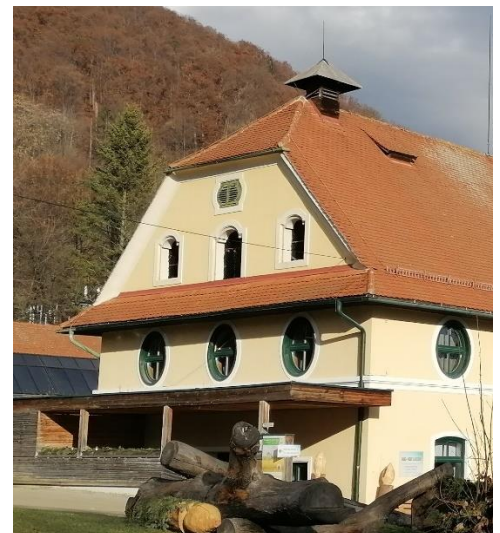
Unmittelbar empfohlene Maßnahmen zur Instandsetzung sind folgende:

- Zugänglichkeit und Reinigung des gesamten Dachtragwerkes
- Nähere Untersuchung und Instandsetzen der Feuchteschäden an den Fußpunkten
- Entfernung nicht fachgerechter Instandsetzungen
- Erneuerung der Ichsengespärre

### 6-1.3 BESTANDSFOTOS



*Abbildung 6-7 Hauptdach: Dachstuhl über dem Haupttrakt des Wirtschaftsgebäudes*



*Abbildung 6-8 Innen- und Außenansicht der Giebelwand des Haupttraktes*



Abbildung 6-9 Wand zwischen dem Haupt- und Nebentrakt (firsthoch)



Abbildung 6-10 Außenwand Längsseite mit Rundfenstern (bildet das Auflager für Bundträme)



Abbildung 6-11 Gegenüberliegende Längsseite der Außenwand

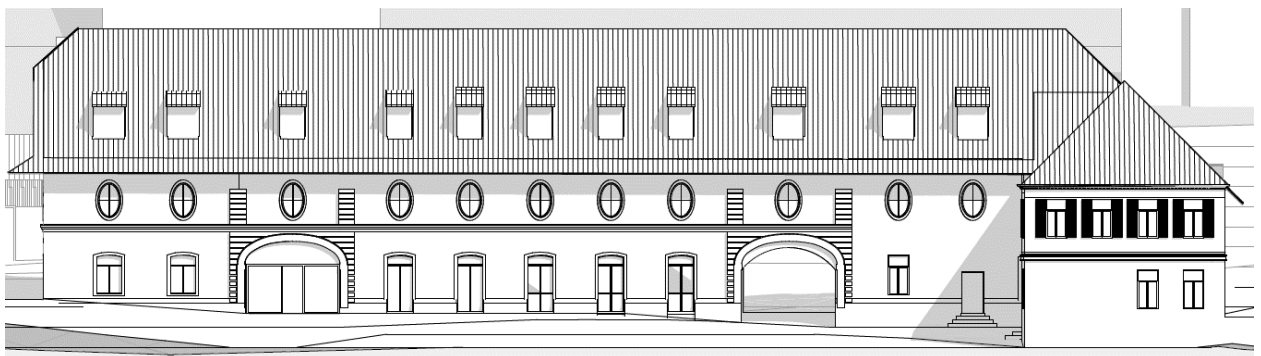
## 6-2 ENTWURF-NEUGESTALTUNG

Siehe auch [50]

Als Alternative zur aufwendigen Instandsetzung des beschädigten Dachstuhls wird nachfolgend die Erneuerung der Dachkonstruktion mit bewohnbarem Dachgeschoss vorgestellt.

Die ursprüngliche Dachform wird im Grunde beibehalten. Es werden lediglich Gauben in die Dachhaut eingefügt, um das Dachgeschoss mit natürlichem Licht zu versorgen. Die Gauben können im Einklang mit den darunterliegenden Fenstern ausgeführt werden (siehe Abbildung 6-12).

Wenn der Abbruch des Dachstuhls denkmalchutztechnisch vertretbar ist, sollte dieser geringfügige Eingriff in das äußere Erscheinungsbild unbedenklich sein.



**Abbildung 6-12 Ansicht neu mit Einzelgauben [50]**

## Raumkonzept

Im Zuge eines Entwurfs der freiraum ZT GmbH [50] wurde ein neues Raumkonzept für das Gebäude erstellt:

Im Erdgeschoss wird die Gewölbehalle mit den historischen Gusseisensäulen in einen Umschlagpunkt von Bioprodukten umfunktioniert. Das Konsumieren landwirtschaftlicher Produkte ist in der Halle, so wie vor dem Haus durch neue Fenstertüren möglich.

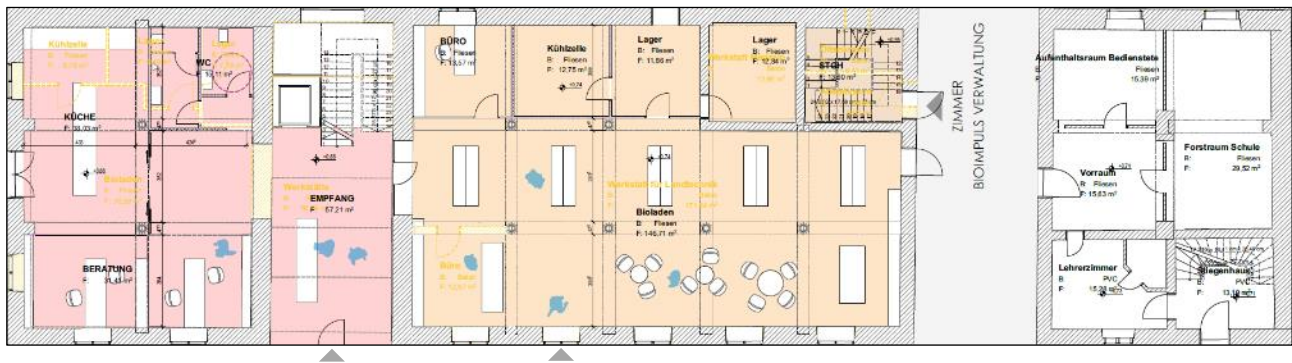


Abbildung 6-13 Erdgeschoss

Das Obergeschoss wird vollflächig nutzbar, somit können in diesem Bereich Büroflächen und Seminarräume untergebracht werden.

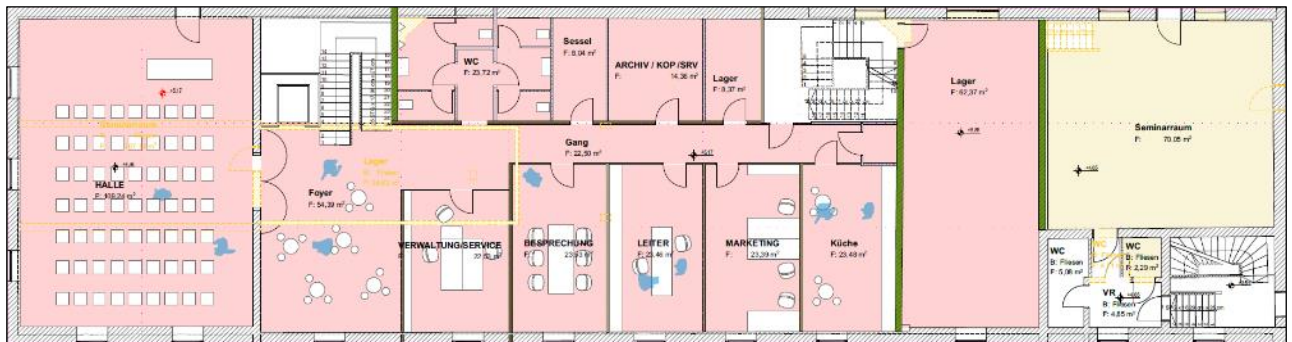


Abbildung 6-14 Obergeschoss

Im Dachgeschoss können über den gesamten Trakt bis zu 24 Schüler der Landwirtschaftsschule beherbergt werden.

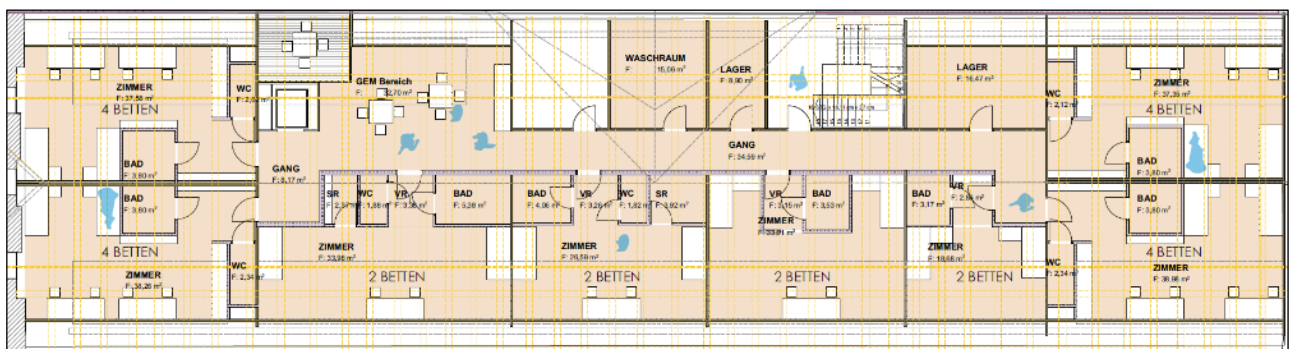


Abbildung 6-15 Dachgeschoss

### 6-3 TRAGWERKSPLANUNG

Die neue Dachkonstruktion des Hauptdachs wird durch einen Falwerkträger in Firstrichtung getragen.

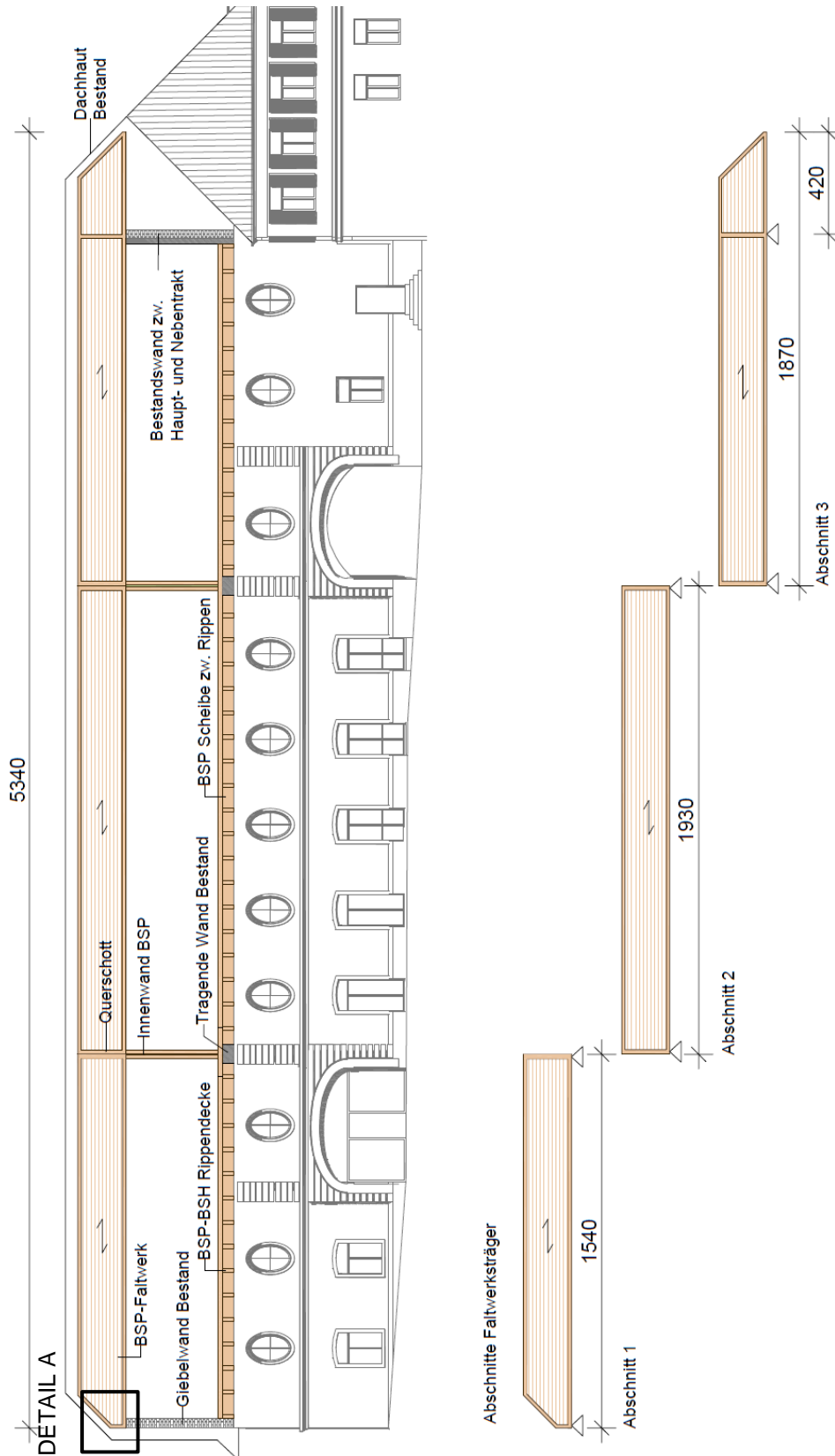
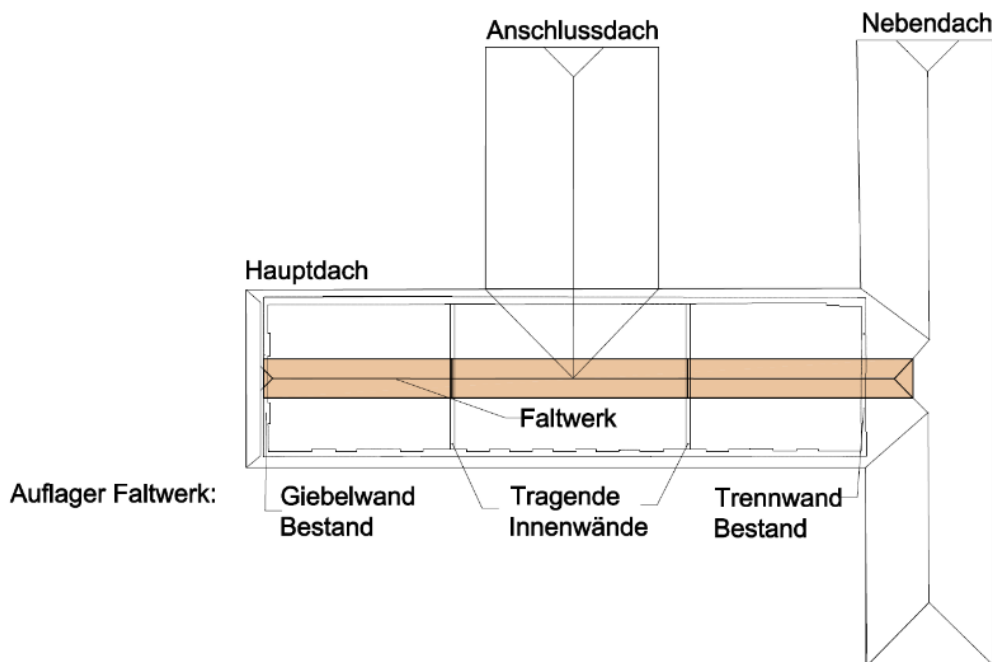


Abbildung 6-16 Abschnitte Falwerk - Primärtragkonstruktion [Maße in cm]

Das markierte DETAIL A wird im nächsten Kapitel 6-3-2 Detailausbildung beschrieben.

Aufgrund der maximalen Brettsperrholz-Produktionslänge von rund 20 m wird das Faltwerk mit einer Gesamtlänge von über 50 m in drei Abschnitten ausgeführt.

Jeder Faltwerksabschnitt liegt auf zwei Auflagern auf. An den Auflagern der Faltwerksabschnitte werden für die Aufnahme der Querkraft und zur Erhaltung der Formstabilität Querschotten angebracht. Die Auflager der Faltwerksabschnitte bilden die bestehende Giebelwand, die zwei tragenden Innenwände aus Brettsperrholz und die bestehende Trennwand zwischen dem Haupt- und Nebentrakt. Zur Vereinfachung wird das Anschlussdach nicht berücksichtigt.



**Abbildung 6-17 Überblick der Auflager der Faltwerk-Abschnitte**

Der erste Abschnitt des Faltwerks bedarf einer genaueren Untersuchung, ob eine Ausführung mit Walm direkt am Auflager realisierbar ist. Das Problem ist, dass der Querschott an diesem Auflager durch den Walm nicht vollflächig vorhanden ist. Alternativ muss auf den Walm verzichtet werden und ein gerader Abschluss geschaffen werden.

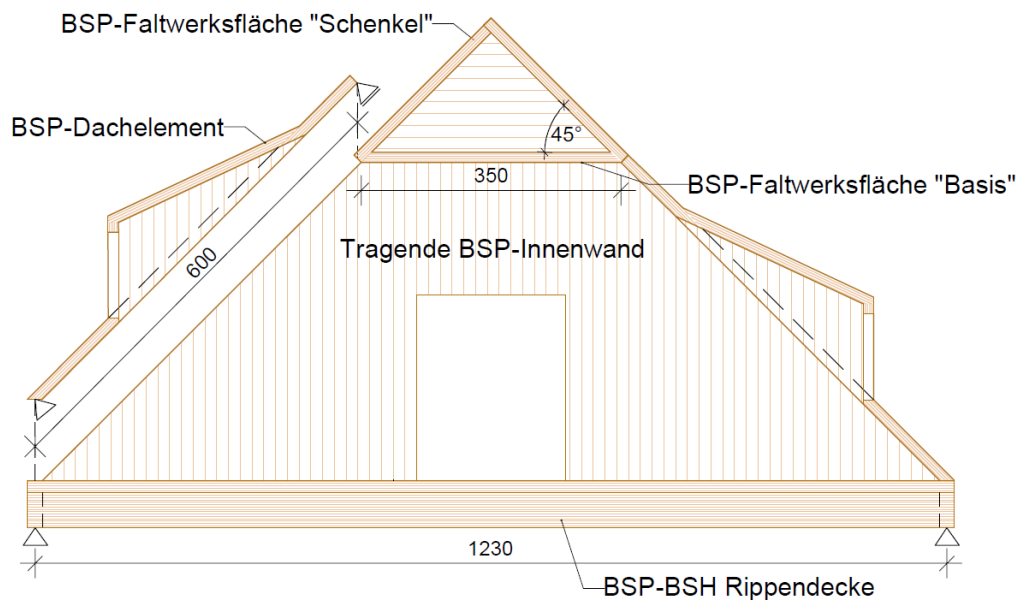
Bei der Auskragung des dritten Abschnittes stellt eine Walmausbildung kein Problem dar, da keine Auflagerkräfte auftreten. Der maßgebende Querschott wirkt vollflächig über dem Auflager der „Bestandstrennwand“.

### Tragfähigkeit Mauerwerk

Gemäß OIB Richtlinie 1 ist bei Um- oder Zubauten an Bestandsgebäuden eine Bestandserhebung der höchsten Stufe durchzuführen, da es zu einer wesentlichen Lasterhöhung kommt (siehe Kapitel 3-8.1). In dieser Arbeit wird eine ausreichende Tragfähigkeit des Bestandsmauerwerks angenommen.

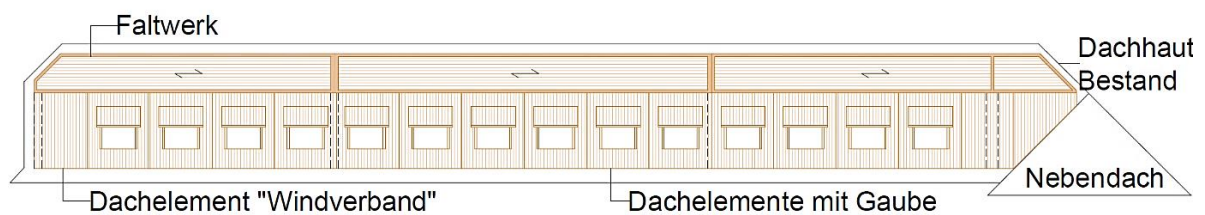


Die neue Geschosdecke des Obergeschosses wird als Rippendecke aus Holz ausgeführt. Sie wird über die Breite des Haupttraktes quer zum First gespannt. Als Auflager dienen die Bestandsmauern, auf denen zur Zeit die Bundträme aufliegen.



**Abbildung 6-18 Schnitt Tragwerk [Maße in cm]**

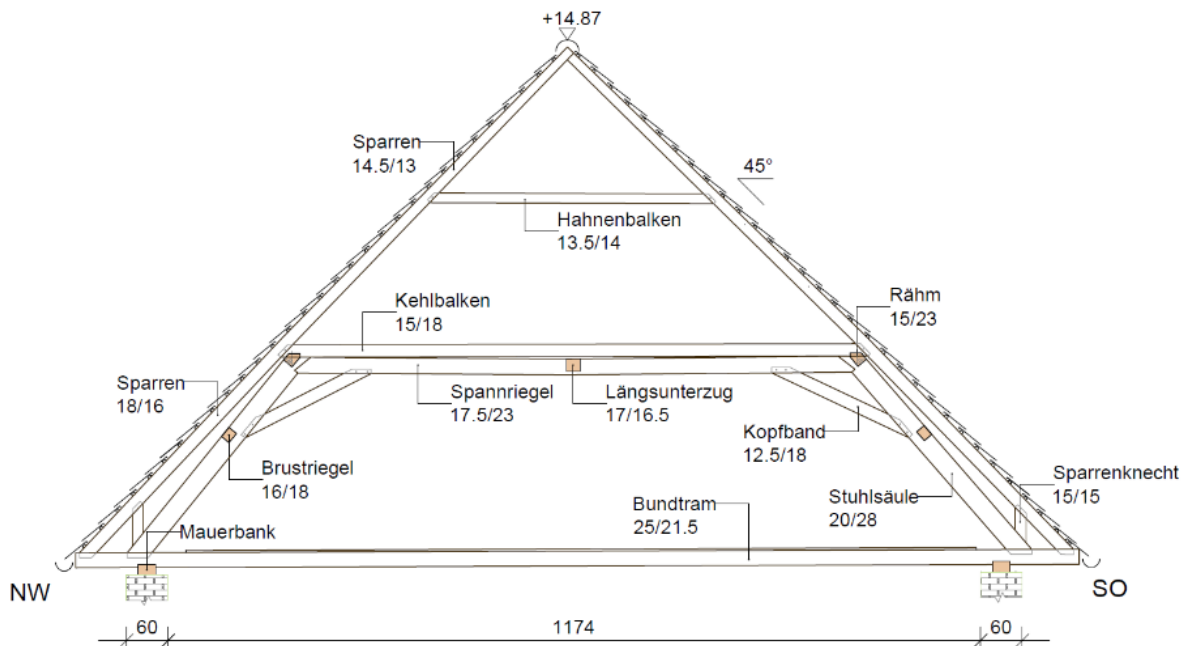
Das Faltwerk bildet das Auflager für die vorgefertigten Dachelemente. Diese werden in der Ebene angelehnt und vervollständigen die tragende Dachhaut. Bis auf die Randelemente könnte jedes Dachelement mit einer Gaube ausgebildet werden. Die Randelemente bleiben vollflächig und bilden einen Windverband für die Giebelwand angreifende Windkräfte.



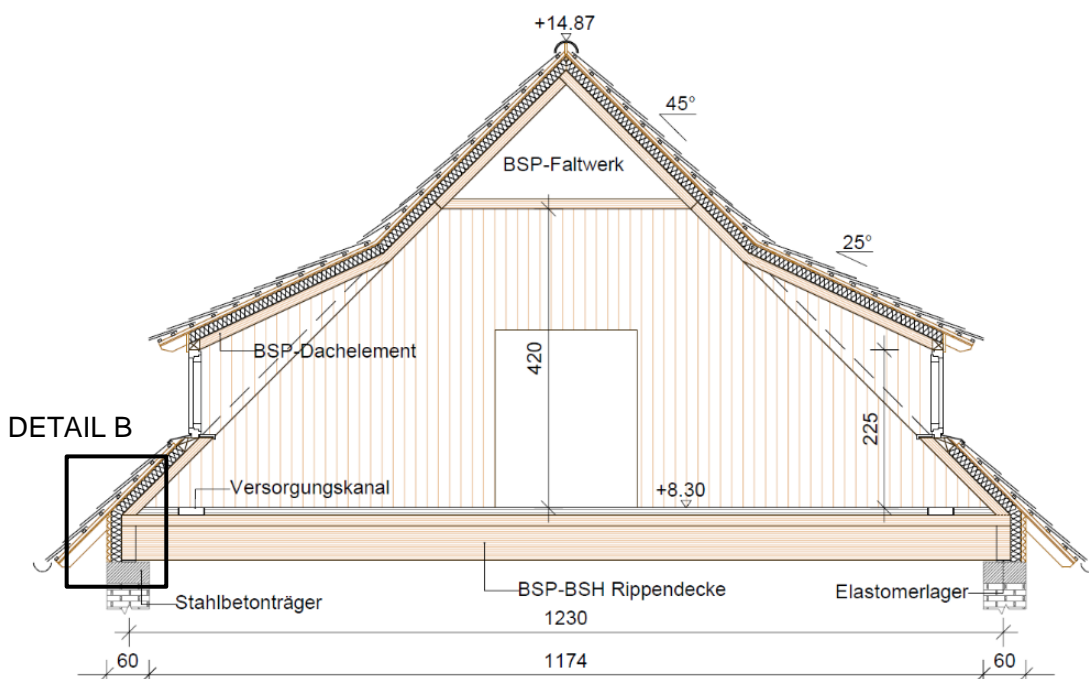
**Abbildung 6-19 Dachelemente**

### 6-3.1 SCHNITT BESTAND UND AUFSTOCKUNG

Die Firsthöhe des Bestandes wird nicht überschritten und die Dachdeckung kann nach dem Abtragen wieder übernommen werden. Somit bleibt das äußere Erscheinungsbild der Dachkonstruktion großteils dasselbe. Lediglich die Gauben verändern das Erscheinungsbild der Dachhaut geringfügig. Für die geplante Nutzung sind diese aber unabdinglich. Sie sorgen nicht nur für natürliches Licht im Dachraum, sondern erhöhen den begehbaren Flächenanteil maßgeblich (siehe Kapitel 3-8.3 OIB – Richtlinie 3 „Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz“).



**Abbildung 6-20 Schnitt Bestand [48] (eigene Bearbeitung) [Maße in cm]**



**Abbildung 6-21 Schnitt Dachraum neu [Maße in cm]**

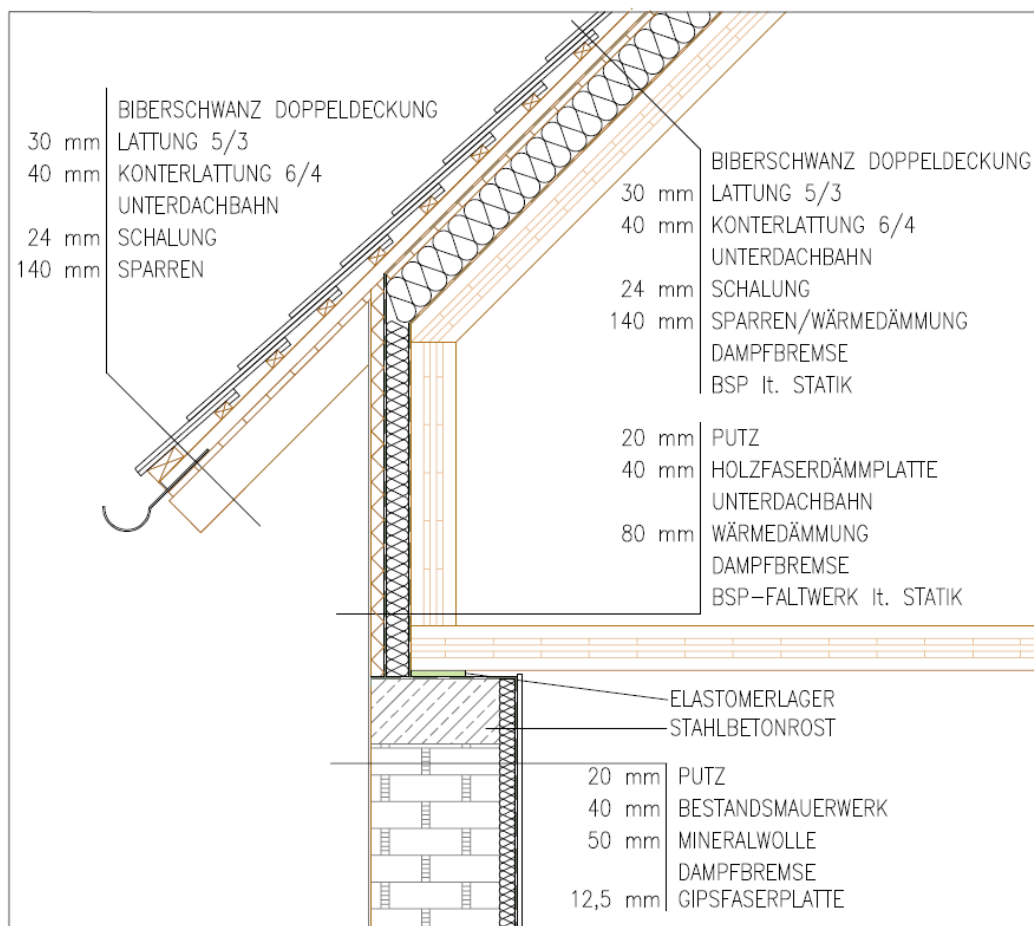
Das in der Abbildung markierte Detail B wird im nächsten Kapitel „Detailausbildung“ beschrieben.

## 6-3.2 DETAILAUSBILDUNG

### 6-3.2.1 DETAIL A - Auflager faltwerk

Der erste Abschnitt des faltwerks wird auf der bestehenden Giebelwand und einer tragenden Innenwand aus BSP gelagert. In der folgenden Abbildung ist das Auflager „Giebelwand“ ersichtlich. Es wird eine ausreichende Tragfähigkeit des Bestandsmauerwerks angenommen.

Die Lasteinleitung in das Bestandsmauerwerk sollte möglichst ohne Exzentrizitäten erfolgen. Aus diesem Grund wird über das gesamte Mauerwerk ein „Stahlbetonrost“ bis zur gewünschten Höhenkote aufgesetzt. Dieser gleicht Unebenheiten des bestehenden Mauerwerks aus und sorgt für eine gleichmäßige Lasteinwirkung in das darunterliegende Mauerwerk. Darauf wird ein Elastomer eingebracht, welches das faltwerk schwimmend lagert.



**Abbildung 6-22 Detail A Auflager faltwerk [Maße in mm]\***

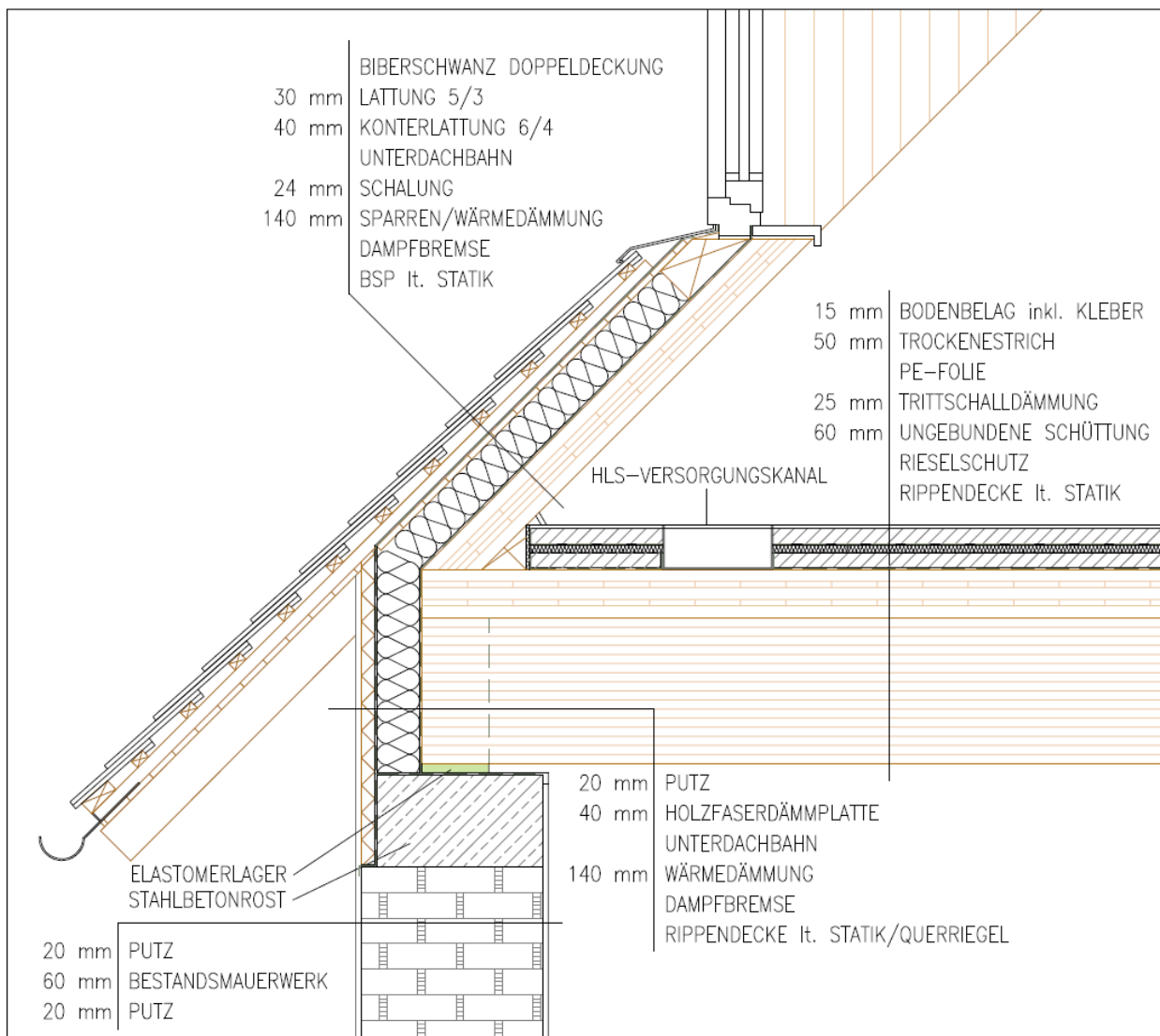
\*sofern die Ausbildung des Walms möglich ist

Eine maßgebliche Erhöhung der wärmetechnischen Gesamtqualität des Dachgeschosses wird durch die Innendämmung an der gesamten Giebelwand im Dachgeschoss erreicht.

## 6-3.2.2 DETAIL B - Auflager Rippendecke

Die Lasteinleitung der Rippendecke gleicht der Lasteinleitung des Faltdachs. Der „Stahlbetonrost“ dient zum Ausgleich der Unebenheiten und zur gleichmäßigen Lasteinleitung in das Bestandsmauerwerk. Auf dem Elastomerlager werden die BSH-Rippen und die BSP-Querriegel zwischen den Rippen gelagert.

Um den Trittschall bestmöglich zu dämpfen wird zusätzlich zur Trittschalldämmung eine ungebundene Schüttung eingebracht. Die Entkoppelung zwischen Rippendecke und Mauerwerk durch das Elastomerlager verringert die Trittschallübertragung ebenso.



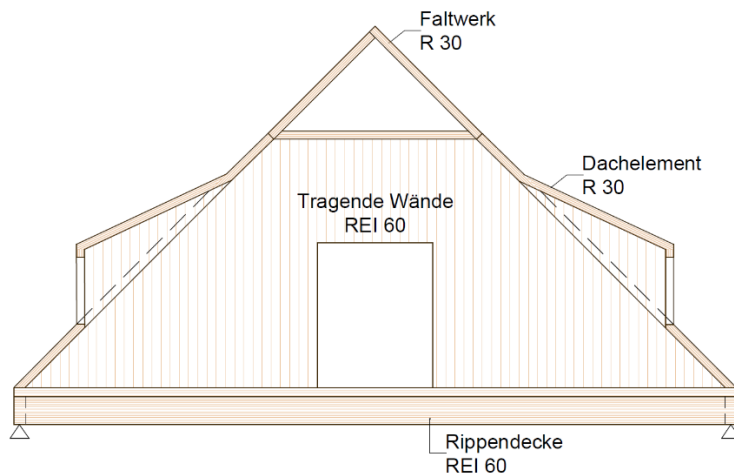
**Abbildung 6-23 Detail B Auflager Rippendecke [Maße in mm]**

Um den Wärmedurchlasswiderstand in der Ebene des Stahlbetonrostes zu erhöhen, wird die Holzfaserdämmplatte bis zur Unterkante des Stahlbetonrostes verlängert. Diese leicht dezentrale Lasteinleitung in das Bestandsmauerwerk sollte bei der gegebenen Mauerwerksstärke kein Problem darstellen.

### 6-3.3 BRANDSCHUTZ

Siehe Kapitel 3-8.2 OIB-Richtlinie 2 [23].

Das betrachtete Gebäude fällt in die Gebäudeklasse 4. Der Haupttrakt mit der geplanten Aufstockung stellt einen Brandabschnitt dar. Die Rippendecke in der Kategorie „Trenndecken über oberirdischen Geschossen“ hat gemäß Anforderung REI 60 auszuführen. Für Decken und Dachschrägen im obersten Geschoss mit einer Neigung  $\leq 60^\circ$  und sonstiger tragender Bauteile im obersten Geschoss gilt die Anforderung R 30. Dies betrifft das gesamte faltwerk inkl. Querschotten und die Dachelemente.



**Abbildung 6-24 Brandschutzanforderungen**

### 6-3.4 FEUCHTESCHUTZ

Siehe auch ÖNORM B 8110-2 [51] und OIB Richtlinie 6 [28]

Bauteile, insbesondere Holzbauteile, sind vor Feuchtigkeit zu schützen, um Feuchteschäden zu vermeiden. Zwei ausgewählte Eckpunkte der Konstruktion werden nachstehend mit der Bauphysik-Software „HTflux“ auf Kondensat- und Schimmelbildung überprüft.

#### Überprüfung auf Kondensat- und Schimmelbildung

Das zu überprüfende Detail wird in der Software „HTflux“ konstruiert. Materialien werden zugewiesen, ebenso wie die Randbedingungen des Innen- und Außenklimas. Zu beachten ist, dass für die Ermittlung von Kondensat und Schimmel unterschiedliche Randbedingungen zu verwenden sind.

Die Simulation erfolgt im kritischen Monat. Der Monat mit der Kombination aus einer hohen Luftfeuchtigkeit und einer niedrigen Temperatur. Entsteht bei diesen Bedingungen keine Feuchtigkeit, dann wird dies in den anderen Monaten auch nicht der Fall sein.

Ermittelt wird die Oberflächentemperatur der Bauteilinnenseite. Diese ist in Bauteilecken aufgrund der hohen, der Außentemperatur ausgesetzten, Oberfläche am niedrigsten. Daher wird der Firstbereich und das Detail B (Dachelement-Rippendecke) überprüft.

Die Einzelbauteile der genannten Details sind gemäß ÖNORM B 8110-2 nachweisfreie Konstruktionen, da diese Beispiele bewährter Bauteilkonstruktionen sind und auch ohne rechnerischen Nachweis kein schadensverursachendes Kondensat im Inneren von Bauteilen erwartet wird. Zur Vollständigkeit werden diese jedoch trotzdem überprüft.

Definitionen HTflux:

$T_{\min}$	Niedrigste raumseitige Oberflächentemperatur
$T_{RH80\%,\text{Schimmel}}$	Schimmelgrenztemperatur: kleinste zulässige raumseitige Oberflächentemperatur bei der die Raumluft abgekühlt 80% relative Feuchtigkeit erreicht
$T_{RH100\%,\text{Kondensat}}$	Taupunkttemperatur: kleinste zulässige raumseitige Oberflächentemperatur bei der die Raumluft abgekühlt 100% relative Feuchtigkeit erreicht
$f_{Rsi}^*$	Temperaturfaktor für die raumseitige Oberfläche abhängig von inneren Oberflächentemperatur, Außenlufttemperatur und Innenlufttemperatur
$f_{Rsi,RH80\%,\text{Schimmel}}$	mindest erforderlicher Temperaturfaktor
$f_{Rsi,RH100\%,\text{Kondensat}}$	mindest erforderlicher Temperaturfaktor

**Materialkennwerte**

Die Kennwerte der verwendeten Materialien wurden hauptsächlich aus der ÖNORM B 8110-7 [52] entnommen.

Bezeichnung	$\lambda$ [W/(mK)]	$C_p$ [J/(kgK)]	$\mu$ [-]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$d$ [mm]	Literaturquelle
Brettsper Holz	0,12	1600	50/20	385		ETA 12/0281
Rieselschutz	2,3	1000	300	450	0,10	Pro clima Datenblatt
Schüttung EPS-Granulat	0,055	1250	6	108		ÖN B 8110-7:2013
Trittschalldämmung EPS-T	0,044	1450	30	11		ÖN B 8110-7:2013
Estrich	1,10	1080	35/15	1600		ÖN B 8110-7:2013
Eiche-Parkett	0,16	1600	200/50	675		ÖN B 8110-7:2013
PE-Folie	0,50	1800	100000	980	0,20	ÖN B 8110-7:2013
Außenputz	0,78	1000	35/15	1600		ÖN B 8110-7:2013
Mauerziegel voll+ Normalmauermörtel	0,67	1000	10/5	1600		ÖN B 8110-7:2013
Beton	1,36	1000	100/60	2000		ÖN B 8110-7:2013
Gips-Kalk-Innenputz	0,36	1000	20/50	110		ÖN B 8110-7:2013
Holzfaserdämmplatte	0,051	1700	10/5	180		ÖN B 8110-7:2013
Fichte	0,12	1600	50/20	475		ÖN B 8110-7:2013
PE-Folie Dampfbremse	0,33	2200	100000	920	0,20	ÖN B 8110-7:2013
Wärmedämmstoff (Hanffaser)	0,041	1600	1	41		ÖN B 8110-7:2013
Unterdachbahn-Polyestervlies	0,05	1000	150	330	1,00	ISOCELL Datenblatt
Mineralwolle	0,035	1030	1	40		ÖN B 8110-7:2013
Gipsfaserplatte	0,40	1000	10/4	1125		ÖN B 8110-7:2013

**Tabelle 6-1 Materialkennwerte für Htflux - Simulation**

Dabei sind:

- d .....anzugebene Stärke [mm] (restliche Materialstärken aus Details entnommen)
- $\lambda$  .....Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]
- $c_p$  .....spezifische Wärmekapazität [J/(kgK)]
- $\mu$  .....Wasserdampfdiffusionswiderstand im trockenen/feuchten Zustand [-]
- $\rho$  .....Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>]

## Wärmeübergangswiderstand

Der Wärmeübergangswiderstand innen ist in der Regel mit  $R_{s,i} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$  anzunehmen. Für außenseitige Oberflächen ist der Wert  $R_{s,e} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$  anzunehmen.

Das Kaldach wird bis zur Hinterlüftungsebene (inkl. Unterdachbahn) modelliert. Da der Wärmeübergang in der Hinterlüftungsebene dem eines Innenraumes gleicht, ist an dieser Oberfläche der Wärmeübergangswiderstand  $R_{s,e} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$  anzunehmen.

### 6-3.4.1 Schimmelbildung

Der kritische Monat für das Risiko von Schimmelbildung ist Dezember.

## Innenklima

Monat	$\theta_{i,m}$	$p_{i,m,s}$	$v_{i,m,s}$	$v_{i,m}$	$\varphi_{i,m}$	$f_{Rsi}$
	°C	Pa	$\text{g/m}^3$	$\text{g/m}^3$	%	
Jänner	22,00	2642	19,40	9,42	49	0,68
Februar	22,00	2642	19,40	9,83	51	0,67
März	22,00	2642	19,40	9,57	49	0,54
April	22,00	2642	19,40	10,00	52	0,44
Mai	24,07	2995	21,83	10,80	49	0,20
Juni	25,95	3350	24,27	11,83	49	0,00
Juli	26,90	3542	25,58	13,43	53	0,04
August	26,49	3458	25,01	12,73	51	0,01
September	24,68	3106	22,60	12,45	55	0,34
Oktober	22,00	2642	19,40	11,38	59	0,60
November	22,00	2642	19,40	10,42	54	0,66
Dezember	22,00	2642	19,40	9,92	51	0,69

**Tabelle 6-2 Innenrandbedingungen für Schimmelbildung [51]**

## Außenklima

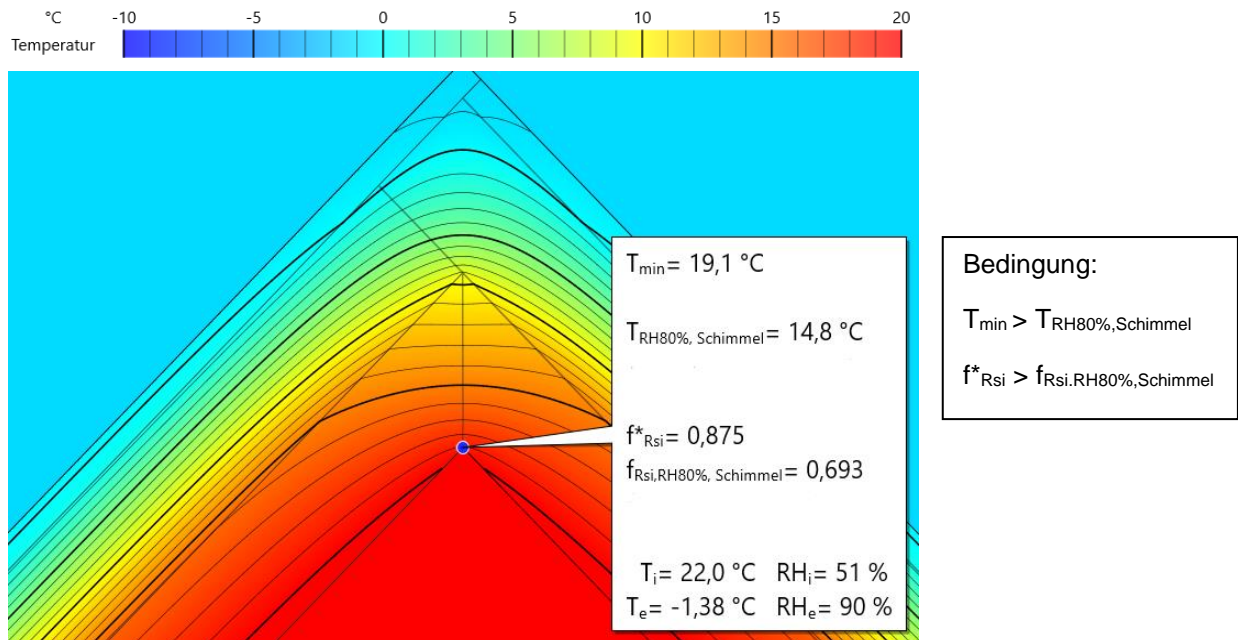
Monat	$\theta_{e,m}$	$p_{e,m,s}$	$v_{e,m,s}$	$\varphi_{e,m}$	$v_{e,m}$	$\Delta v_m$
	°C	Pa	$\text{g/m}^3$	%	$\text{g/m}^3$	$\text{g/m}^3$
Jänner	-2,63	491	3,93	87	3,42	6,00
Februar	0,17	618	4,90	79	3,87	5,96
März	4,89	865	6,74	72	4,85	4,72
April	9,74	1206	9,24	71	6,56	3,44
Mai	14,14	1612	12,16	70	8,51	2,29
Juni	17,89	2049	15,26	69	10,53	1,30
Juli	19,80	2308	17,07	74	12,63	0,80
August	18,98	2193	16,27	72	11,71	1,02
September	15,36	1744	13,10	80	10,48	1,97
Oktober	9,72	1204	9,22	86	7,93	3,45
November	3,43	781	6,12	87	5,32	5,10
Dezember	-1,38	545	4,35	90	3,92	6,00

**Tabelle 6-3 Außenrandbedingungen [51]**

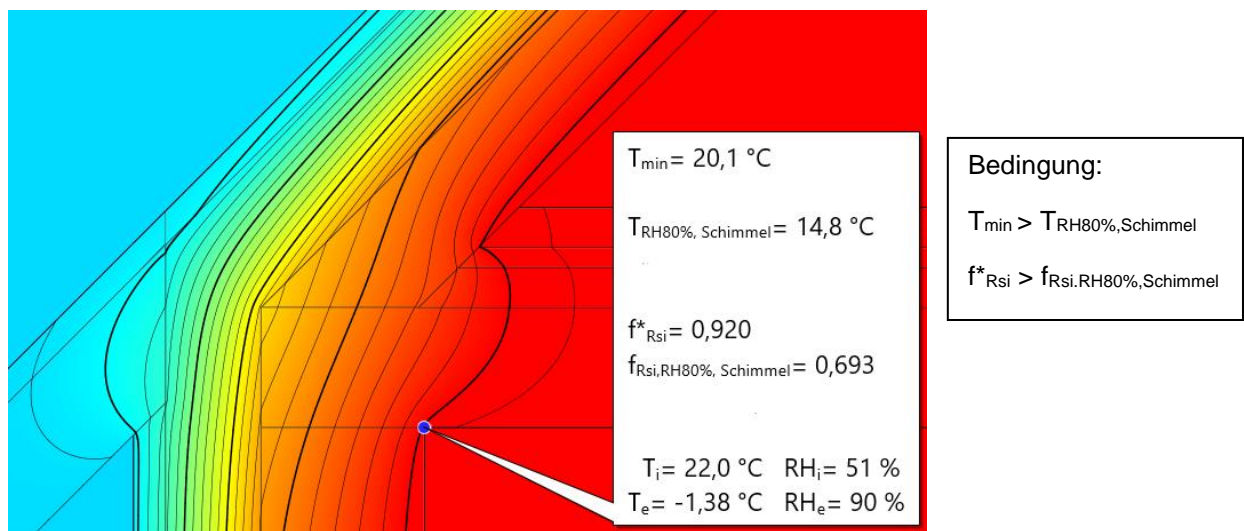


**Simulation HTflux**

Aus den Randbedingungen ergeben sich die Grenzwerte  $T_{RH80\%,\text{Schimmel}}$  und  $f_{Rsi,RH80\%,\text{Schimmel}}$  und aus der Simulation des Detailpunktes ergeben sich die Mindestwerte  $T_{\min}$  und  $f^*_{Rsi}$ .



**Abbildung 6-25 Schimmelbildung – Firstdetail**



**Abbildung 6-26 Schimmelbildung Detail B**

Die geringste simulierte Oberflächentemperatur in den Ecken der untersuchten Details ist höher als die Schimmelgrenztemperatur und der simulierte Temperaturfaktor ist höher als der Mindesttemperaturfaktor. Aufgrund der Einhaltung der Bedingungen besteht kein Risiko einer Schimmelbildung.

### 6-3.4.2 Kondensat an der inneren Bauteiloberfläche

Der kritische Monat für das Risiko von Kondensatbildung an der inneren Bauteiloberfläche ist der Dezember. Die Feuchte- und Temperaturwerte werden dazu neu ermittelt.

#### Außenklima

Für die Berechnung des Temperaturfaktors zur Ermittlung von Kondensatbildung ist als Außenlufttemperatur entweder  $-16^{\circ}\text{C}$  oder der mittlere jährliche Tiefstwert des Temperatur-Tagesmittels (Graz  $-8^{\circ}\text{C}$ ) anzusetzen. Folgend wird mit  $-8^{\circ}\text{C}$  gerechnet. Die relative Luftfeuchtigkeit von 90% wird der Tabelle 6-3 Außenrandbedingungen entnommen.

#### Innenklima

Die Innenlufttemperatur von  $22^{\circ}\text{C}$  wird aus der Tabelle 6-2 Innenrandbedingungen für Schimmelbildung entnommen. Die relative Luftfeuchtigkeit wird mit folgenden Formeln gemäß ÖNORM EN ISO 13788 [53] berechnet.

$$\varphi_{i,m} = \frac{v_{i,m}}{v_{i,m,s}} \quad (6.1)$$

$\varphi_{i,m}$  ..... tatsächliche volumenbezogene Luftfeuchtigkeit innen [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

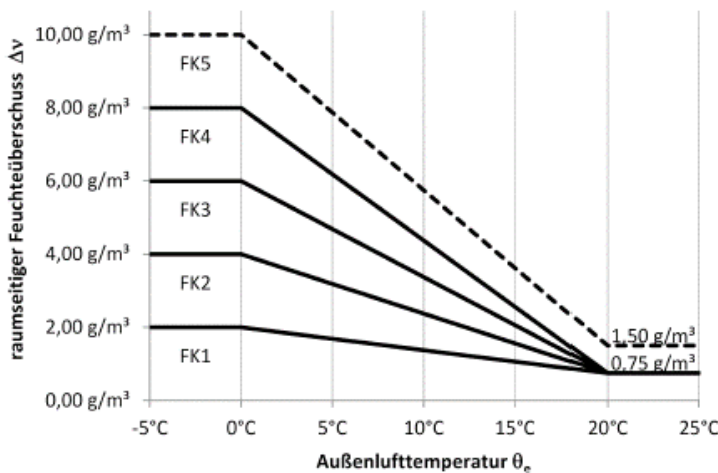
$v_{i,m}$  ..... volumenbezogene Luftfeuchte innen [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$v_{i,m,s}$  ..... volumenbezogene Luftfeuchte der gesättigten Luft innen [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$$v_{i,m} = \Delta v_m + v_{e,m} \quad (6.2)$$

$\Delta v_m$  ..... raumseitiger Feuchteüberschuss ergibt sich aus Abbildung 6-27 mit  $6,00 \text{ g}/\text{m}^3$ .

$v_{e,m}$  ..... volumenbezogene Luftfeuchte der Luft außen [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]



**Abbildung 6-27 raumseitiger Feuchteüberschuss [51]**

Die volumenbezogene Luftfeuchtigkeit außen ergibt sich aus:

$$v_{e,m} = v_{e,m,s} * \varphi_{e,m} \quad (6.3)$$

$v_{e,m}$  ..... volumenbezogene Luftfeuchte außen [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$v_{e,m,s}$  ..... volumenbezogene Luftfeuchte der gesättigten Luft außen [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$\varphi_{e,m}$  ..... tatsächliche volumenbezogene Luftfeuchtigkeit außen [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$\varphi_{e,m} = 90\%$  Kritischer Monat Dezember aus Tabelle 6-3 Außenrandbedingungen

$$v_{e,m,s} = \frac{p_{sat,e}}{R_v * T_e} \tag{6.4}$$

$$\rho_{sat,e} = 610,5 e^{\frac{21,875 \theta}{265,5 + \theta}} \quad \text{für } \theta < 0^\circ C \tag{6.5}$$

- $\rho_{sat,e}$  ..... Sättigungsdampfdruck [Pa]
- $R_v$  ..... Gaskonstante für Wasserdampf = 462 [Pa m<sup>3</sup>/K kg]
- $\theta_e$  ..... außenseitige Temperatur [°C]
- $T_e$  ..... Außentemperatur [K]

Die volumenbezogene Luftfeuchte der gesättigten Luft innen ergibt sich aus:

$$v_{i,m,s} = \frac{p_{sat,i}}{R_v * T_i} \tag{6.6}$$

$$\rho_{sat,i} = 610,5 e^{\frac{17,269 \theta}{237,3 + \theta}} \quad \text{für } \theta \geq 0^\circ C \tag{6.7}$$

- $\rho_{sat,i}$  ..... Sättigungsdampfdruck [Pa]
- $R_v$  ..... Gaskonstante für Wasserdampf = 462 [Pa m<sup>3</sup>/K kg]
- $\theta_i$  ..... raumseitige operative Temperatur [°C]
- $T_i$  ..... Innentemperatur [K]

Über das Jahr ergeben sich folgende Innentemperaturen mit zugehöriger Luftfeuchtigkeit:

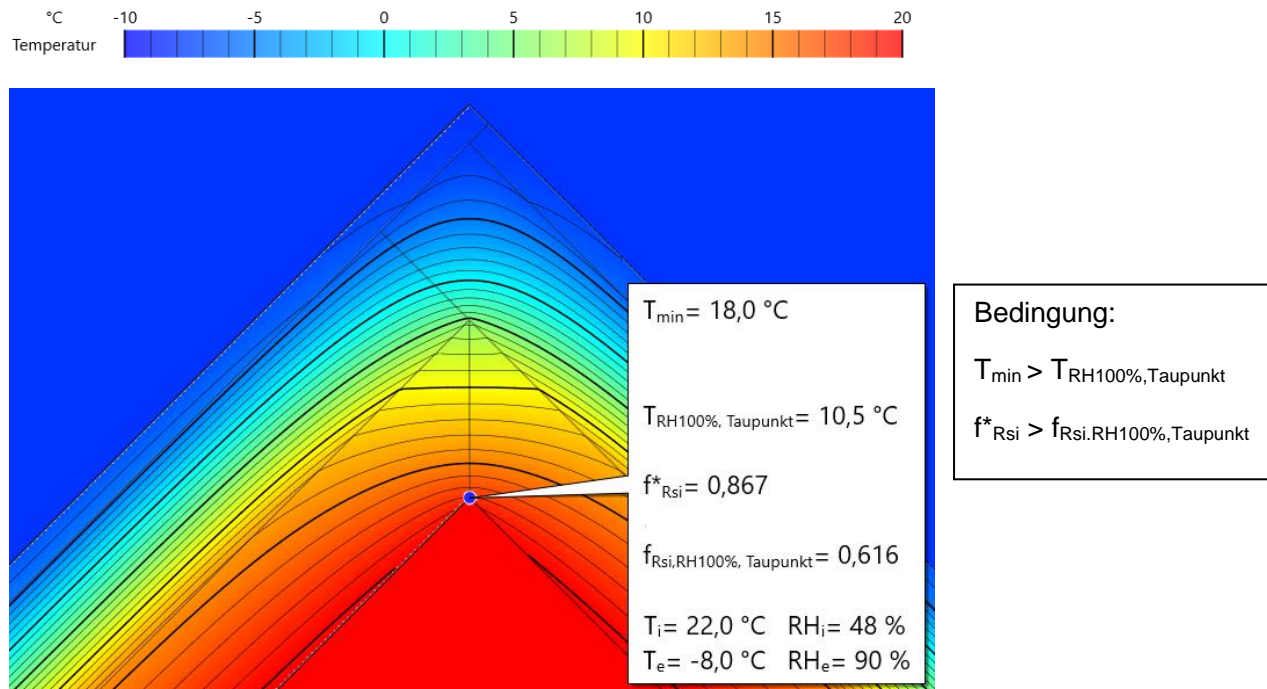
Monat	$\theta_i$ [°C]	$\varphi_{i,m}$ [%]
Januar	22,0	46
Februar	22,0	48
März	22,0	49
April	22,0	50
Mai	23,1	50
Juni	24,9	49
Juli	25,9	52
August	25,5	51
September	23,7	55
Oktober	22,0	56
November	22,0	53
Dezember	22,0	48

**Tabelle 6-4 Randbedingungen Innenraum**

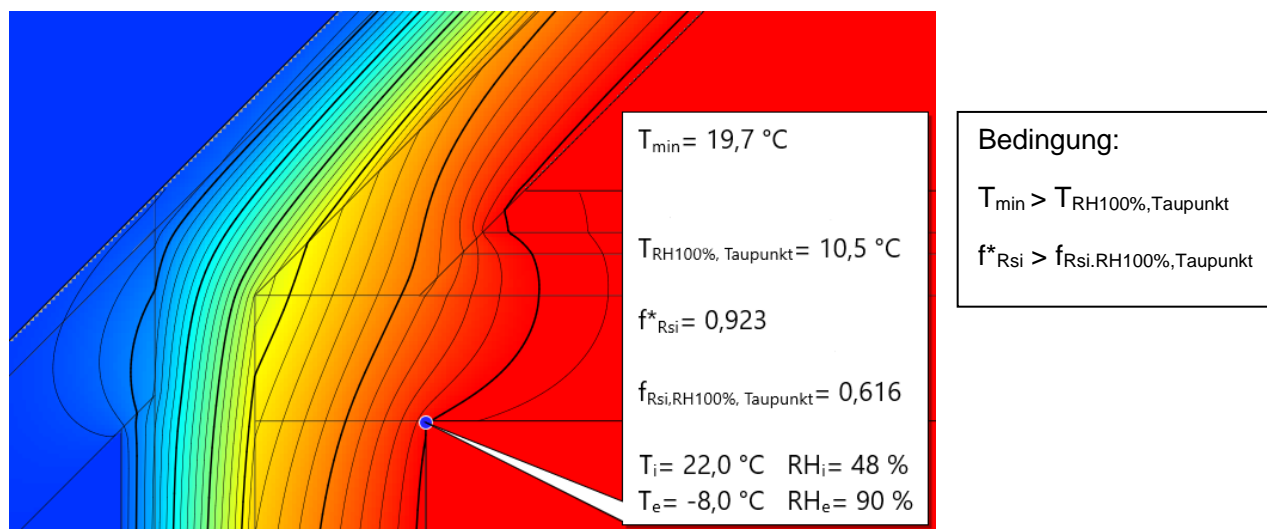
Mit den Werten des kritischen Monats Dezember wird die Simulation in HTflux durchgeführt.

**Simulation HTflux**

Aus den Randbedingungen ergeben sich die Grenzwerte  $T_{RH100\%, Taupunkt}$  und  $f_{Rsi, RH100\%, Taupunkt}$  und aus der Simulation des Detailpunktes ergeben sich die Mindestwerte  $T_{min}$  und  $f^*_{Rsi}$ .



**Abbildung 6-28 Oberflächenkondensat - Firstdetail**



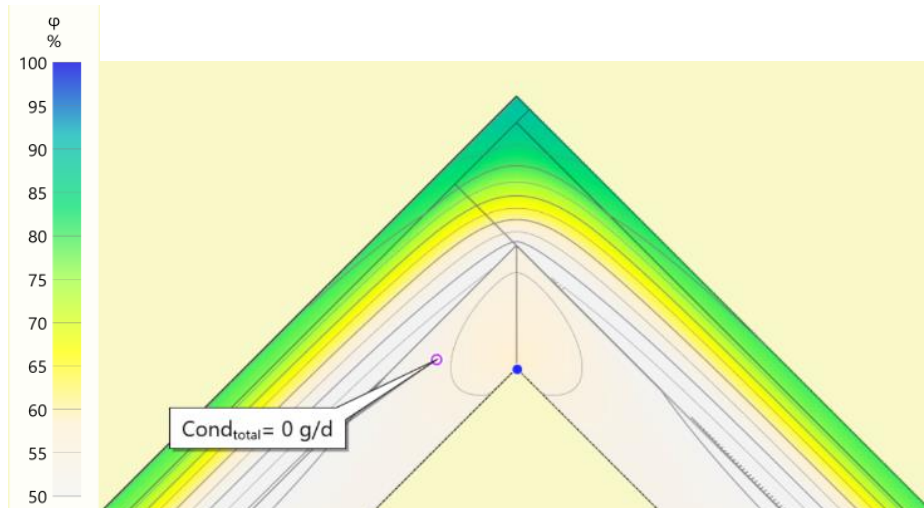
**Abbildung 6-29 Oberflächenkondensat – Detail B**

Nachdem die bestehende Oberflächentemperatur höher als die Taupunkttemperatur ist, und der bestehende Temperaturfaktor höher als der Mindesttemperaturfaktor ist, besteht kein Risiko einer Kondensatbildung.

### 6-3.4.3 Kondensat im Bauteil

Zur Ermittlung von Kondensat im Bauteil wird das von HTflux entwickelte Glaser 2D – Verfahren angewendet. Das Verfahren ist bezüglich der Vorhersage von Kondensatbildung konservativ.

Für das Verfahren wurden die Randbedingungen aus Kondensat an der inneren Bauteiloberfläche verwendet. Es wurden 2000 Simulationsschritte durchgeführt.



**Abbildung 6-30 Kondensat im Bauteil - DetailB**



**Abbildung 6-31 Kondensat im Bauteil - DetailB**

In den beiden Details ergibt sich kein Kondensat  $cond_{total} = 0 \text{ g/d}$ .

### Schlussfolgerung

Die vorgestellten Simulationsergebnisse zeigen, dass die Bauteile ausreichend vor Schimmel- und Kondensatbildung geschützt sind. Der Feuchteschutz wird somit erfüllt.

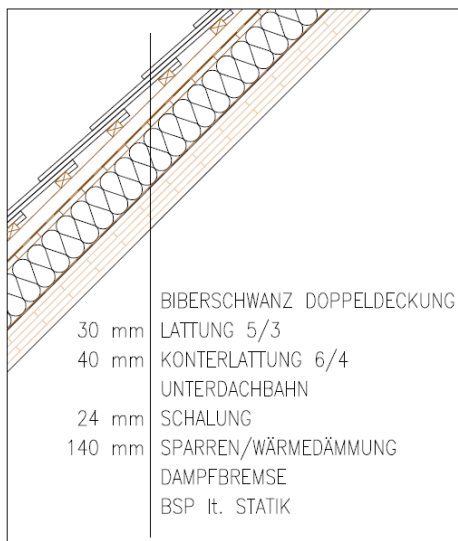
## 6-4 LASTAUFSTELLUNG

Die Lastaufstellung wurde gemäß ÖNORM EN 1991-1-1, ÖNORM B 1991-1-1, ÖNORM EN 1991-1-3, ÖNORM B 1991-1-3, ÖNORM EN 1991-1-4 und ÖNORM B 1991-1-4 durchgeführt.

### 6-4.1 EIGENGEWICHT

#### 6-4.1.1 Dachaufbau

Es handelt sich um ein hinterlüftetes Kaldach mit einer Eindeckung aus doppelt verlegten Biberschwanzziegeln.



**Abbildung 6-32 Dachaufbau**

Die Eigenlast der BSP-Elemente wird im Programm „RFEM“ mit  $\gamma = 5,00 \text{ kN/m}^3$  mitberücksichtigt. Die anzusetzende Auflast des Dachaufbaues setzt sich folgend zusammen:

	Dicke [mm]	Wichte [ $\text{kN/m}^3$ ]	Flächenlast [ $\text{kN/m}^2$ ]
<i>Biberschwanzziegel doppelt</i>	-	-	0,90
<i>Dachlattung (3/5)</i>	30	5,50	0,06
<i>Konterlattung (4/6)</i>	40	5,50	0,05
<i>Unterdachbahn</i>	-	-	-
<i>Schalung</i>	24	5,50	0,13
<i>Dämmung/Sparren</i>	140	2,00/5,50	0,41
<i>Dampfbremse</i>	-	-	-
			<b><math>\Sigma</math> 1,55 <math>\text{kN/m}^2</math></b>

Die Eigenlast der BSP-Elemente inkl. der ermittelten Auflast ergibt den Lastfall 1 (LF1).

### 6-4.2 NUTZLAST

Die Nutzlasten für Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten auf dem Dach werden gemäß ÖNORM EN 1991-1-1 vernachlässigt.

### 6-4.3 WINDLAST

Für den Standort Graz ergeben sich folgende Werte:

- Geländekategorie: III (Vorstadt, Stadtrand)
- Basisgeschwindigkeit:  $v_{b,0} = 20,4 \text{ m/s}$
- Basisgeschwindigkeitsdruck  $q_{b,0} = 0,26 \text{ kN/m}^2$

#### Windlast auf Dachfläche

Dachneigung:  $\alpha = 45^\circ$

Da die Dachform beibehalten wird, kann die Windlastberechnung der statischen Analyse des Bestandes (siehe [48]) übernommen werden.

Aus der Überlagerung der Außendruckbeiwerte für die Anströmrichtung  $\Theta = 90^\circ$  und  $\Theta = 0^\circ$  mit den ungünstigen  $c_{pi}$ -Werten (Innendruck:  $c_{pi} = +0,2$  bzw. Innensog:  $c_{pi} = -0,3$ ) ergeben sich folgende Lastfälle:

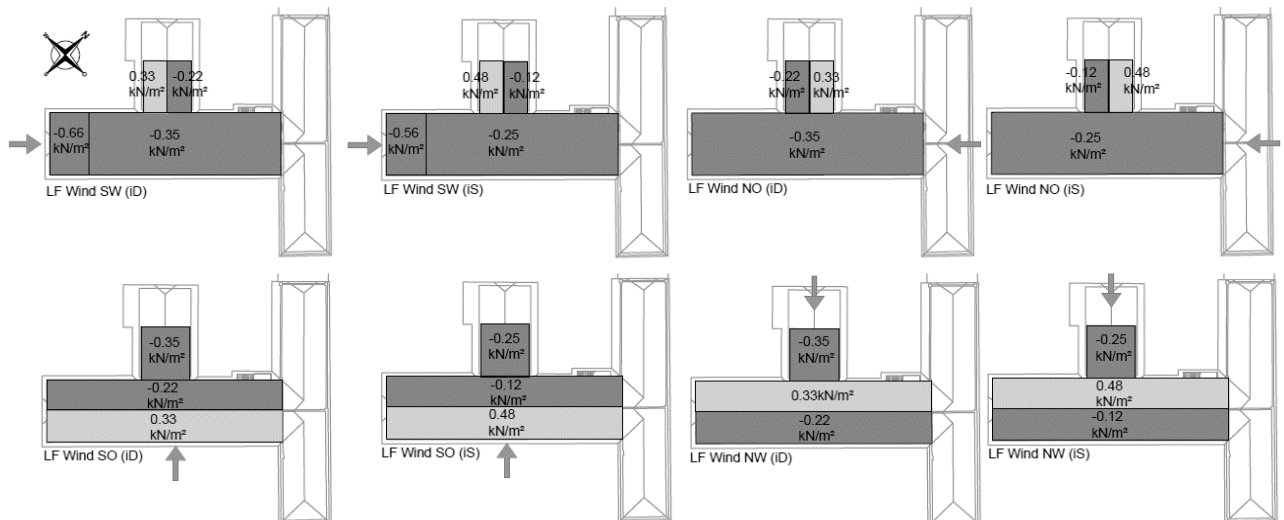


Abbildung 6-33 Lastfälle Windlast (iD Innendruck, iS Innensog) [48]

Die für die Bemessung maßgebenden Lastfälle sind in der Abbildung 6-34 ersichtlich.

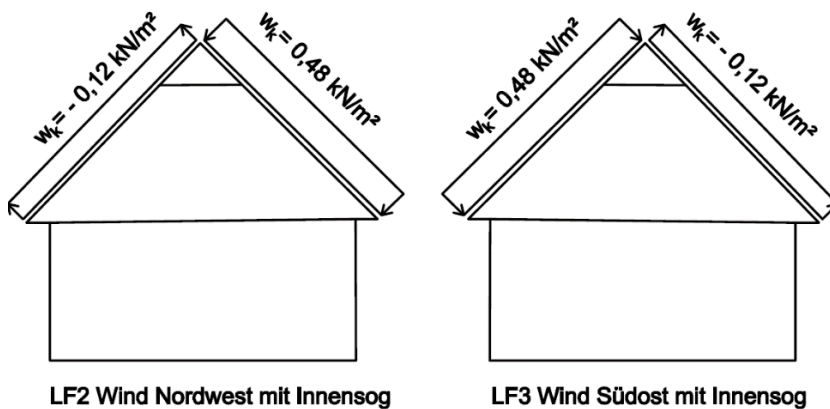


Abbildung 6-34 maßgebende Lastfälle der Windlast auf der Dachfläche

Mit dem Höchstwert des Windsoges an den Dachflächen  $w_k = 0,66$  wird die Gefahr des Abhebens untersucht. Die Eigenlast wirkt in diesem Fall günstig  $\gamma_G = 1,0$  und der Windsog ungünstig  $\gamma_Q = 1,5$ .

$$\gamma_G \cdot e_k \cdot \cos(\alpha) \geq \gamma_Q \cdot w_k$$

$$1,0 \cdot 1,55 \cdot \cos(45^\circ) \geq 1,5 \cdot 0,66$$

$$1,10 > 0,99$$

Aufgrund des hohen Eigengewichts der Biberschwanzziegel besteht keine Gefahr des Abhebens.

### Windlast auf Stirnseite Falwerk (Giebelwand)

Windrichtung SW und NO

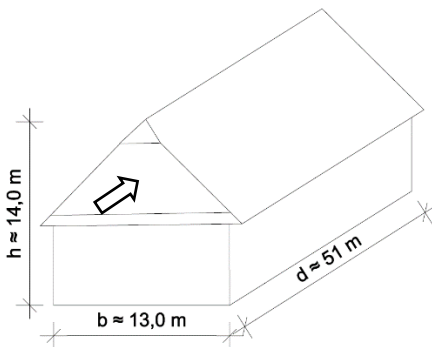


Abbildung 6-35 Abmessungen Hauptdach [Maße in m, aufgerundet]

Luvfläche:

Druckbeiwerte  $c_{pe,10} = 0,80$

$$c_{pe,1} = 1,00$$

Innensog  $c_{pi} = -0,3$

Der Winddruck auf die Giebelwand ist mit  $w_k = 0,55 \text{ kN/m}^2$  anzusetzen.

Die für die Bemessung maßgebenden Windlastfälle sind in Abbildung 6-36 ersichtlich.

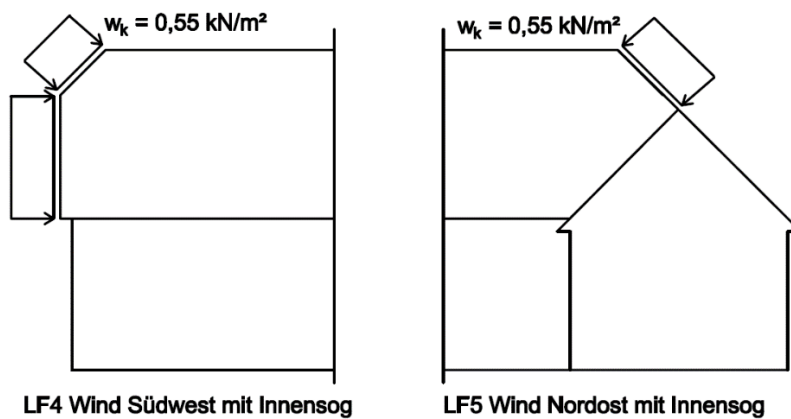


Abbildung 6-36 Lastfälle der Windlast an den Stirnseiten



### 6-4.4 SCHNEELAST

Standort: Graz – Wetzelsdorf:

- Seehöhe 369 m ü.NN
- Lastzone 2
- Charakteristische Schneelast am Boden  $s_k = 1,65 \text{ kN/m}^2$

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (6.8)$$

Charakteristische Schneelast am Dach  $s_k = 1,32 \text{ kN/m}^2$

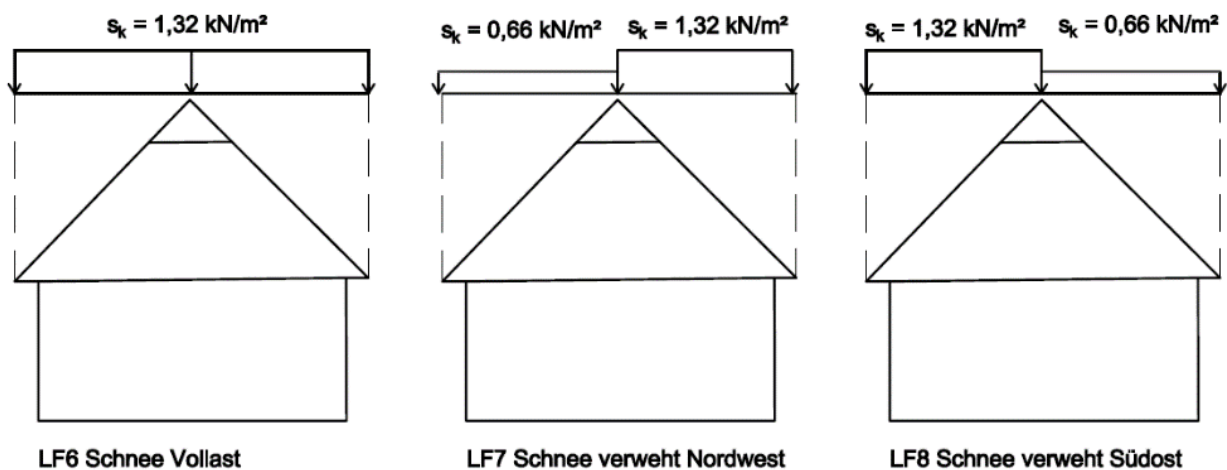
mit  $\mu_1, \mu_2 = 0,8$  Formbeiwert bei Schneefängen oder Aufkantung an der Traufe

$C_t = 1,0$  Temperaturbeiwert

$C_e = 1,0$  Beiwert Geländegegebenheit

Zusätzlich zur Schneevolllast ist eine asymmetrische Lastaufstellung durch Schneeverwehung  $s_{k,verweht} = 0,66 \text{ kN/m}^2$  zu untersuchen.

Die anzusetzenden Lastfälle der Schneelast sind in Abbildung 6-37 ersichtlich.



**Abbildung 6-37 Lastfälle der Schneelast**

### 6-4.5 ERDBEBEN

Gemäß ÖNORM EN 1998-1 ist ein Erdbebennachweis erforderlich sofern der Bemessungswert der Bodenbeschleunigung  $a_{g, \text{grenz}} > 0,39 \text{ m/s}^2$  bzw. das Produkt  $a_g \cdot S > 0,49 \text{ m/s}^2$  überschreiten.

$$a_g = \gamma_I \cdot a_{gR} \quad (6.9)$$

mit

$\gamma_I = 1,2$	Bedeutungsbeiwert für Schulen
$a_{gR} = 0,47 \text{ m/s}^2$	Referenz-Spitzenwert der Bodenbeschleunigung für Graz Zone 1
$S = 1,00$	Bodenparameter (Annahme Baugrundklasse A)

$$a_g = 0,56 \text{ m/s}^2 < a_{g, \text{grenz}} = 0,39 \text{ m/s}^2$$

$$a_{g,R} \cdot S = 0,47 \text{ m/s}^2 < 0,49 \text{ m/s}^2$$

Mit der getroffenen Annahme der Bodenparameter ist kein Erdbebennachweis erforderlich.

## 6-5 LASTFALLKOMBINATIONEN

Die im Kapitel 6-4 ermittelten Lastfälle werden im Statikprogramm „RFEM“ am Bemessungsmodell angesetzt. Zusammenfassend werden diese in der nachstehenden Tabelle angeführt.

Lastfallnummer	Lastfall	
LF1	Eigenlast (inkl. Auflast)	Eigenlast
LF2	Wind Nordwest mit Innensog	Windlast
LF3	Wind Südost mit Innensog	
LF4	Wind Südwest mit Innensog	
LF5	Wind Nordost mit Innensog	
LF6	Schnee Vollast	Schneelast
LF7	Schnee verweht Nordwest	
LF8	Schnee verweht Südost	

**Tabelle 6-5 auf das Bemessungsmodell angesetzte Lastfälle**

Die Lastfälle werden gemäß ÖNORM EN 1990 [54] kombiniert um die Bemessung durchzuführen. Die verwendeten Kombinationsregeln sind nachstehend angeführt.

### Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS – ultimate limit state)

Grundkombination: 
$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.10)$$

### Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS - serviceability limit state)

Charakteristische Kombination: 
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.11)$$

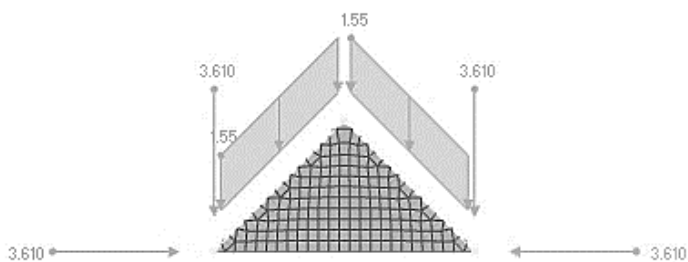
Quasi-ständige Kombination: 
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad (6.12)$$

## 6-6 MODELLBILDUNG

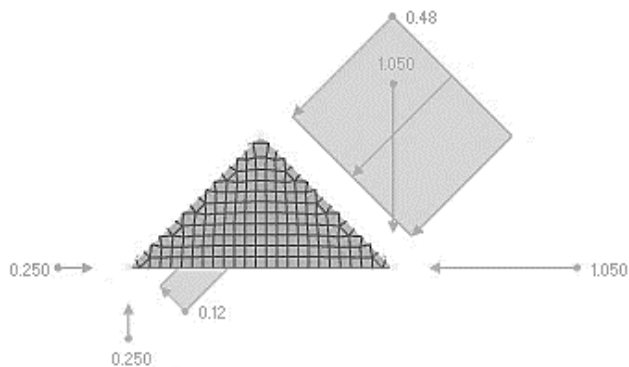
Die neue Dachkonstruktion wurde im FE-Programm Dlubal „RFEM“ modelliert. Aufgrund der größten Spannweite (19,3 m) wurde der mittlere Abschnitt des Faltwerks für die globale Bauteilbemessung herangezogen.

### Faltwerk

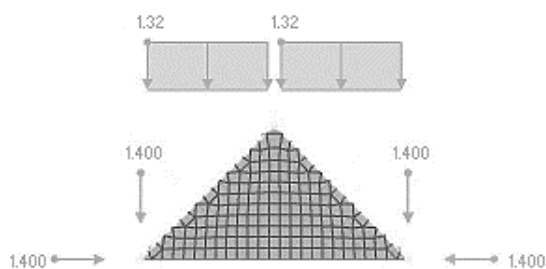
Um das Tragverhalten des Faltwerks nicht zu beeinflussen, wurden die Dachelemente extern modelliert. Somit wird eine „Zwängung“ der Dachelemente aufgrund der Durchbiegung des Faltwerks ausgeschlossen. Die Auflagerkräfte der Dachelemente wurden ermittelt und je Lastfall auf das Faltwerk angesetzt. Da die Dachelemente an das Faltwerk angelehnt werden, wirken die Auflagerlasten der Dachelemente im Winkel von  $45^\circ$  auf das Faltwerk (siehe Abbildung 6-42 Auflagerbedingungen der Dachelemente). Im Programm „RFEM“ ist es nicht möglich eine Linienlast im Winkel aufzubringen, deshalb wird diese in vertikale und horizontale Linienlasten aufgeteilt. Die nachstehenden Abbildungen zeigen die maßgebenden Lastfälle für die Faltwerksbemessung mit deren Flächenlasten und Auflagerlasten aus den Dachelementen.



**Abbildung 6-38 LF1 Eigenlast inkl. Auflast**



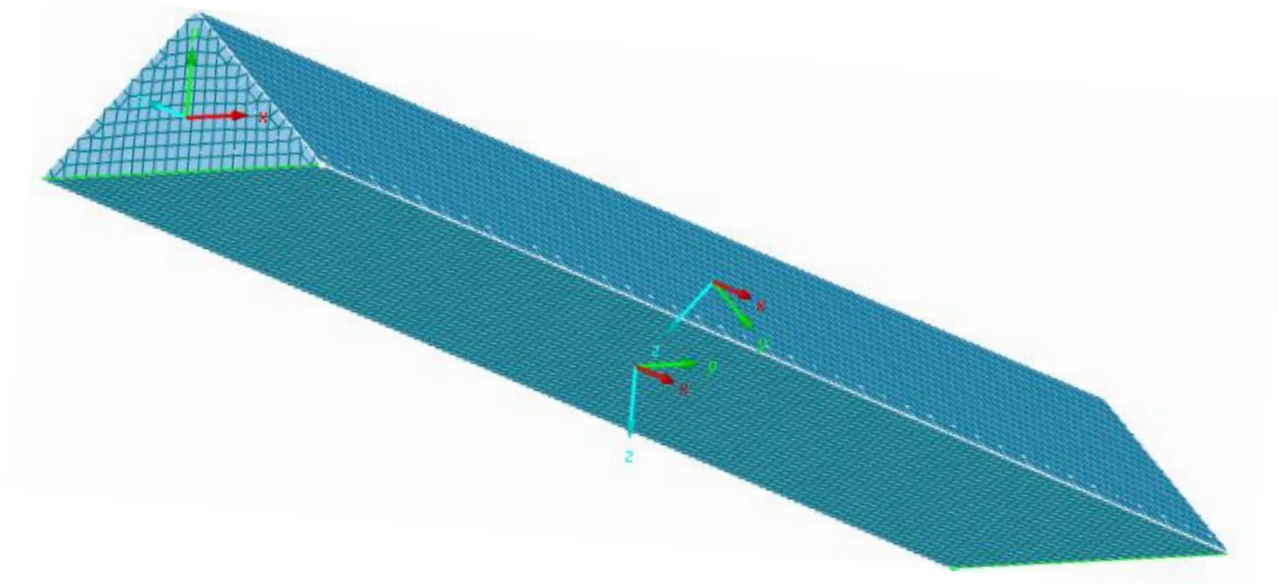
**Abbildung 6-39 LF2 Wind NW mit Innensog**



**Abbildung 6-40 LF6 Schnee Vollast**

### Koordinatensysteme

Die lokalen Koordinatensysteme der Flächen wurden im Berechnungsmodell so modelliert, dass die x-Achse die Haupttragrichtung und die y-Achse die Nebentragrichtung der BSP-Flächen angibt. Dies sorgt für Übersicht in der Ergebnisausgabe und der Nachweisführung der Flächenspannungen.



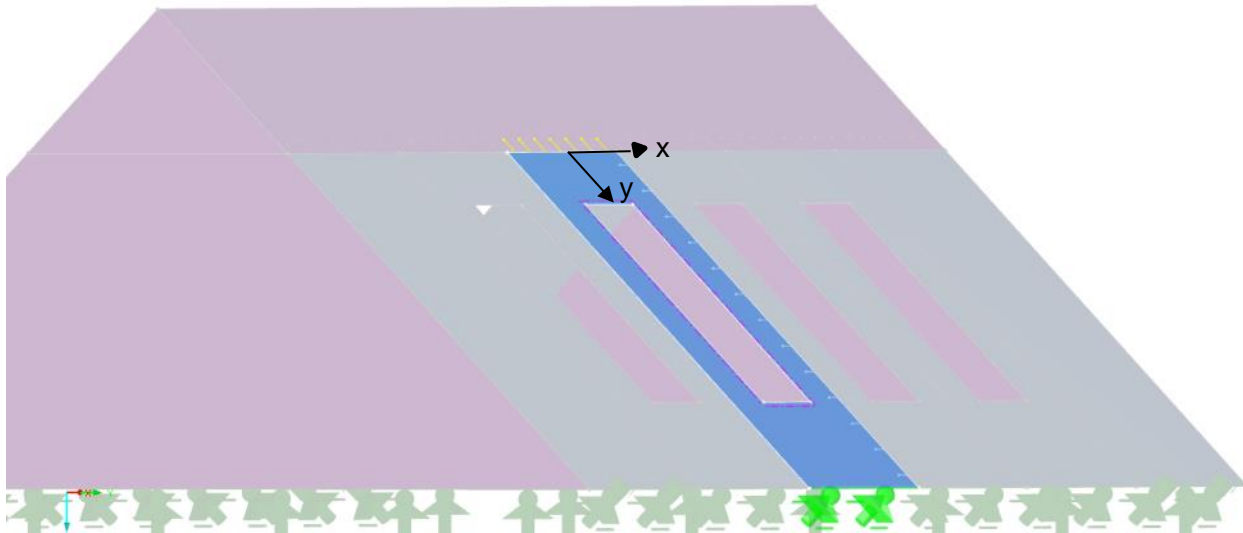
**Abbildung 6-41** *Untersicht Faltdach mit Koordinatensystem der modellierten Flächen*

Die Flächen des Faltdachs sind durch Liniengelenke verbunden, da es so möglich ist bestimmte Freiheitsgrade von der Übertragung auszuschließen. Um keine Momente zu übertragen bleibt die Drehfeder in jedem Fall frei. Den Wegfedern in x-,y- oder z-Richtung werden die in Kapitel 6-11 „Verbindungsmittelnachweis“ errechneten Steifigkeiten zugewiesen.

## Dachelemente

Im Berechnungsmodell der Dachelemente werden den faltwerksflächen die Steifigkeiten Starr zugewiesen. Somit kann sich das faltwerk nicht verformen und die Dachelemente „zwängen“.

Da die Dachelemente an das faltwerk angelehnt werden, sind die Liniengelenke dieser Verbindung in x- und y-Richtung verschieblich zu modellieren (siehe Abbildung 6-42). Die Auflager der Dachelemente werden in x-Richtung verschieblich modelliert.



**Abbildung 6-42 Auflagerbedingungen der Dachelemente**

Die Gauben wurden in der Modellierung aufgrund ihrer aussteifenden Wirkung vernachlässigt. Die Lasten der Gauben wurden berechnet und über die Fläche des Dachelements „verschmiert“. Die Fläche des Dachelements abzüglich der Gaubenöffnung wird nachstehend berechnet:

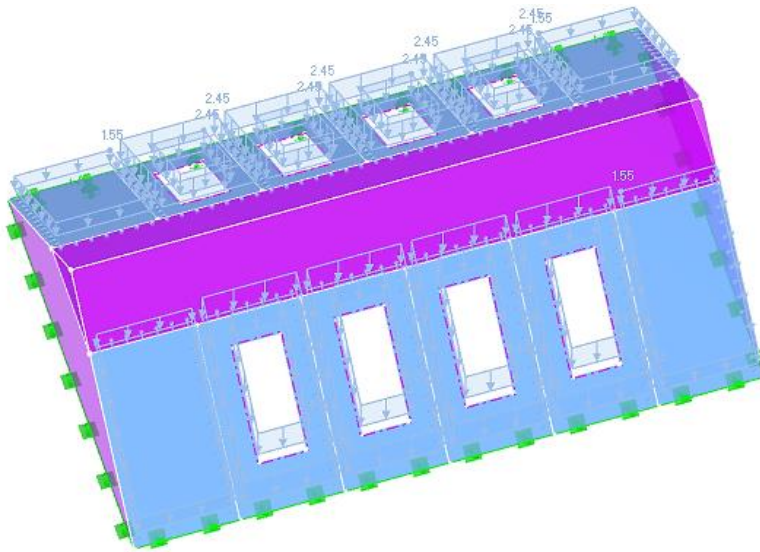
$$A_{\text{Dachelement}} = 3,20 \cdot 6,00 - 1,40 \cdot 3,60 = 14,2 \text{ m}^2$$

Die über diese Fläche „verschmierten“ Lasten werden mit den, in Kapitel 6-4 „Lastaufstellung“, errechneten Flächenlasten addiert und ergeben eine neue Flächenlast. Die Ergebnisse werden in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

Lastfall	Nr.	Flächenlast (Kapitel 6-4)	Gesamtlast Gaube	Gaube „Verschmiert“	Flächenlast neu
		kN/m <sup>2</sup>	kN	kN/m <sup>2</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Eigenlast (inkl. Auflast)	LF1	1,55	12,75	0,90	2,45
Wind (Druck)	LF2/3	0,48	2,00	0,14	0,62
Schnee Volllast	LF6	1,32	5,00	0,35	1,67

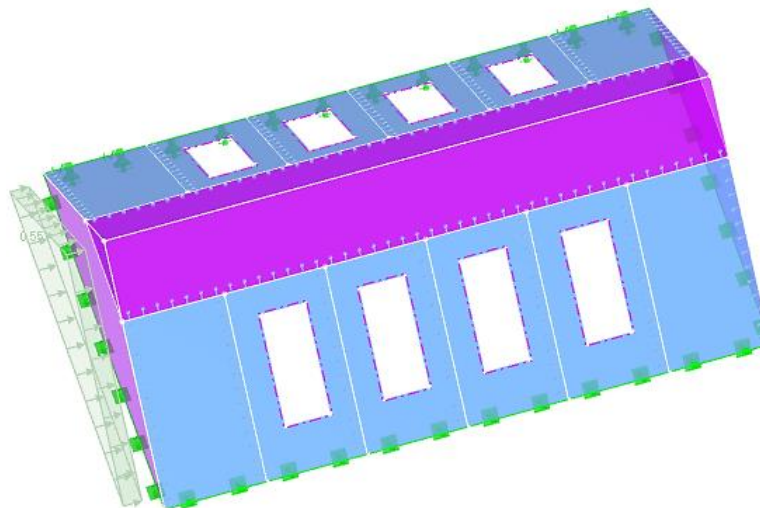
**Tabelle 6-6 Ermittlung der neuen Flächenlasten mit „verschmierter“ Gaubenlast**

Die neuen Flächenlasten werden auf die Dachflächen mit Gaubenöffnungen aufgetragen (siehe Abbildung 6-43).



**Abbildung 6-43 Dachelemente mit „verschmierter“ Flächenlast (LF1 Eigenlast inkl. Auflast)**

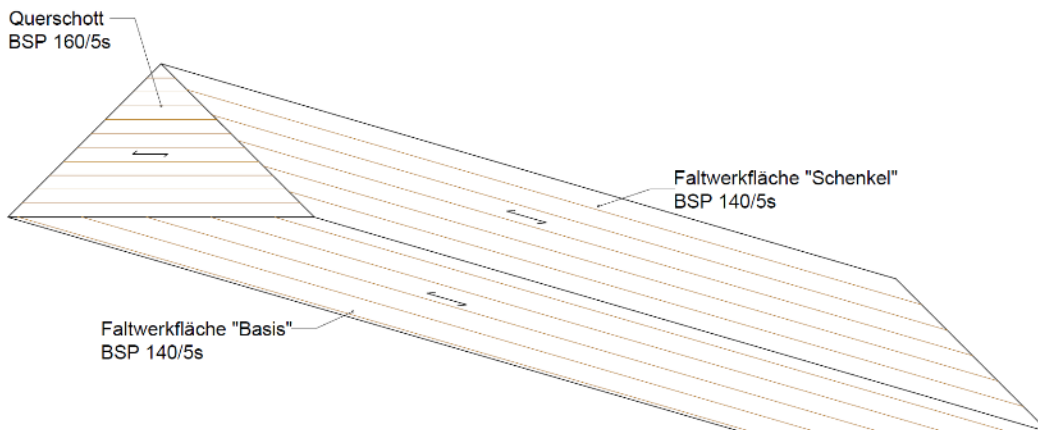
Zur Vollständigkeit der Bemessung werden die Windlasten der Giebelwände auf diesen Abschnitt angesetzt um die Dachelemente im Randbereich als Windverbände zu modellieren. Dazu wird den Linienlagern der Windverbände eine Steifigkeit in x-Richtung zugewiesen. Dasselbe gilt für die Auflager der Windverbände.



**Abbildung 6-44 LF4 Dachelemente (LF4 Wind Südwest mit Innensog)**

### 6-6.1 EINGABE DER MATERIALEIGENSCHAFTEN

Nach dem Modellieren der Flächen werden die entsprechenden Materialeigenschaften für Brettsperrholz zugewiesen. Die gewählten Aufbauten des Faltworks sind in der Abbildung 6-45 ersichtlich. Für die Dachelemente wird der Aufbau BSP 140/5s gewählt.



**Abbildung 6-45** Untersicht Faltwerk – Haupttragrichtung BSP-Elemente

Im Programm „RFEM“ kann in den Eigenschaften der Flächen die Steifigkeit „orthotrop“ gewählt werden. So können über die Definition der Steifigkeitsmatrix unterschiedliche Komponenten in x- und y-Richtung zugewiesen werden. Die allgemeine Steifigkeitsmatrix einer orthotropen Fläche lautet im Programm „RFEM“ wie folgt:

$$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ v_x \\ v_y \\ n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & 0 & 0 & D_{16} & D_{17} & D_{18} \\ & D_{22} & D_{23} & 0 & 0 & sym. & D_{27} & D_{28} \\ & & D_{33} & 0 & 0 & sym. & sym. & D_{38} \\ & & & D_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & D_{55} & 0 & 0 & 0 \\ & & sym. & & & D_{66} & D_{67} & D_{68} \\ & & & & & & D_{77} & D_{78} \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \kappa_x \\ \kappa_y \\ \kappa_{xy} \\ \gamma_x \\ \gamma_y \\ \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (6.13)$$

Nachstehend wird gezeigt wie sich die erforderlichen Komponenten der Steifigkeitsmatrix zusammensetzen. In den Formeln steht  $i$  für  $x$  in Haupttragrichtung und  $y$  in Nebentragrichtung.

#### **$D_{11}$ Biegesteifigkeit in Haupttragrichtung [55]**

$$D_{11} = \sum(I_i \cdot E_i) + \sum(A_i \cdot e_i^2 \cdot E_i) \quad [kNm^2/m] \quad (6.14)$$

#### **$D_{22}$ Biegesteifigkeit in Nebentragrichtung [55]**

$$D_{22} = \sum(I_i \cdot E_i) + \sum(A_i \cdot e_i^2 \cdot E_i) \quad [kNm^2/m] \quad (6.15)$$



**D<sub>33</sub> Drillsteifigkeit [56]**

$$D_{33} = \frac{G_{0,mean} \cdot \frac{t_{clt}^2}{12}}{1 + 6 \cdot p_D \cdot \left(\frac{t_{max}}{a}\right)^{q_D}} \quad [kNm^2/m] \quad (6.16)$$

mit:  $p_D = 0,67$   
 $q_D = 1,26$

**D<sub>44</sub> Transversale Schubsteifigkeit in Haupttragrichtung [57]**

$$D_{44} = \frac{G_{0,mean} \cdot \sum(t_x) + G_{90,mean} \cdot \sum(t_y)}{\kappa_x} \quad [kN/m] \quad (6.17)$$

Schubkorrekturfaktor  $\kappa_x = \kappa_{10} + \frac{\kappa_{14,4} - \kappa_{10}}{4,4} \cdot \left(\frac{G_{0,mean}}{G_{90,mean}} - 10\right) \quad [-] \quad (6.18)$

$$\kappa_x = 4,11 + \frac{5,65 - 4,11}{4,4} \cdot \left(\frac{690}{50} - 10\right) = 5,44 \quad [-]$$

**D<sub>55</sub> Transversale Schubsteifigkeit in Nebentragrichtung [57]**

$$D_{55} = \frac{G_{0,mean} \cdot \sum(t_y) + G_{90,mean} \cdot \sum(t_x)}{\kappa_y} \quad [kN/m] \quad (6.19)$$

Schubkorrekturfaktor  $\kappa_y = \kappa_{10} + \frac{\kappa_{14,4} - \kappa_{10}}{4,4} \cdot \left(\frac{G_{0,mean}}{G_{90,mean}} - 10\right) \quad [-] \quad (6.20)$

$$\kappa_y = 5,32 + \frac{7,17 - 5,32}{4,4} \cdot \left(\frac{690}{50} - 10\right) = 6,92 \quad [-]$$

**D<sub>66</sub> Dehnsteifigkeit in Haupttragrichtung**

$$D_{66} = E_{0,mean} \cdot \sum(t_x) + E_{90,mean} \cdot \sum(t_y) \quad [kN/m] \quad (6.21)$$

**D<sub>77</sub> Dehnsteifigkeit in Nebentragrichtung**

$$D_{77} = E_{0,mean} \cdot \sum(t_y) + E_{90,mean} \cdot \sum(t_x) \quad [kN/m] \quad (6.22)$$

**D<sub>88</sub> Scheibenschubsteifigkeit [56]**

$$D_{88} = \frac{G_{0,mean} \cdot t_{clt}}{1 + 6 \cdot p_S \cdot \left(\frac{t_{max}}{a}\right)^{q_S}} \quad [kN/m] \quad (6.23)$$

mit:  $p_S = 0,43$   
 $q_S = 1,21$

Dabei sind:

- $E_i$ ..... Elastizitätsmodul in i-Richtung
- $I_i$ ..... Trägheitsmoment in i-Richtung
- $e_i$  ..... Abstand vom Schwerpunkt der Einzelschicht zum Gesamtschwerpunkt [mm]
- $G_i$ ..... Schubmodul in i-Richtung
- $t_{CLT}$ ..... Gesamtdicke BSP-Aufbau
- $q_i, p_i$  ..... Parameter nach [56]
- $\kappa_i$ ..... Schubkorrekturfaktoren in i-Richtung nach [57]
- $\sum t_i$ ..... Gesamtdicke der Brettlagen in i-Richtung
- $t_{max}$ ..... maximale Brettlagendicke
- $a$ ..... angenommene Breite der Brettlamellen mit  $a = 150$  mm

Die Steifigkeitsparameter der BSP-Elemente gemäß ETA-12/0281 [58] sind in der nachstehenden Tabelle angeführt.

Steifigkeitsparameter		[N/mm <sup>2</sup> ]
Elastizitätsmodul	$E_{0,mean}$	11.800
	$E_{90,mean}$	370*
Schubmodul	$G_{0,mean}$	690
	$G_{90,mean}$	50

**Tabelle 6-7 Steifigkeitsparameter [58]**

\*Annahme für Berechnung:  $E_{90,mean} = 0$  N/mm<sup>2</sup>

Für die Aufbauten BSP140 5s und BSP160 5s ergeben sich aus den Gleichungen (6.14) bis (6.23) und der Tabelle 6-7 Steifigkeitsparameter Tabelle 6-7 folgende Komponenten der Steifigkeitsmatrix:

Komponenten der Steifigkeitsmatrix	BSP140	BSP160
	40/20/20/20/40	40/20/40/20/40
Biegesteifigkeiten [kNm <sup>2</sup> /m]		
$D_{11}$	2494	3587
$D_{22}$	205	441
$D_{33}$	89,6	134
Schubsteifigkeiten [kN/m]		
$D_{44}$	13051	15588
$D_{55}$	4711	4855
Steifigkeit Scheibe [kN/m]		
$D_{66}$	1180000	1416000
$D_{77}$	472000	472000
$D_{88}$	63501	72572

**Tabelle 6-8 ermittelte Komponenten der Steifigkeitsmatrix für BSP140 und BSP 160**

## 6-7 GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT

Siehe auch [59], [55]

Beim Grenzzustand der Tragfähigkeit ist zu zeigen, dass die folgende Gleichung eingehalten wird:

$$E_d \leq R_d \tag{6.24}$$

Dabei sind:

- $E_d$  ..... Bemessungswert der Einwirkung
- $R_d$  ..... Bemessungswert der Tragfähigkeit

Der Bemessungswert der Tragfähigkeit berechnet sich wie folgt:

$$R_d = k_{mod} \cdot \frac{R_k}{\gamma_M} \tag{6.25}$$

Dabei sind:

- $R_k$  ..... charakteristischer Wert der Tragfähigkeit
- $\gamma_m$  ..... Teilsicherheitsbeiwert für Brettsper Holz  $\gamma_m = 1,25$
- $k_{mod}$  ..... Modifikationsbeiwert für Lasteinwirkungsdauer kurz und Nutzungsklasse 1  $k_{mod} = 0,9$

### 6-7.1 BAUSTOFFKENNWERTE

In der folgenden Tabelle sind die charakteristischen Werte aus ETA-12/0281 [58] und die errechneten Bemessungswerte aufgelistet. Die Schub- und Torsionsfestigkeiten der Scheibenbeanspruchung wurden aus der Formelsammlung Teil BSP [60] entnommen.

Plattenbeanspruchung		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
Biegefestigkeit	$f_{m,k}$	26,4	$f_{m,d}$	19,01
Zugfestigkeit	$f_{t,90,k}$	0,12	$f_{t,90,d}$	0,08
Druckfestigkeit	$f_{c,90,k}$	2,50	$f_{c,90,d}$	1,80
Schubfestigkeit	$f_{v,k}$	4,0	$f_{v,d}$	2,88
Rollschubfestigkeit	$f_{r,k}$	1,75	$f_{r,d}$	1,26
			$\gamma_m = 1,25$ $k_{mod} = 0,9$	

**Tabelle 6-9 Charakteristische Werte und Bemessungswerte der Plattenbeanspruchung**

Scheibenbeanspruchung		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
Biegefestigkeit	$f_{m,k}$	24,0	$f_{m,d}$	17,28
Zugfestigkeit	$f_{t,0,k}$	14,0	$f_{t,0,d}$	10,08
Druckfestigkeit	$f_{c,0,k}$	21,0	$f_{c,0,d}$	15,12
Schub-/Torsionsfestigkeit *	$f_{v,k}$	4,0	$f_{v,d}$	2,88
	$f_{v,net,k,ref}$	5,5	$f_{v,net,d,ref}$	3,96
	$f_{T,node,k}$	2,5	$f_{T,node,d}$	1,8
			$\gamma_m = 1,25$ $k_{mod} = 0,9$	

**Tabelle 6-10 Charakteristische Werte und Bemessungswerte der Scheibenbeanspruchung**

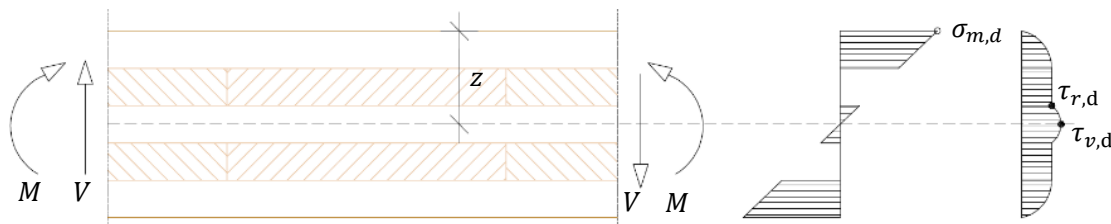
## 6-7.2 NACHWEISE

Sämtliche BSP Flächen sind aufgrund der kombinierten Beanspruchung als Platte und Scheibe nachzuweisen.

### Plattennachweis

Die nachzuweisenden Spannungen einer Plattentragwirkung sind die Biegerandspannung  $\sigma_{m,d}$ , die Schubspannung  $\tau_{v,d}$  und die Rollschubspannung  $\tau_{r,d}$  (siehe Abbildung 6-46).

Annahme:  $E_{90} = 0 \text{ N/mm}^2$



**Abbildung 6-46 Spannungen Plattentragwirkung**

In den folgenden Gleichungen steht  $i$  für  $x$  in Haupttragrichtung und  $y$  in Nebentragrichtung.

**Biegung** 
$$\frac{\sigma_{m,i,d}}{f_{m,i,d}} \leq 1 \quad (6.26)$$

mit: 
$$\sigma_{m,i,d} = \frac{m_{i,d}}{I_{i,ef}} \cdot z \quad [\text{N/mm}^2] \quad (6.27)$$

Dabei sind:

- $m_{i,d}$  ..... Designwert des einwirkenden Moments [Nmm]
- $z$  ..... Abstand Schwerpunkt zu Randfaser [mm]
- $I_{i,ef}$  ..... effektives Trägheitsmoment in  $i$ -Richtung [mm<sup>4</sup>]

**Schub** 
$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1 \quad (6.28)$$

mit: 
$$\tau_{v,d} = \frac{V_{max,i,d}}{K_{CLT,i} \cdot b} \Sigma(S_i \cdot E_i) \quad [\text{N/mm}^2] \quad (6.29)$$

$$K_{CLT,i} = E_i \cdot \quad [\text{Nmm}^2] \quad (6.30)$$

Dabei sind:

- $V_{max,i,d}$  ... Designwert der angreifenden Querkraft [N]
- $K_{CLT,i}$  ..... Biegesteifigkeit BSP [Nmm<sup>2</sup>]
- $b$  ..... Einflussbreite [mm]
- $S_i$  ..... maßgebendes statisches Moment für Schub [mm<sup>3</sup>]
- $E_i$  .....  $E_{mean}$  Modul der Einzelschicht [N/mm<sup>2</sup>]

**Rollschub** 
$$\frac{\tau_{r,d}}{f_{r,d}} \leq 1 \quad (6.31)$$

mit: 
$$\tau_{r,d} = \frac{V_{max,i,d}}{K_{CLT,i} \cdot b} \Sigma(S_{r,i} \cdot E_i) \quad [N/mm^2] \quad (6.32)$$

Dabei sind:

$V_{max,i,d}$  ... Designwert der angreifenden Querkraft [N]

$K_{CLT}$  ..... Biegesteifigkeit BSP [Nmm<sup>2</sup>]

$b$  ..... Einflussbreite [mm]

$S_{r,i}$  ..... maßgebendes statisches Moment für Rollschub [mm<sup>3</sup>]

$E_i$  .....  $E_{mean}$  Modul der Einzelschicht [N/mm<sup>2</sup>]

### Scheibennachweis:

Die nachzuweisenden Spannungen der Scheibentragwirkung sind Normalkraft  $\sigma_{n,d}$  und die Scheibenschubmechanismen Schub  $\tau_{v,d}$  und Torsion  $\tau_{T,d}$ .

In den folgenden Gleichungen steht  $i$  für  $x$  in Haupttragrichtung und  $y$  in Nebentragrichtung.

**Normalkraft** 
$$\frac{\sigma_{n,i,d}}{f_{n,i,d}} \leq 1 \quad (6.33)$$

mit:

$$\sigma_{n,i,d} = \frac{n_{i,d}}{A_{i,ef}} \quad [N/mm^2] \quad (6.34)$$

Dabei ist:

$n_{i,d}$  ..... Designwert der einwirkenden Normalkraft [N]

$A_{i,ef}$  ..... effektive Fläche [mm<sup>2</sup>]

### **Scheibenschubmechanismen**

**Schub** 
$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,net,ref,d}} \leq 1 \quad (6.35)$$

mit: 
$$\tau_{0,i}^* = \frac{n_{xy}}{\Sigma t_i^*} \quad (6.36)$$

$$\tau_{v,d} = 2 \cdot \tau_{0,i}^* \quad (6.37)$$

**Torsion** 
$$\frac{\tau_{T,d}}{f_{T,node,d}} \leq 1 \quad (6.38)$$

mit: 
$$\tau_{0,i}^* = \frac{n_{xy}}{\Sigma t_i^*} \quad (6.39)$$

$$\tau_{T,d} = 3 \cdot \tau_{0,i}^* \cdot \frac{t_i^*}{a} \quad (6.40)$$

Dabei sind:

$\tau_{0,i}^*$  ..... ideelle Schubspannung [N/mm<sup>2</sup>]

$n_{xy}$  ..... Schubkraft [N]

$t_i^*$  ..... ideelle Ersatzdicke [mm]

$a$  ..... Brettbreite [mm]

### Kombinierter Nachweis - Platten- und Scheibentragwirkung

Zusätzlich zu den genannten Einzelnachweisen wird die Normalkraft der Scheibentragwirkung mit der Biegerandspannung der Plattentragwirkung kombiniert nachgewiesen.

**Biegung+Normalkraft** 
$$\frac{\sigma_{m,i,d}}{f_{m,i,d}} + \frac{\sigma_{n,i,d}}{f_{n,i,d}} \leq 1 \quad (6.41)$$

### 6-7.3 TRAGWIDERSTÄNDE

Aus den Platten- und Scheibennachweisen von (6.26) bis (6.40) und den Baustoffkennwerten aus Tabelle 6-9 und Tabelle 6-10 werden die Tragwiderstände der BSP-Elemente für 1 m – Streifen ermittelt. Die Querschnittswerte der BSP-Aufbauten werden in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Querschnittswerte		BSP 140/5s	BSP 160/5s
		40/20/20/20/40	40/20/40/20/40
$A_{x,eff}$	[mm <sup>2</sup> ]	100000	120000
$A_{y,eff}$	[mm <sup>2</sup> ]	40000	40000
$I_{x,eff}$	[mm <sup>4</sup> ]	211333333	304000000
$I_{y,eff}$	[mm <sup>4</sup> ]	173333333	373333333
$z_x$	[mm]	70	80
$z_y$	[mm]	30	40
$S_x$	[mm <sup>3</sup> ]	2050000	2600000
$S_y$	[mm <sup>3</sup> ]	400000	600000
$S_{rx}$	[mm <sup>3</sup> ]	2000000	2400000
$S_{ry}$	[mm <sup>3</sup> ]	400000	600000
$a$	[mm]	150	150
$t^*$	[mm]	20	20
$\Sigma t^*$	[mm]	80	80

**Tabelle 6-11 Querschnittswerte der verwendeten BSP-Aufbauten**

Mit den Querschnittswerten der BSP-Aufbauten aus

Tabelle 6-11 ergeben sich folgende Tragwiderstände für BSP140 (Faltwerksflächen und Dachelemente).

### **BSP 140 (Faltwerksflächen und Dachelemente)**

Tragwiderstände		Haupttragrichtung (x-Richtung)	Nebentragrichtung (y-Richtung)
Normalkraft	$n_{c,Rd}$	1512 kN/m	605 kN/m
	$n_{t,Rd}$	1008 kN/m	403 kN/m
Moment		$m_{Rd}$	57,4 kNm/m
Querkraft	Schub	$v_{Rd}$	297 kN/m
	Rollschub	$v_{r,Rd}$	133 kN/m
Scheibenschub		$n_{xy,Rd,Schub}$	158 kN/m
		$n_{xy,Rd,Torsion}$	360 kN/m

**Tabelle 6-12 Tragwiderstände BSP140**

Für den Aufbau BSP160 (Querschott) ergeben sich die nachstehend angeführten Tragwiderstände.

### **BSP 160 (Querschott)**

Tragwiderstände		Haupttragrichtung (x-Richtung)	Nebentragrichtung (y-Richtung)
Normalkraft	$n_{c,Rd}$	1814 kN/m	605 kN/m
	$n_{t,Rd}$	1210 kN/m	403 kN/m
Moment		$m_{Rd}$	72,2 kNm/m
Querkraft	Schub	$v_{Rd}$	337 kN/m
	Rollschub	$v_{r,Rd}$	160 kN/m
Scheibenschub		$n_{xy,Rd,Schub}$	158 kN/m
		$n_{xy,Rd,Torsion}$	360 kN/m

**Tabelle 6-13 Tragwiderstände BSP160**

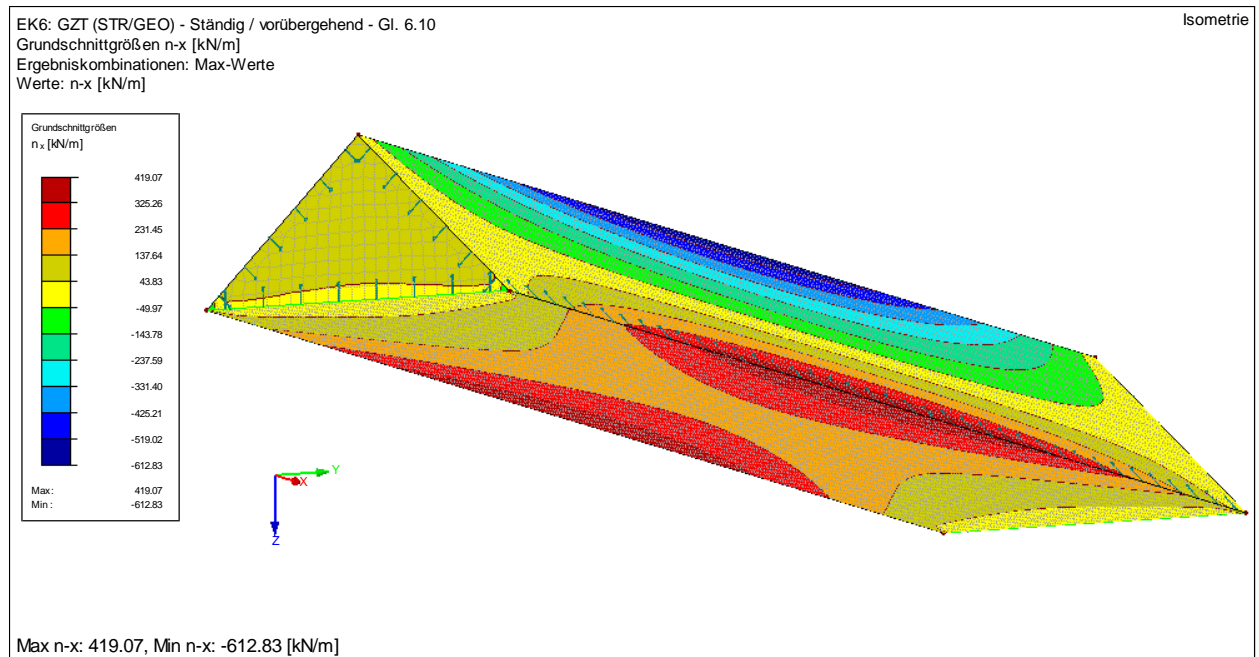
Diese Tragwiderstände werden im nächsten Kapitel 6-7.4 „Nachweisführung“ den Einwirkungen gegenübergestellt.



### 6-7.4 NACHWEISFÜHRUNG

In diesem Kapitel werden die maximal auftretenden Einwirkungen den ermittelten Tragwiderständen (siehe Kapitel 6-7.3) gegenübergestellt.

Die einwirkenden Flächengrundschnittgrößen werden mit dem Programm „RFEM“ ermittelt. Das Programm generiert eine Ergebniskombination, mit welcher die Ergebnisse der angesetzten Lastfälle überlagert werden. In der nachstehenden Abbildung ist der Verlauf der Normalspannung in Haupttragrichtung ersichtlich.



**Abbildung 6-47 Grundschnittgröße Normalkraft  $n_x$  am gesamten Falwerk**

Nachstehend werden die Nachweise geführt und die Abbildungen der Flächenschnittgrößen von Normalkraft und Moment in Haupttragrichtung eingefügt. Die restlichen Abbildungen der Flächenschnittgrößen werden aus Übersichtsgründen im Anhang B eingefügt.

Zu den Abbildungen ist anzumerken, dass in den Ecken Werte dargestellt sein können, welche nicht für die Nachweisführung herangezogen wurden. Bei diesen Werten handelt es sich um Singularitäten, welche sich innerhalb eines FE-Netzes befinden.

Die nachstehenden Nachweise werden für 1 m-Streifen geführt.

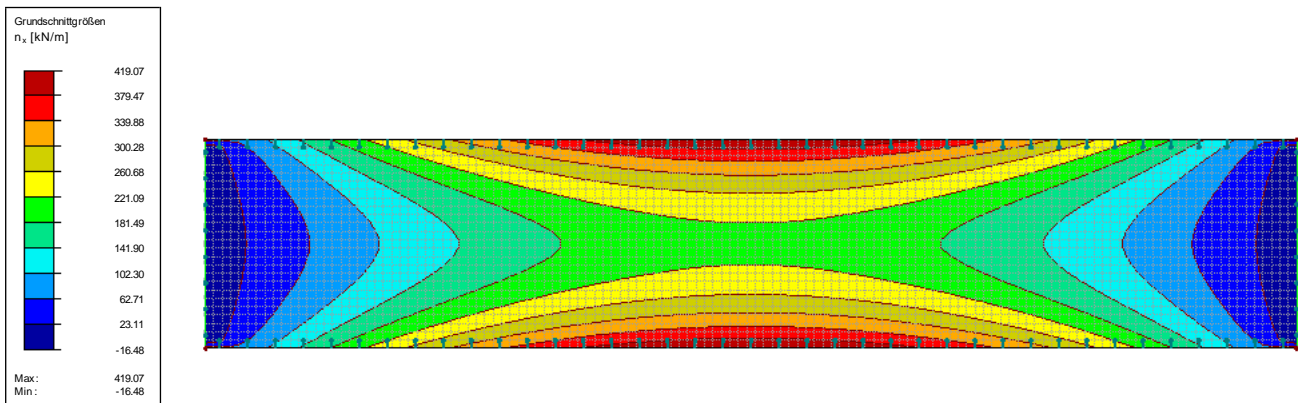
### Faltwerksfläche „Basis“ - BSP140 5s

- **Normalkraft und Moment**

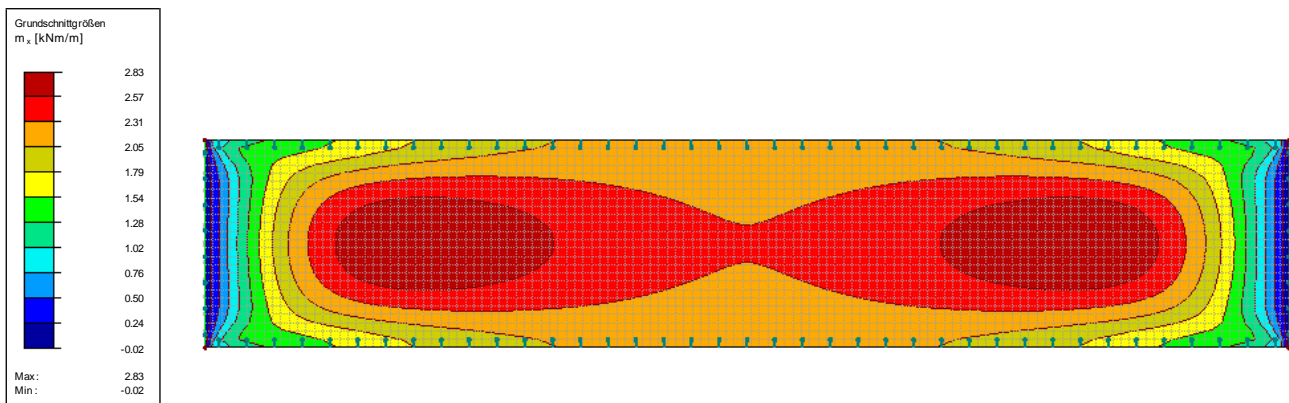
#### Haupttragrichtung

Die maximale Normalspannung der Faltsfläche „Basis“  $n_{x,d} = 419 \text{ kN/m}$  tritt an der Fuge zu den Faltsflächen „Schenkel“ auf (siehe Abbildung 6-48).

Das dazugehörige Moment beträgt  $m_{x,d} = 2,16 \text{ kNm/m}$  (siehe Abbildung 6-49).



**Abbildung 6-48 Normalkraft  $n_x$  an der Faltsfläche „Basis“**



**Abbildung 6-49 Moment  $m_x$  an der Faltsfläche „Basis“**

Nachweis:

$$\frac{n_{x,d}}{n_{t,x,Rd}} + \frac{m_{x,d}}{m_{x,Rd}} = \frac{419}{1008} + \frac{2,16}{57,4} = 0,42 + 0,04 = 0,46 < 1$$

Nebentragsrichtung

Die maximale Normalspannung beträgt  $n_{y,d} = -14,5 \text{ kN/m}$  und das dazugehörige Moment beträgt  $m_{y,d} = 1,66 \text{ kNm/m}$ .

$$\frac{n_{y,d}}{n_{c,y,Rd}} + \frac{m_{y,d}}{m_{y,Rd}} = \frac{-14,5}{605} + \frac{1,66}{11} = 0,02 + 0,15 = 0,17 < 1$$

- **Plattenschubspannungen**

Haupttragsrichtung

$$v_{x,d} = 5,10 \text{ kN/m}$$

$$\frac{v_{x,d}}{v_{x,Rd}} = \frac{5,10}{297} = 0,02 < 1$$

## Rollschub

$$\frac{v_{x,d}}{v_{r,x,Rd}} = \frac{5,10}{133} = 0,04 < 1$$

Nebentragsrichtung

$$v_{y,d} = 3,70 \text{ kN/m}$$

$$\frac{v_{y,d}}{v_{y,Rd}} = \frac{3,70}{125} = 0,03 < 1$$

## Rollschub

$$\frac{v_{y,d}}{v_{r,y,Rd}} = \frac{3,70}{54,6} = 0,07 < 1$$

- **Scheibenschubspannungen**

$$n_{xy,d} = 118 \text{ kN/m}$$

## Schub

$$\frac{n_{xy,d}}{n_{xy,Rd,Schub}} = \frac{118}{158} = 0,75 < 1$$

## Torsion

$$\frac{n_{xy,d}}{n_{xy,Rd,Torsion}} = \frac{118}{360} = 0,33 < 1$$

## Faltwerksfläche „Schenkel“ - BSP140 5s

- **Normalkraft und Moment**

### Haupttragrichtung

Die maximale Normalspannung der Faltwerksflächen „Schenkel“  $n_{x,d} = -613 \text{ kN/m}$  tritt an der Fuge am First auf (siehe Abbildung 6-50).

Das dazugehörige Moment beträgt  $m_{x,d} = 1,02 \text{ kNm/m}$  (siehe Abbildung 6-51).

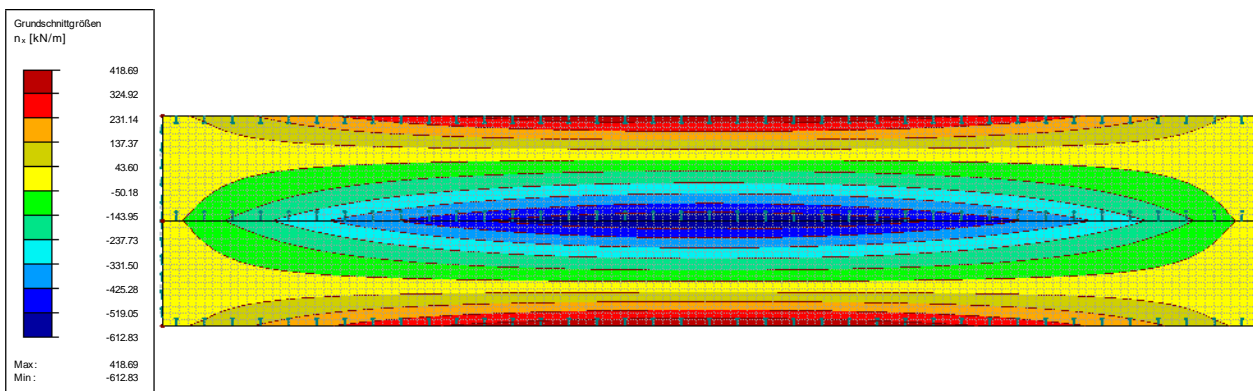


Abbildung 6-50 Normalkraft  $n_x$  an Faltwerksflächen „Schenkel“

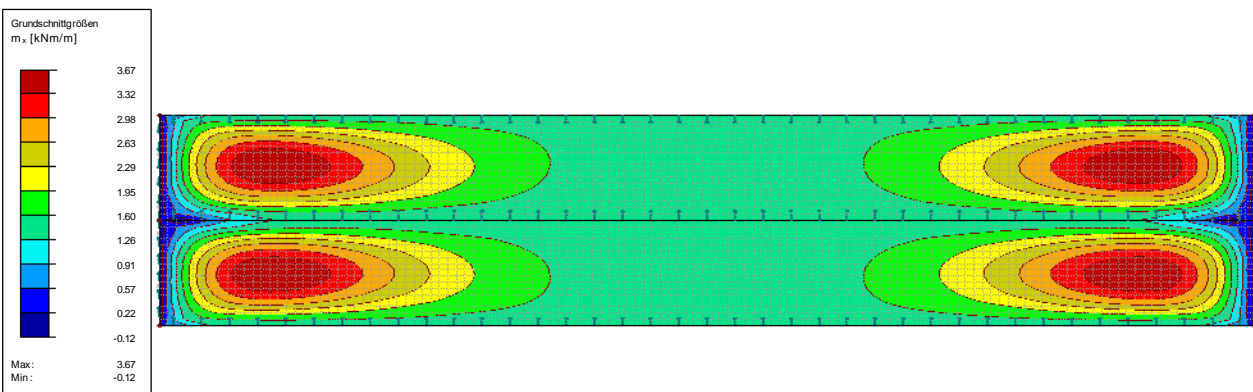


Abbildung 6-51 Moment  $m_x$  an Faltwerksflächen „Schenkel“

Nachweis:

$$\frac{n_{x,d}}{n_{t,x,Rd}} + \frac{m_{x,d}}{m_{x,Rd}} = \frac{-613}{1512} + \frac{1,02}{57,4} = 0,41 + 0,02 = 0,43 < 1$$

Nebentragsrichtung

Das maximale Moment in Nebentragsrichtung beträgt  $m_{y,d} = 3,10 \text{ kNm/m}$  und die dazugehörige Normalkraft beträgt  $n_{y,d} = +3,58 \text{ kN/m}$ .

$$\frac{m_{y,d}}{m_{y,Rd}} + \frac{n_{y,d}}{n_{c,y,Rd}} = \frac{3,10}{11} + \frac{3,58}{605} = 0,28 + 0,01 = 0,29 < 1$$

- **Plattenschubspannungen**

Haupttragsrichtung

$$v_{x,d} = 5,80 \text{ kN/m}$$

$$\frac{v_{x,d}}{v_{x,Rd}} = \frac{5,80}{297} = 0,02 < 1$$

## Rollschub

$$\frac{v_{x,d}}{v_{r,x,Rd}} = \frac{5,80}{133} = 0,04 < 1$$

Nebentragsrichtung

$$v_{y,d} = 4,8 \text{ kN/m}$$

$$\frac{v_{y,d}}{v_{y,Rd}} = \frac{4,80}{125} = 0,04 < 1$$

## Rollschub

$$\frac{v_{y,d}}{v_{r,y,Rd}} = \frac{4,80}{54,6} = 0,09 < 1$$

- **Scheibenschubspannungen**

$$n_{xy,d} = 150 \text{ kN/m}$$

## Schub

$$\frac{n_{xy,d}}{n_{xy,Rd,Schub}} = \frac{150}{158} = 0,95 < 1$$

## Torsion

$$\frac{n_{xy,d}}{n_{xy,Rd,Torsion}} = \frac{150}{360} = 0,42 < 1$$

## Querschott - BSP160 5s

- Normalkraft

### Haupttragrichtung

Die Haupttragrichtung verläuft aufgrund der Vorteile in der Verbindungstechnik horizontal.

Die maximale Zugspannung beträgt  $n_{x,d} = 136 \text{ kN/m}$ .

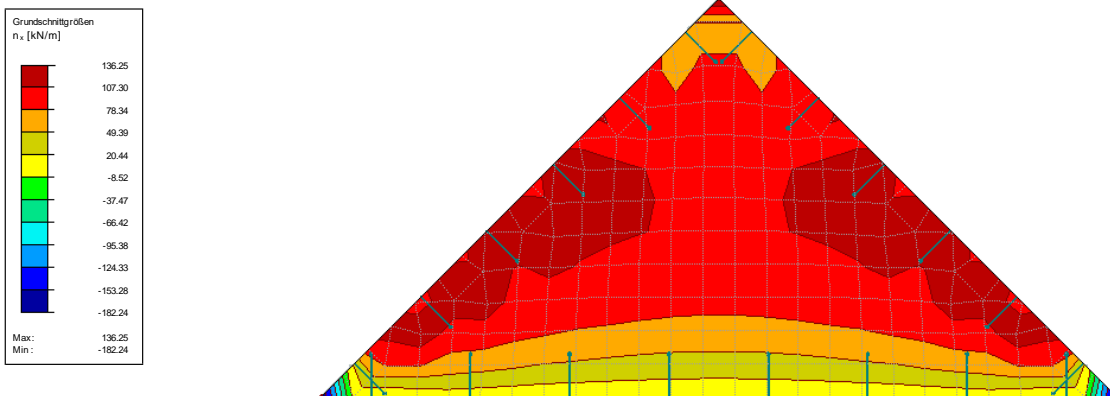


Abbildung 6-52 Normalkraft  $n_x$  am Querschott

Nachweis:

$$\frac{n_{x,d}}{n_{t,x,Rd}} = \frac{136}{1210} = 0,11 < 1$$

### Nebentragrichtung

Die maximale Druckspannung beträgt  $n_{x,d} = 95,0 \text{ kN/m}$ .

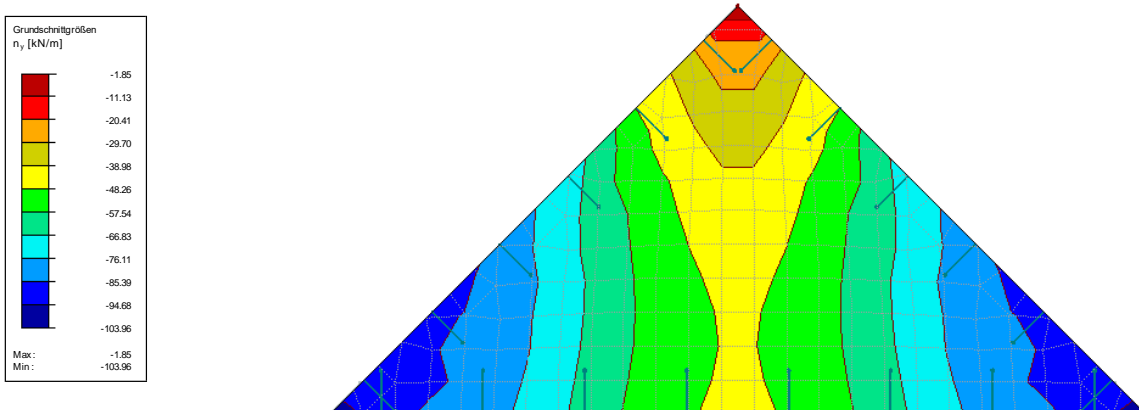


Abbildung 6-53 Normalkraft  $n_y$  am Querschott

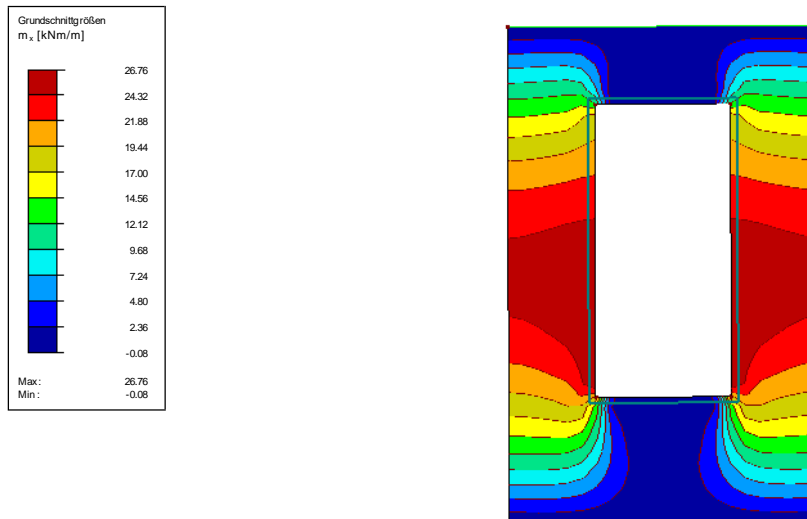
$$\frac{n_{y,d}}{n_{c,y,Rd}} = \frac{95,0}{605} = 0,28 + 0,01 = 0,29 < 1$$

## Dachelement - BSP140 5s

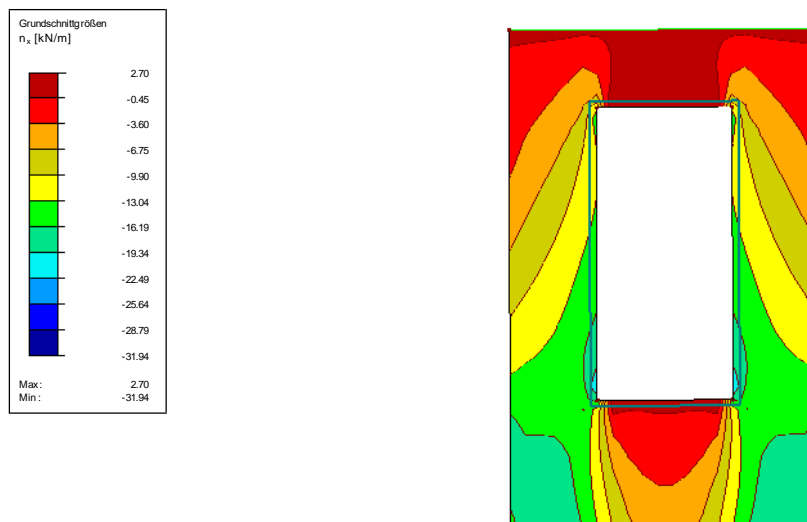
- **Normalkraft und Moment**

### Haupttragrichtung

Das maximale Moment beträgt  $m_{x,d} = 26,8 \text{ kNm/m}$  und die zugehörige Druckspannung beträgt  $n_{x,d} = -15,0 \text{ kN/m}$ .



**Abbildung 6-54 Moment  $m_x$  an Dachflächen**



**Abbildung 6-55 Normalkraft  $n_x$  an Dachflächen**

Nachweis:

$$\frac{m_{x,d}}{m_{x,Rd}} + \frac{n_{x,d}}{n_{t,x,Rd}} = \frac{26,8}{57,4} + \frac{-15,0}{1512} = 0,46 + 0,01 = 0,47 < 1$$

- **Plattenschubspannungen**

Haupttragrichtung

$$v_{x,d} = 16,3 \text{ kN/m}$$

$$\frac{v_{x,d}}{v_{x,Rd}} = \frac{16,3}{297} = 0,05 < 1$$

## Rollschub

$$\frac{v_{x,d}}{v_{r,x,Rd}} = \frac{16,3}{133} = 0,12 < 1$$



## 6-8 GRENZZUSTAND DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

Siehe auch [56], [61]

Die Gebrauchstauglichkeitsnachweise werden gemäß ÖNORM EN 1995-1-1 [61] und ÖNORM B 1995-1-1 [56] über die Begrenzung der Verformung und Schwingungsnachweisen geführt. Im Kapitel 6-9 „Bemessung Rippendecke“ wird auf den Schwingungsnachweis eingegangen.

### Begrenzung der Verformung

Die Verformungen werden begrenzt um die Funktion und das Erscheinungsbild des Bauwerks unter normalen Gebrauchsbedingungen zu sichern und Schäden zu vermeiden. Auch das Wohlbefinden der Nutzer gilt als Kriterium (z.B. Schwingungen). In Abbildung 6-56 sind die Anteile der Durchbiegung ersichtlich.

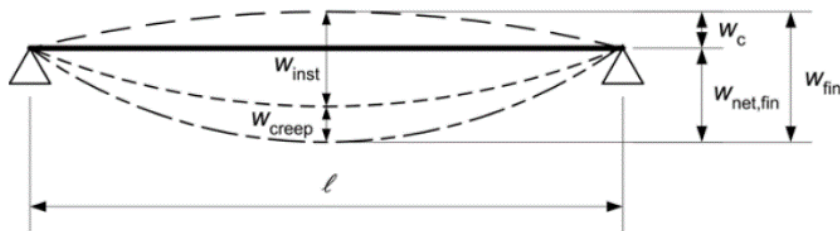


Abbildung 6-56 Anteile der Durchbiegung [56]

Dabei sind:

- $w_c$  ..... Überhöhung
- $w_{inst}$  ..... Anfangsdurchbiegung
- $w_{creep}$  .... Durchbiegung infolge Kriechens
- $w_{fin}$  ..... Enddurchbiegung
- $w_{net,fin}$  ... Enddurchbiegung abzüglich Überhöhung

Die elastische Anfangsdurchbiegung  $w_{inst}$  erfolgt ohne Berücksichtigung von Langzeiteinflüssen. Der Nachweis ist für die charakteristische Kombination gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] wie folgt zu ermitteln:

$$w_{inst} = \sum w_{inst,G,j} + w_{inst,Q,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{0,i} \cdot w_{inst,Q,i} \quad [\text{mm}] \quad (6.42)$$

Dabei sind:

- $w_{inst,G,j}$  ..... elastische Anfangsdurchbiegung zufolge der ständigen Einwirkungen [mm]
- $w_{inst,Q,i}$  ..... elastische Anfangsdurchbiegung zufolge der veränderlichen Einwirkungen [mm]
- $\Psi_{0,i}$  ..... Kombinationsbeiwert einer veränderlichen Einwirkung [-]

Die gesamte Enddurchbiegung  $w_{net,fin}$  berücksichtigt umkehrbare Auswirkungen am Tragwerk, wie z.B. das Erscheinungsbild und/oder das Wohlbefinden der Nutzer. Der Nachweis ist für die quasi-ständige Kombination der Einwirkungen gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] wie folgt zu ermitteln:

$$w_{net,fin} = w_{inst,2} + w_{creep} - w_c = \left( \sum w_{inst,G,j} + \sum \Psi_{2,i} \cdot w_{inst,Q,i} \right) \cdot (1 + k_{def}) - w_c \text{ [mm]} \quad (6.43)$$

Dabei sind:

- $w_{inst,2}$  ..... elastische Anfangsdurchbiegung [mm]
- $w_{creep}$  ..... Durchbiegung auf Grund von Langzeiteinflüssen (Kriechen) [mm]
- $w_c$  ..... Überhöhung eines Bauteils [mm]
- $w_{inst,G,j}$   $w_{inst,Q,j}$  ..... elastische Anfangsdurchbiegung zufolge der ständigen bzw. veränderlichen Einwirkungen [mm]
- $\Psi_{2,i}$  ..... elastische Anfangsdurchbiegung zufolge der ständigen bzw. veränderlichen Einwirkungen [-]
- $k_{def}$  ..... Verformungsbeiwert der Nutzungsklasse 1  $k_{def} = 0,80$

Der Verformungsbeiwert für Brettsper Holz in der Nutzungsklasse 1 ist gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] mit  $k_{def} = 0,80$  anzunehmen. Die Modifikationsbeiwerte aus ÖNORM EN 1990 [54] sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Nutzlast	0,7	0,5	0,3
Schneelast	0,5	0,2	0
Windlast	0,6	0,2	0

**Tabelle 6-14 Kombinationsbeiwerte [54]**

Die Grenzwerte der Einwirkungskombinationen gemäß [56] werden in der nachstehenden Tabelle angeführt.

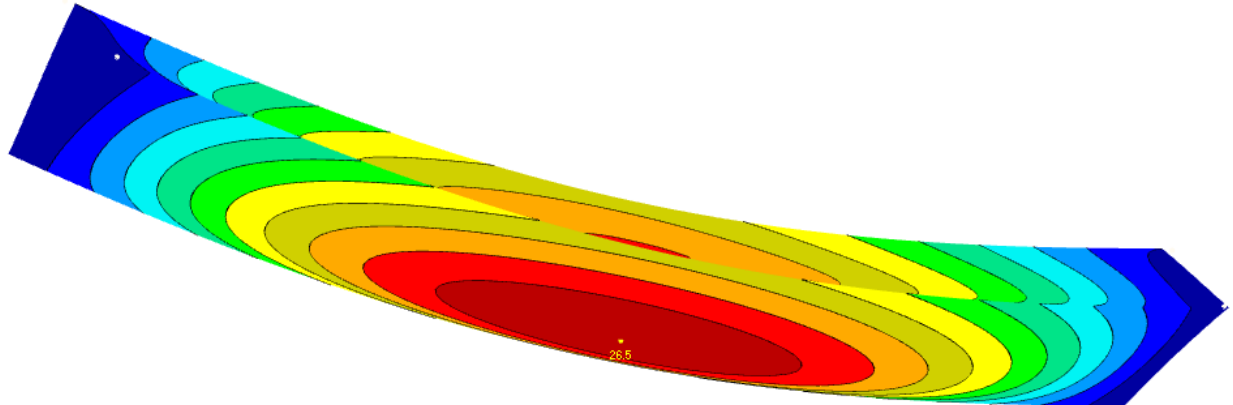
Durchbiegung infolge Einwirkungskombination	$w_{inst}$	$w_{net,fin}$
Bauteile wie z. B. Decken, Teile von begehbaren Dächern und ähnlich genutzte Bauteile	$\frac{l}{300}$	$\frac{l}{250}$
Bauteile, bei denen die Durchbiegung eine untergeordnete Bedeutung hat, wie z. B. nicht oder nur zu Instandhaltungszwecken begehbare Dächer, Dach- und Deckenkonstruktionen	$\frac{l}{200}$	$\frac{l}{150}$

**Tabelle 6-15 Grenzwerte der Durchbiegung von Bauteilen [56]**

**Durchbiegung Faltwerkträger**

**l = 19,3 m**

Die maximale Durchbiegung des Faltrwerks ergibt sich in der Mitte der Faltrwerksfläche „Basis“.



**Abbildung 6-57** *Verformung Faltrwerkträger unter LF1 Eigenlast (inkl. Auflast)*

Nachstehend werden die maximalen Verformungen am System mit Standard-Liniengelenken (nur Drehfeder frei und Wegfedern starr) ermittelt.

Zusätzlich werden die Verformungen des Systems unter Berücksichtigung der im Kapitel 6-11 errechneten Steifigkeiten der Verbindungsmittel vorgestellt. Den Wegfedern der Liniengelenke werden die Steifigkeiten in x-, y- und/oder z-Richtung zugewiesen, die Drehfeder bleibt in jedem Fall frei. Es werden drei Modelle mit den drei Varianten aus Kapitel 6-10.1 „Variantenstudie Anschluss Dachelement – Faltrwerk“ untersucht. Die resultierenden Durchbiegungen der maßgebenden Lastfälle werden in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

	Liniengelenk	Modifiziert durch Steifigkeiten		
		Variante 1	Variante 2	Variante 3
$w_{inst,G}$	26,5 mm	27,8 mm	27,7 mm	27,7 mm
$w_{inst,Q,1}$	6,40 mm	6,80 mm	6,70 mm	6,70 mm
$w_{inst,Q,2}$	1,30 mm	1,40 mm	1,40 mm	1,40 mm

**Tabelle 6-16** *Vergleich der Durchbiegung der untersuchten Modelle*

Die Verformungen der maßgebenden Lastfälle werden kombiniert und den Grenzwerten für Bauteile, bei denen die Durchbiegung eine übergeordnete Bedeutung hat, gegenübergestellt:

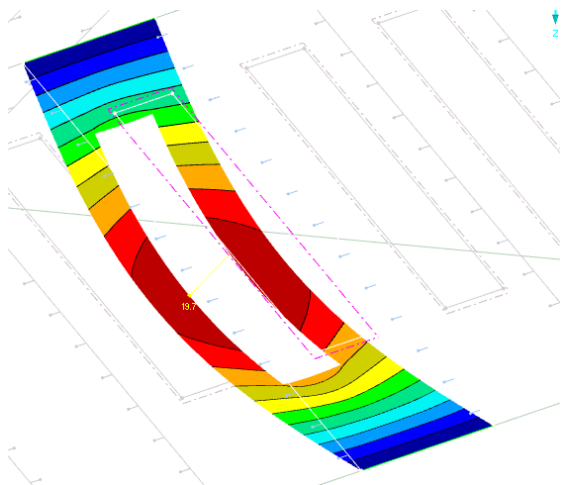
Kombination	Liniengelenk	Modifiziert durch Steifigkeiten			Grenzwert
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	
$w_{inst}$	33,7 mm	35,4 mm	35,2 mm	35,2 mm	64,3 mm
$w_{net,fin}$	47,7 mm	50,0 mm	49,9 mm	49,9 mm	77,2 mm

**Tabelle 6-17** *Gegenüberstellung der Kombinationen mit Grenzwerten*

Die Grenzwerte für Bauteile werden eingehalten.

### Durchbiegung Dachelement

$l = 6,0 \text{ m}$



**Abbildung 6-58 Durchbiegung Dachelement unter LF1 Eigenlast (inkl. Auflast)**

Folgende Verformungen ergeben sich am Dachelement unter Einwirkung der Lasten:

Last	Verformung
$w_{inst,G}$	19,7 mm
$w_{inst,Q,1}$	7,20 mm
$w_{inst,Q,2}$	5,30 mm

**Tabelle 6-18 Verformungen**

Die Verformungen der maßgebenden Lastfälle werden kombiniert und den Grenzwerten für Bauteile untergeordneter Bedeutung gegenübergestellt:

Kombination	Verformung	Grenzwert
$w_{inst}$	30,0 mm	30,0 mm
$w_{net,fin}$	35,5 mm	40,0 mm

**Tabelle 6-19 Gegenüberstellung der Kombinationen mit den Grenzwerten**

Die Grenzwerte werden eingehalten. In der Realität kann die Durchbiegung geringer ausfallen, da die Gauben aussteifend wirken.

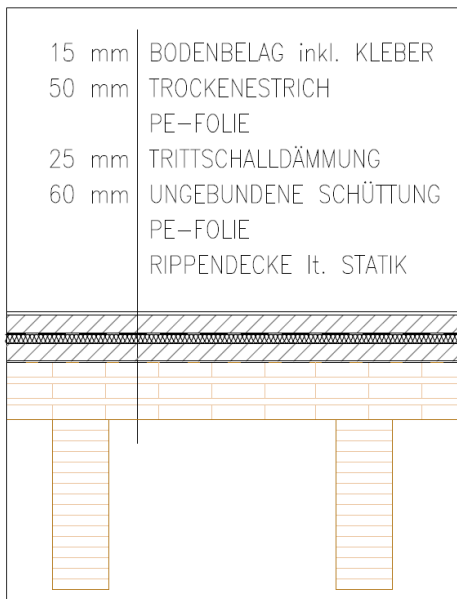
## 6-9 BEMESSUNG RIPPENDECKE

Die Rippendecke spannt sich über die gesamte Breite des Gebäudetraktes.

Die Spannweite beträgt 12,3 m.

### 6-9.1 LASTAUFSTELLUNG

#### 6-9.1.1 Eigenlast



**Abbildung 6-59 Fußbodenaufbau**

Die Eigenlast des Fußbodenaufbaues setzt sich wie folgt zusammen:

	Stärke [mm]	Wichte [kN/m <sup>3</sup> ]	Flächenlast [kN/m <sup>2</sup> ]
<i>Bodenbelag (Parkett) inkl. Kleber</i>	15	8,0	0,12
<i>Trockenestrich</i>	50	20,0	1,00
<i>PE-Folie</i>	-	-	-
<i>Trittschalldämmung</i>	25	1,4	0,04
<i>PE-Folie (Rieselschutz)</i>	-	-	-
<i>Schüttung</i>	60	15,0	0,90
<i>Rippendecke</i>		5,00	*
			<b>Σ ≈ 2,10 kN/m<sup>2</sup></b>

\*Die Eigenlast der Rippendecke wird im Kapitel 6-9.2 „Querschnitt“ berechnet.

#### 6-9.1.2 Nutzlast

Zur Berechnung der Rippendecke wird eine Nutzlast von  $q = 2,5 \text{ kN/m}^2$  angesetzt. Dieser Wert setzt sich aus der Nutzlast  $q = 2,0 \text{ kN/m}^2$  der Nutzungskategorie A gemäß ÖNORM EN 1995-1-1 und dem Trennwandzuschlag von  $q_{TW} = 0,5 \text{ kN/m}^2$  zusammen.

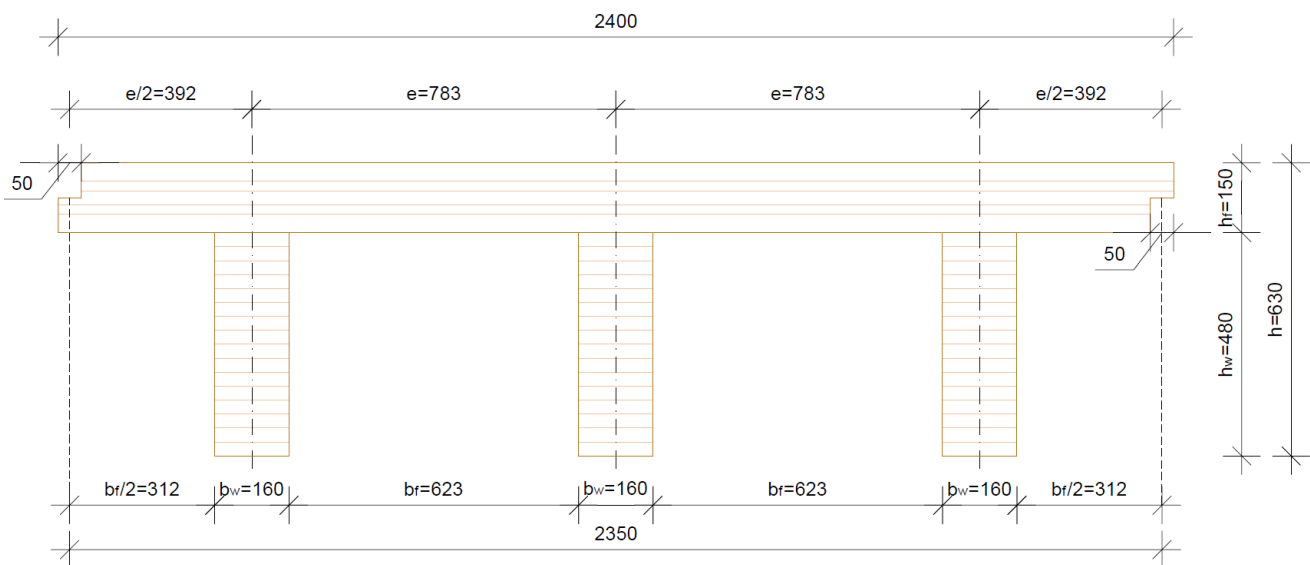
## 6-9.2 QUERSCHNITT

Der folgende Querschnitt wird gewählt:

- Plattenquerschnitt: BSP 160 mm 5s
- Rippenquerschnitt: BSH GL32c 160/480 mm

Die Transportbreite der BSP Platte wird mit 2400 mm angenommen.

Da der Längsstoß mit einem Stufenfalz ausgebildet wird ergibt sich ein Achsabstand von  $e = 783$  mm und eine lichte Weite von  $b_f = 623$  mm.



**Abbildung 6-60 Element der Rippendecke [Maße in mm]**

Die Eigenlast wird für einen Rippenquerschnitt berechnet:

$$g_{k,1} = 5,00 \cdot (0,783 \cdot 0,16 + 0,16 \cdot 0,48) = 1,01 \text{ kN/m}$$

Die in der Lastaufstellung ermittelten Lasten werden auf den Rippenquerschnitt bezogen:

$$g_{k,2} = 2,10 \cdot 0,783 = 1,64 \text{ kN/m}$$

$$g_k = g_{k,1} + g_{k,2} = 2,65 \text{ kN/m}$$

$$q_k = q_{k,1} + q_{k,2} = 2,00 \cdot 0,783 + 0,50 \cdot 0,783 = 1,57 + 0,39 = 1,96 \text{ kN/m}$$

### Ermittlung der Bemessungsschnittgrößen

$$V_d = 1,35 \cdot \frac{(2,65) \cdot 12,3}{2} + 1,50 \cdot \frac{1,96 \cdot 12,3}{2} = 40,1 \text{ kN}$$

$$M_d = 1,35 \cdot \frac{(2,65) \cdot 12,3^2}{8} + 1,50 \cdot \frac{1,96 \cdot 12,3^2}{8} = 123 \text{ kNm}$$

6-9.2.1 Querschnittswerte

**Mitwirkende Breite**

Die Randbedingung  $0,02 \leq b_{f,i}/l \leq 0,25$  wird erfüllt:  $b_{f,i}/l = 623/12300 = 0,05$ .

Die mitwirkende Breite  $b_{ef}$  im Feldbereich unter Gleichlast wird wie folgt ermittelt:

$$b_{ef,i} = b_{f,i} \cdot \min \left\{ 0,5 - 0,35 \left( \frac{b_{f,i}}{l} \right)^{0,9} \cdot \left( \frac{D_x}{S_{xy}} \right)^{0,45} \right\} \quad [\text{mm}] \quad (6.44)$$

$$b_{ef} = b_w + 2 b_{ef,i} \quad [\text{mm}] \quad (6.45)$$

Dabei sind:

- l ..... Spannweite  $l = 12300$  mm
- $b_{f,i}$  ..... lichte Weite zwischen den Rippen  $b_f = 623$  mm
- $b_w$  ..... Rippenbreite  $b_w = 160$  mm
- $D_x$  ..... Dehnsteifigkeit  $D_x = 11800 \cdot 3 \cdot 40 = 1,42 \cdot 10^6$  kNm<sup>2</sup>/m
- $S_{xy}$  ..... Scheibenschubsteifigkeit  $S_{xy} = 72572$  kN/m (aus Kapitel 6-6.1)

$$b_{ef,i} = 623 \cdot \left\{ 0,5 - 0,35 \left( \frac{623}{12300} \right)^{0,9} \cdot \left( \frac{1,42 \cdot 10^6}{72572} \right)^{0,45} \right\} = 623 \cdot 0,41 = 255 \text{ mm}$$

$$b_{ef} = 160 + 2 \cdot 255 = 670 \text{ mm}$$

In der nachstehenden Tabelle werden die Querschnittswerte der Rippe mit mitwirkender Breite zusammengefasst.

	$h_i$	$b_i$	$E_i$	$A_i \cdot E_i$	$z_i$	$A_i \cdot E_i \cdot z_i$	$I_i \cdot E_i$	$A_i \cdot E_i \cdot (z_s - z_i)^2$
	[mm]	[mm]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N]	[mm]	[Nmm]	[Nmm <sup>2</sup> ]	[Nmm <sup>2</sup> ]
Schichten BSP	40	670	11800	$3,16 \cdot 10^8$	20	$6,32 \cdot 10^9$	$4,22 \cdot 10^{10}$	$1,63 \cdot 10^{13}$
	20	670	0	0	50	0	0	0
	40	670	11800	$3,16 \cdot 10^8$	80	$2,53 \cdot 10^{10}$	$4,22 \cdot 10^{10}$	$8,83 \cdot 10^{12}$
	20	670	0	0	110	0	0	0
	40	670	11800	$3,16 \cdot 10^8$	140	$4,43 \cdot 10^{10}$	$4,22 \cdot 10^{10}$	$3,63 \cdot 10^{12}$
BSP	480	160	13500	$1,04 \cdot 10^9$	400	$4,15 \cdot 10^{11}$	$1,99 \cdot 10^{13}$	$2,42 \cdot 10^{13}$
$\Sigma$	<b>640</b>			<b><math>1,99 \cdot 10^9</math></b>		<b><math>4,91 \cdot 10^{11}</math></b>	<b><math>2,00 \cdot 10^{13}</math></b>	<b><math>1,21 \cdot 10^{14}</math></b>
						<b><math>E_{i,ef} =</math></b>	<b><math>1,41 \cdot 10^{14}</math></b>	

**Tabelle 6-20 Querschnittswerte Feldbereich**

Die Abstände  $z_i$  werden auf den oberen Rand bezogen. Die Lage des Schwerpunktes der Rippe wird

wie folgt ermittelt  $z_s = \frac{\Sigma A_i E_i z_i}{\Sigma A_i E_i} = 247$  mm.

### 6-9.3 GRENZZUSTAND DER TRAGFÄHIGKEIT

gemäß ÖNORM EN 1995-1-1 [61] und B 1995-1-1 [56]

#### Baustoffkennwerte

Die charakteristischen Werte der Festigkeiten und die nach (6.25) (siehe Kapitel 6-7) ermittelten Bemessungswerte der Festigkeiten werden für die verwendeten Querschnitte ermittelt und in den nachstehenden Tabellen zusammengefasst.

Baustoffkennwerte BSP [58]		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
Biegefestigkeit	$f_{m,k}$	26,4	$f_{m,d}$	16,9
Druckfestigkeit	$f_{c,90,k}$	2,50	$f_{c,90,d}$	1,60
Schubfestigkeit	$f_{v,k}$	4,0	$f_{v,d}$	2,56
Rollschubfestigkeit	$f_{r,k}$	1,75	$f_{r,d}$	1,12
Elastizitätsmodul	$E_{0,mean}$	11.800	$\gamma_m = 1,25$ $k_{mod} = 0,8$	
Schubmodul	$G_{0,mean}$	690		
	$G_{90,mean}$	50		
Nutzungsklasse 1, Lasteinwirkungsdauer „mittel“				

**Tabelle 6-21 Charakteristische Werte und Bemessungswerte BSP [58]**

Baustoffkennwerte BSH GI32c [62]		[N/mm <sup>2</sup> ]		[N/mm <sup>2</sup> ]
Biegefestigkeit	$f_{m,k}$	32	$f_{m,d}$	20,5
Druckfestigkeit	$f_{c,90,k}$	2,50	$f_{c,90,d}$	1,60
Schubfestigkeit	$f_{v,k}$	2,50	$f_{v,d}$	1,60
Elastizitätsmodul	$E_{0,mean}$	13.500	$\gamma_m = 1,25$ $k_{mod} = 0,8$	
Schubmodul	$G_{0,mean}$	650		
Nutzungsklasse 1, Lasteinwirkungsdauer „mittel“				

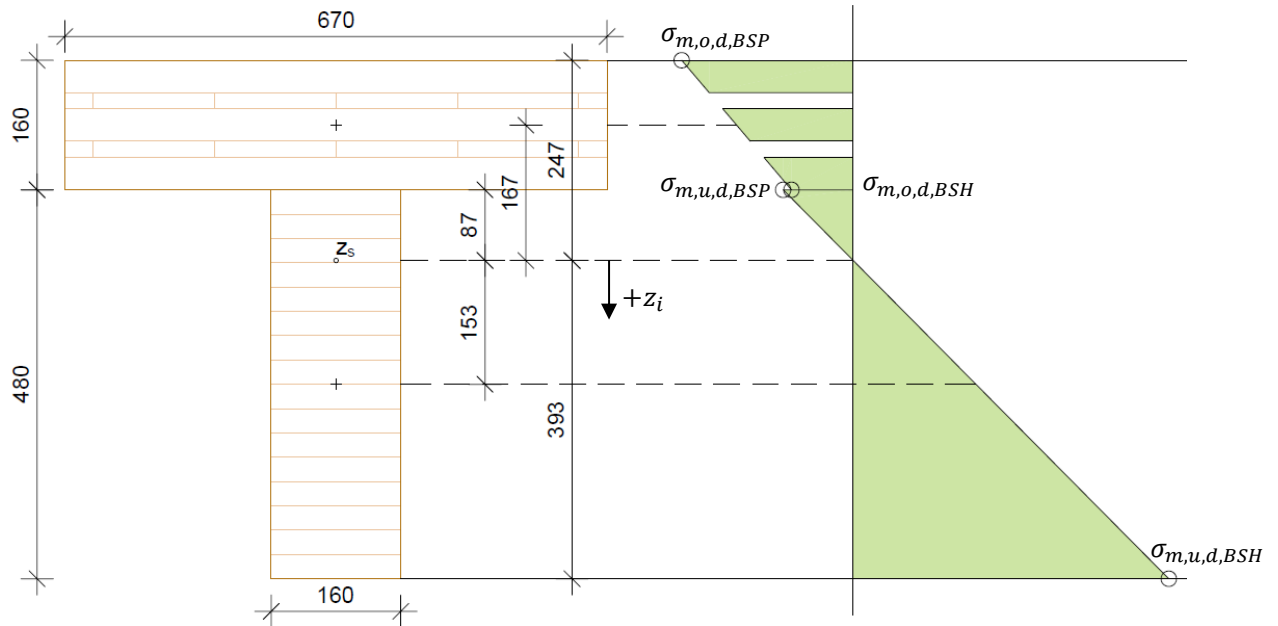
**Tabelle 6-22 Charakteristische Werte und Bemessungswerte BSH GI32c [62]**



6-9.3.1 Nachweisführung

• **Biegespannungsnachweis**

Der Verlauf der Biegespannung  $\sigma_{m,i,d}$  und die maßgebenden Abstände  $z_i$  werden in der nachstehenden Abbildung dargestellt.



**Tabelle 6-23 Verlauf der Biegespannung [N/mm<sup>2</sup>]**

Die Biegespannungsnachweise werden wie folgt geführt:

$$\sigma_{m,i,d} = E_i \cdot \frac{M_d}{EI_{ef}} \cdot z_i \leq f_{m,d} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (6.46)$$

Dabei sind:

- $E_i$  ..... Elastizitätsmodul des betrachteten Querschnitts [N/mm<sup>2</sup>]
- $M_d$  ..... Bemessungswert des maximalen Biegemoments [Nmm]
- $EI_{ef}$  ..... Biegesteifigkeit des Gesamtquerschnitts [Nmm<sup>2</sup>]
- $z_i$  ..... Abstand vom Schwerpunkt zur Randfaser der einzelnen Elemente [Nmm<sup>2</sup>]

$$\sigma_{m,o,d,BSP} = 11800 \cdot \frac{123 \cdot 10^6}{1,41 \cdot 10^{14}} \cdot 247 = -2,54 < f_{m,d,BSP} = 16,9 \text{ N/mm}^2 \quad (\eta = 0,15 \%)$$

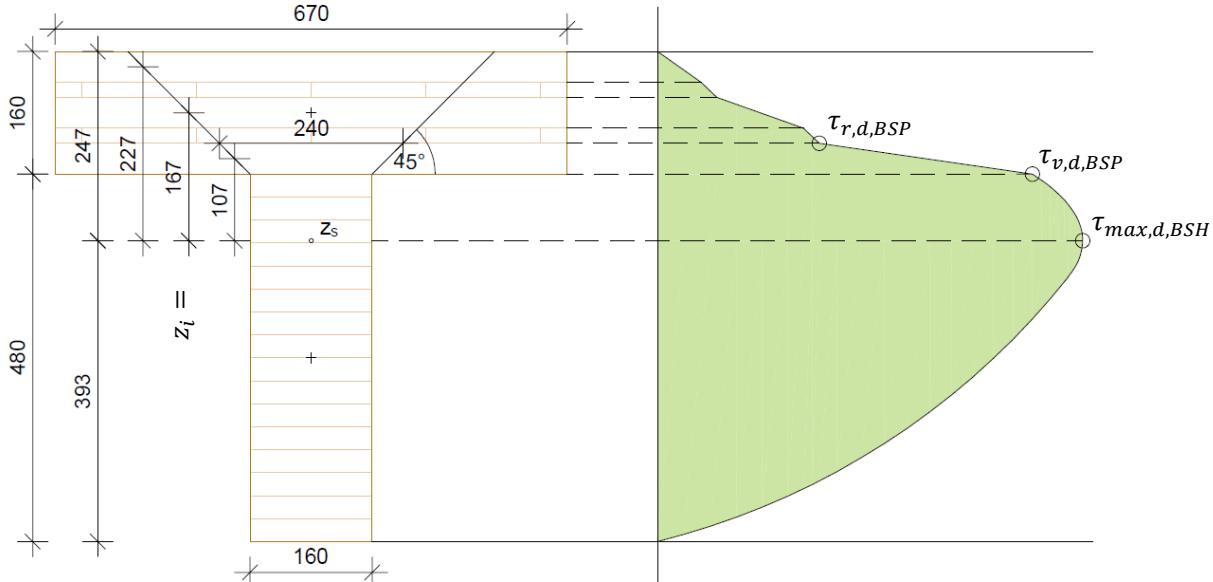
$$\sigma_{m,u,d,BSP} = 11800 \cdot \frac{123 \cdot 10^6}{1,41 \cdot 10^{14}} \cdot 87 = -0,90 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,o,d,BSH} = 13500 \cdot \frac{123 \cdot 10^6}{1,41 \cdot 10^{14}} \cdot 87 = -1,03 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,u,d,BSH} = 13500 \cdot \frac{123 \cdot 10^6}{1,41 \cdot 10^{14}} \cdot 393 = 4,63 < f_{m,d,BSH} = 20,5 \text{ N/mm}^2 \quad (\eta = 0,23 \%)$$

### • Schubspannungsnachweise

Der Verlauf der Schubspannung  $\tau_{i,d}$  und die maßgebenden Abstände  $z_i$  werden in der nachstehenden Abbildung dargestellt.



**Tabelle 6-24 Verlauf der Schubspannung [N/mm<sup>2</sup>]**

Die Schubspannungsnachweise werden wie folgt geführt:

$$\tau_{i,d} = \frac{V_d}{EI_{ef}} \cdot \frac{(E \cdot S_i)_y}{b_w} \leq f_{v,i,d} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (6.47)$$

$$(E \cdot S_i)_y = E \cdot b_i \cdot z_i \quad [\text{Nmm}] \quad (6.48)$$

Dabei sind:

- $E_i$  ..... Elastizitätsmodul des betrachteten Querschnitts [N/mm<sup>2</sup>]
- $S_i$  ..... Statisches Moment [mm<sup>3</sup>]
- $b_i$  ..... Breite des betrachteten Querschnitts [mm]
- $V_d$  ..... Bemessungswert der maximalen Querkraft [N]
- $EI_{ef}$  ..... Biegesteifigkeit des Gesamtquerschnitts [Nmm<sup>2</sup>]
- $z_i$  ..... Abstand vom Gesamtschwerpunkt zum Einzelschwerpunkt [mm]

$$\tau_{r,d,BSP} = \frac{40,1 \cdot 10^3}{1,41 \cdot 10^{14}} \cdot \frac{1,25 \cdot 10^{11}}{240} = 0,14 < f_{r,d,BSP} = 1,12 \text{ N/mm} \quad (\eta = 0,13 \%)$$

$$\text{mit: } (E \cdot S_i)_{y,BSP} = 11800 \cdot 670 \cdot (40 \cdot 227 + 40 \cdot 167) = 1,25 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$\tau_{v,d,BSP} = \frac{40,1 \cdot 10^3}{1,41 \cdot 10^{14}} \cdot \frac{1,58 \cdot 10^{11}}{160} = 0,28 < f_{v,d,BSP} = 2,56 \text{ N/mm} \quad (\eta = 0,11 \%)$$

$$\text{mit: } (E \cdot S_i)_{y,BSP} = 11800 \cdot 670 \cdot (40 \cdot 227 + 40 \cdot 167 + 40 \cdot 107) = 1,58 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}$$

$$\tau_{max,d,BSH} = \frac{40,1 \cdot 10^3}{1,41 \cdot 10^{14}} \cdot \frac{1,67 \cdot 10^{11}}{160} = 0,30 < f_{v,d,BSH} = 1,60 \text{ N/mm} \quad (\eta = 0,19 \%)$$

$$\text{mit: } (E \cdot S_i)_{y,BSH} = 13500 \cdot 160 \cdot 393^2/2 = 1,67 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}$$

### 6-9.4 GRENZZUSTAND DER GEBRAUCHSTAUGLICHKEIT

gemäß ÖNORM EN 1995-1-1 [61] und B 1995-1-1 [56]

Bei weit gespannten Decken ist für die Bemessung meist der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit maßgebend. Die Gebrauchstauglichkeitsnachweise werden über die Begrenzung der Verformung und über den Schwingungsnachweis geführt.

#### 6-9.4.1 Begrenzung der Verformung

(siehe Kapitel 6-8)

Die nachstehenden Gleichungen zur Ermittlung der Verformung wurden aus der Holzbauformelsammlung [60] entnommen.

Zunächst wird die Verformung auf Grund einer „1“- Last bestimmt.

$$w_{"1"} = \frac{5}{384} \cdot \frac{"1" \cdot l^4}{EI_{ef}} + \frac{1}{8} \cdot \frac{"1" \cdot l^2}{GA_{ef}} \quad [\text{mm}]$$

Dabei sind:

- $EI_{ef}$  ..... Biegesteifigkeit des Gesamtquerschnitts [Nmm<sup>2</sup>]
- $l$  ..... Spannweite [mm]
- $GA_{ef}$  ..... Schubsteifigkeit [N]

Die Schubsteifigkeit  $GA_{ef}$  wird wie folgt ermittelt:

$$\kappa \cdot G \cdot A_{ef} \quad [N]$$

Der Schubkorrekturfaktor  $\kappa$  wird mit einer Näherungsgleichung für Rippenplatten ermittelt.

$$\kappa = \frac{5}{6} - \frac{1}{4} \cdot \frac{\left(\frac{b_{ef}}{b_w}\right)^{0,70}}{\left(\frac{h_w}{h_f}\right)^{0,50}} = \frac{5}{6} - \frac{1}{4} \cdot \frac{\left(\frac{670}{160}\right)^{0,70}}{\left(\frac{480}{160}\right)^{0,50}} = 0,440$$

$$\kappa \cdot G \cdot A_{ef} = 0,440 \cdot (650 \cdot 160 \cdot 480 + 3 \cdot 690 \cdot 40 \cdot 670 + 2 \cdot 50 \cdot 20 \cdot 670) = 4,70 \cdot 10^7 \text{ N}$$

Die Durchbiegung der „1“-er Last ergibt sich zu:

$$w_{"1"} = \frac{5}{384} \cdot \frac{"1" \cdot 12300^4}{1,41 \cdot 10^{14}} + \frac{1}{8} \cdot \frac{"1" \cdot 12300^2}{4,70 \cdot 10^7} = 2,11 + 0,40 = 2,51 \text{ mm}$$

Die maßgebenden Lasten werden ermittelt und die Ergebnisse der Kombinationen werden den Grenzwerten gegenübergestellt.

- **Charakteristische Kombination**

$$q = 1,00 \cdot 2,65 + 1,00 \cdot 1,96 = 4,61 \text{ kN/m}$$

$$w_{\text{inst}} = q \cdot w_{\text{r1}} = 4,61 \cdot 2,51 = 11,6 \text{ mm} < \frac{l}{300} = \frac{12300}{300} = 41,0 \text{ mm}$$

- **quasi-ständige Einwirkungskombination**

$$q = 1,00 \cdot 2,65 + 1,00 \cdot 0,3 \cdot 1,96 = 3,24 \text{ kN/m}$$

Der Verformungsbeiwert  $k_{\text{def}}$  wird näherungsweise für Rippenplatten in Nutzungsklasse 1 berechnet.

$$k_{\text{def,rib}} = \sqrt{k_{\text{def,BSH}} + k_{\text{def,BSP}}} = \sqrt{0,6 + 0,8} = 0,693$$

$$w_{\text{net,fin}} = q \cdot w_{\text{r1}} \cdot (1 + k_{\text{def,rib}}) = 3,24 \cdot 2,51 \cdot (1 + 0,693) = 13,8 \text{ mm} < \frac{l}{250} = \frac{12300}{250} = 49,2 \text{ mm}$$

### 6-9.4.2 Schwingungsnachweis

Der Schwingungsnachweis wird gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] geführt. Es ist darauf hinzuweisen, dass die dortigen Regelungen auf Deckensysteme aus Holz mit deutlich geringeren Spannweiten abgestimmt wurden.

Decken werden nach konstruktiver Anforderung und Anwendungsfall in drei Deckenklassen gegliedert (je höher die Ansprüche desto niedriger die Deckenklasse). Die behandelte Rippendecke entspricht der Deckenklasse 1; somit werden die höchsten Ansprüche gestellt.

Der Schwingungsnachweis gilt als erbracht, wenn die Grenzwerte des Frequenz- und Steifigkeitskriteriums eingehalten werden. Die Grenzwerte sind in der nachstehenden Tabelle 6-25 ersichtlich.

	Deckenklasse I	Deckenklasse II	Deckenklasse III
Frequenzkriterium	$f_1 \geq f_{gr} = 8 \text{ Hz}$	$f_1 \geq f_{gr} = 6 \text{ Hz}$	-
Steifigkeitskriterium	$w_{stat} \leq w_{gr} = 0,25 \text{ mm}$	$w_{stat} \leq w_{gr} = 0,50 \text{ mm}$	-

**Tabelle 6-25 Grenzwerte des Frequenz- und Steifigkeitskriteriums für Deckenklassen [56]**

Für Deckenkonstruktionen mit  $f_1 \leq f_{gr}$  kann der Schwingungsnachweis durch die Einhaltung der Grenzwerte aus Tabelle 6-26 erbracht werden.

	Deckenklasse I	Deckenklasse II	Deckenklasse III
Frequenzkriterium	$f_1 \leq f_{1,min} = 4,5 \text{ Hz}$	$f_1 \leq f_{1,min} = 4,5 \text{ Hz}$	-
Schwingbeschleunigung (Effektivwert)	$a_{rms} \leq a_{gr} = 0,05 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	$a_{rms} \leq a_{gr} = 0,10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	-

**Tabelle 6-26 Grenzwerte der Schwingungsbeschleunigung für Deckenklassen [56]**

### Ermittlung der Eigenfrequenz

Bei der Ermittlung der Eigenfrequenz wird zwischen Decken mit und ohne Querverteilungswirkung unterschieden.

#### ohne Querverteilungswirkung

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_{ef,y,1}}{m}}$$

#### mit Querverteilungswirkung

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_{ef,y,1}}{m}} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{l}{b}\right)^4 \cdot \frac{EI_{ef,x,1}}{EI_{ef,y,1}}}$$

Dabei sind:

$EI_{ef,i}$ .....	Biegesteifigkeit der Decke pro Meter in i-Richtung [Nmm <sup>2</sup> ]
$m$ .....	Masse pro Flächeneinheit [kg/m <sup>2</sup> ]
$l$ .....	Spannweite [mm]
$b$ .....	Breite der Decke [mm]

Eine Querverteilungswirkung kann angenommen werden, wenn das Verhältnis der Biegesteifigkeiten

$$\frac{EI_{ef,x,1}}{EI_{ef,y,1}} \geq 0,05 \text{ erfüllt ist.}$$

Ermittlung der Biegesteifigkeiten pro Meter:

$$EI_{ef,y,1} = 1,41 \cdot 10^{14} \cdot \frac{1000}{783} = 1,80 \cdot 10^{14} \text{ Nmm}^2/\text{m} = 1,80 \cdot 10^5 \text{ Nm}^2/\text{m}$$

$$EI_{ef,x,1} = 11800 \cdot \left( 2 \cdot \frac{1000 \cdot 20^3}{12} + 2 \cdot 1000 \cdot 20 \cdot 30^2 \right) = 4,41 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2/\text{m} = 441 \text{ Nm}^2/\text{m}$$

Die Biegesteifigkeit des Trockenstrichs wird vernachlässigt.

$$\frac{EI_{ef,x,1}}{EI_{ef,y,1}} = 0,003 < 0,05$$

Die Ermittlung der Eigenfrequenz erfolgt ohne Querverteilungswirkung.

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot 12,3^2} \cdot \sqrt{\frac{1,80 \cdot 10^5 \cdot 10^3}{265}} = 8,56 \text{ Hz} > f_{\text{grenz}} = 8,00 \text{ Hz}$$

Der Grenzwert des Eigenfrequenzkriteriums  $f_1 \geq f_{\text{gr}} = 8 \text{ Hz}$  wird eingehalten.

### Steifigkeitskriterium

Die größte vertikale Anfangsdurchbiegung infolge einer vertikal an ungünstiger Stelle einwirkenden Einzellast ist zu ermitteln. Der Grenzwert der Deckenklasse 1 ist einzuhalten.

$$w(1\text{kN}) = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot EI_{\text{ef},y,1} \cdot b_f} \leq w_{\text{gr}}(1\text{kN}) = 0,25 \text{ mm/kN}$$

Die mitwirkende Breite  $b_f$  wird wie folgt ermittelt:

$$b_f = \min \left\{ \frac{1}{1,1} \sqrt[4]{\frac{EI_{\text{ef},x,1}}{EI_{\text{ef},y,1}}}, \frac{12,3}{1,1} \sqrt[4]{\frac{441}{1,80 \cdot 10^5}} \right\} = \min \left\{ \frac{12,3}{1,1} \sqrt[4]{\frac{441}{10,0}} = 2,49 \text{ m} \right.$$

$$w(1\text{kN}) = \frac{1,0 \cdot 12,3^3}{48 \cdot 1,80 \cdot 10^5 \cdot 2,49} = 8,65 \cdot 10^{-5} \text{ m/kN} = 0,087 \text{ mm/kN} < w_{\text{gr}}(1\text{kN}) = 0,25 \text{ mm/kN}$$

Der Grenzwert des Steifigkeitskriteriums  $w_{\text{stat}} \leq w_{\text{gr}} = 0,25 \text{ mm}$  wird ebenfalls eingehalten.

Somit ist der Schwingungsnachweis erfüllt.

## 6-10 VERBINDUNGSTECHNIK

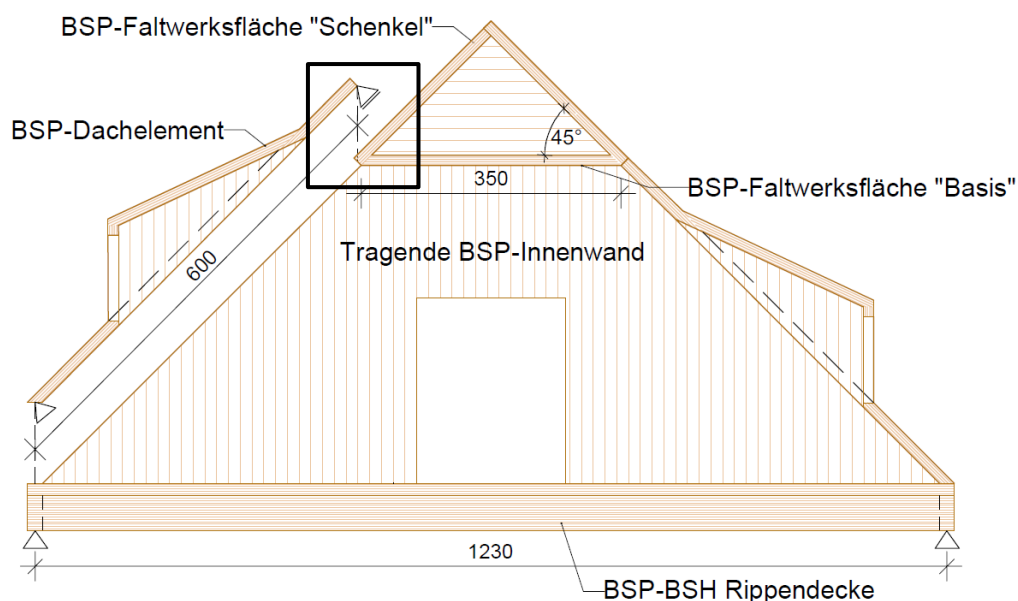
Beim Entwurf einer Verbindung ist neben der Tragfähigkeit auch deren Steifigkeit und Duktilität zu beachten. Die Steifigkeit der Verbindung wird durch deren Nachgiebigkeit beschrieben und beeinflusst die Gesamtverformung des Tragwerks.

Verbindungen tragen einen großen Anteil der Herstellungs- und Montagekosten, weshalb eine wirtschaftliche Lösung mit möglichst wenig Differenzierungen im Verbindungsmitteltyp zur Anwendung kommen sollte. Der Einfluss auf die Ästhetik der Konstruktion infolge der Verbindungsmittel ist ebenfalls ein nicht zu vernachlässigender Aspekt.

Vom gesamten Tragwerk ist der Anschluss der Dachelemente an das faltwerk mit der größten Komplexität verbunden. Aus diesem Grund wird eine Variantenstudie zu diesem Anschluss durchgeführt.

### 6-10.1 VARIANTENSTUDIE ANSCHLUSS DACHELEMENT – FALTWERK

Es werden Varianten der Verbindung zwischen den faltwerksflächen und der „Einhängung“ der Dachelemente vorgestellt und im Kapitel 6-11 nachgewiesen.



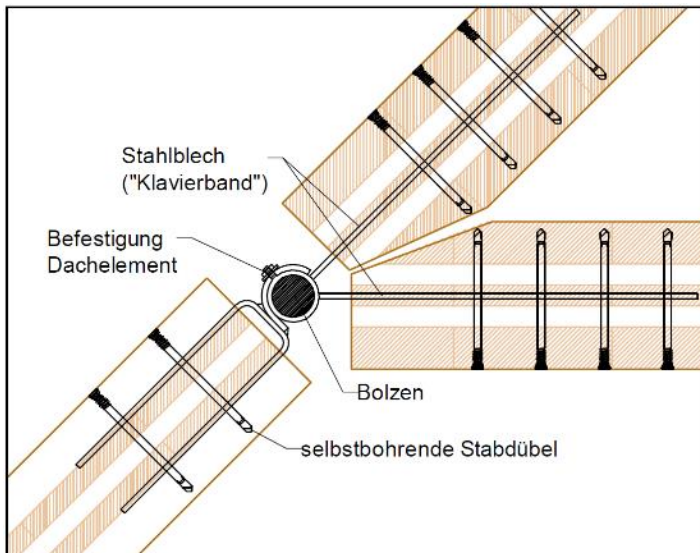
**Tabelle 6-27 Überblick Anschluss Dachelement - faltwerk**

Das dreieckige faltwerk kann in seinem abschnitt gänzlich vorgefertigt werden. Nachdem diese abschnitte des faltwerks auf den tragenden wänden positioniert sind, werden die dachelemente eingehoben und an das faltwerk „angelehnt“ und gegen abheben gesichert.



6-10.1.1 Variante 1 – Gelenkverbindung mit Stabdübel

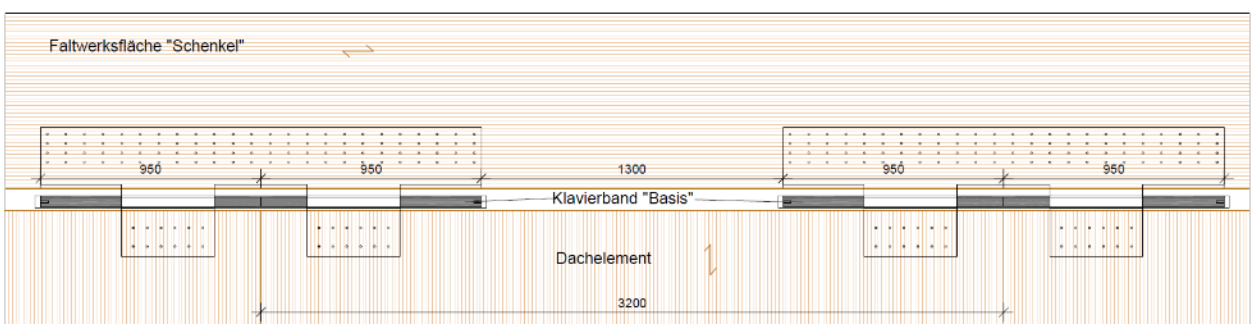
Die folgende Verbindung basiert auf dem System eines „Klavierbandes“. Die Verbindung zwischen den Falterksflächen bildet das Klavierband und die Dachflächen werden in den Bolzen des Klavierbandes eingehängt. Die eingeschlitzten Stahlbleche der Verbindung werden mittels selbstbohrenden Stabdübeln mit den Holzbauteilen verbunden.



**Abbildung 6-61 Stahlgelenk – Stabdübel Verbindung**

Die Falterksflächen Basis und Schenkel sind wechselseitig mit dem Bolzen verbunden um die Schubkräfte zwischen den Falterksflächen in Längsrichtung zu übertragen. Die Dachelemente werden jeweils in deren Randbereich auf das Klavierband eingehängt und mit Schrauben gegen Abheben gesichert.

Der Bolzen wird beim Stoß der Dachelemente ebenfalls gestoßen um deren Länge und somit den Abstand zwischen den einzelnen Klavierbändern gering wie möglich zu halten. Somit kann von beiden Seiten jeweils der halbe Bolzen eingeschlagen werden.

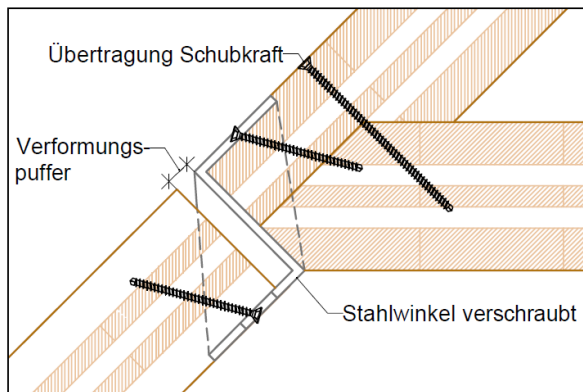


**Abbildung 6-62 Überblick Bolzen**

Diese Lösung bedarf neben der statisch-konstruktiven Betrachtung zusätzlich einer bauphysikalischer Untersuchung hinsichtlich ihrer Realisierbarkeit. Ebenfalls zu erwähnen ist, dass die eingehängten Dachelemente durch die Verformung des Falterks „gezwängt“ werden können, weil zwischen den Bauteilen keine Pufferung der Verformung stattfinden kann.

### 6-10.1.2 Variante 2 – Stahlwinkel verschraubt

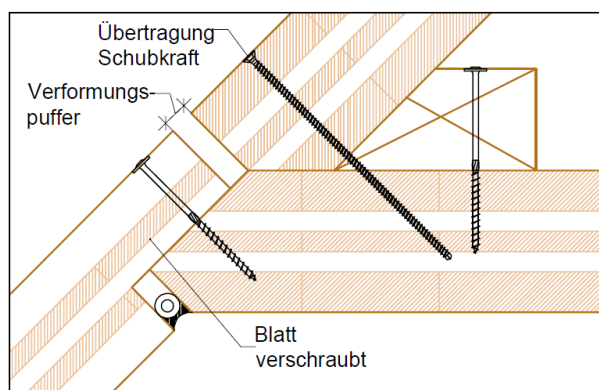
Eine simplere Lösung bietet die zweite Variante der Verbindung. Die Falterkflächen werden direkt miteinander verbunden. Die Schubkraft zwischen den Flächen wird mittels Vollgewindeschrauben, welche im Winkel von  $45^\circ$  bezogen auf die Firstrichtung eingeschraubt werden, übertragen. Ein Stahlwinkel wird auf dem Falterkwerk befestigt und bildet ein Auflager für das Dachelement. Das angelehnte Dachelement ist durch einen Spalt von rund 25 mm vom Falterkwerk getrennt, wodurch eine Zwängungsbeanspruchung aufgrund der Verformung des Falterkwerks verhindert werden kann.



**Abbildung 6-63 Stahlwinkel – Schrauben Verbindung**

### 6-10.1.3 Variante 3 – Keil und Stufenfalz verschraubt

Diese Variante bildet die wohl einfachste und effizienteste Lösung. Abgeschrägte Vollholzbalken werden mit Teilgewindeschrauben auf der Basis des Falterkwerks verschraubt und bilden einen „Anschlag“ für die Falterkflächen „Schenkel“. Die Falterkflächen werden mit Vollgewindeschrauben im Winkel von  $45^\circ$  bezogen auf die Firstrichtung verbunden, um die Schubkräfte zwischen den Flächen aufzunehmen. Das Dachelement mit vorgefertigter Ausklinkung wird angelehnt und mittels Teilgewindeschrauben gegen Abheben gesichert. Auch in dieser Variante können Verformungen des Falterkwerks über einen Puffer ausgeglichen werden.



**Abbildung 6-64 Keil und Stufenfalz verschraubt**

Die vorgestellten Verbindungen werden im Kapitel 6-11 bemessen.

## 6-10.2 NACHWEISE DER VERBINDUNGSMITTEL

Vorab werden in diesem Abschnitt die erforderlichen Grundlagen zur Bemessung der Verbindungen bzw. Verbindungsmittel zusammengefasst.

### 6-10.2.1 Axial beanspruchte Verbindungsmittel

Bei axialer Beanspruchung sind Holzbau-Schrauben auf folgende Versagensmechanismen nachzuweisen:

- Ausziehen des eingeschraubten Gewindeteils
- Kopfdurchziehen
- Zugversagen Schraube
- Knickversagen Schraube (bei Druckbelastung)

### Axiale Tragfähigkeit auf Herausziehen

Der charakteristische Wert der Ausziehtragfähigkeit bei Schrauben mit einem Winkel zur Faserrichtung von  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$  ist gemäß ETA-11/0190 [63] wie folgt zu ermitteln:

$$F_{ax,Rk} = \frac{k_{ax} \cdot f_{ax,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{k_{\beta}} \cdot \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0,8} \quad [N] \quad (6.49)$$

mit:

$$\begin{array}{ll}
 45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ & k_{ax} = 1 \\
 0^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ & k_{ax} = 0,3 + \frac{0,7 \cdot \alpha}{45^\circ}
 \end{array}$$

Dabei sind:

- $F_{ax,Rk}$  ..... charakteristischer Wert der Ausziehtragfähigkeit einer Schraube [N]
- $k_{ax}$  ..... Faktor, der den Winkel  $\alpha$  zwischen Schraubenachse und Faserrichtung berücksichtigt
- $k_{\beta}$  ..... für Brettschichtholz  $k_{\beta} = 1,0$
- $f_{ax,k}$  ..... charakteristischer Ausziehparameter [N/mm<sup>2</sup>]
- $d$  ..... Gewindeaußendurchmesser der Schraube [mm]
- $l_{ef}$  ..... Einbindtiefe der Schraube im Holzbauteil [mm]
- $\rho_k$  ..... charakteristische Rohdichte [kg/m<sup>3</sup>]

In Schmalflächen von Brettspertholz sollen sich die Schrauben vollständig in einer Brettspertholz-Lage einbinden. Der charakteristische Wert der Ausziehtragfähigkeit von Schrauben in Schmalflächen von BSP ist unabhängig vom Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung darf wie folgt berücksichtigt werden:

$$F_{ax,Rk} = 20 \cdot d^{0,8} \cdot l_{ef}^{0,9} \quad [N] \quad (6.50)$$

Dabei sind:

- $F_{ax,Rk}$  ..... charakteristischer Wert der Ausziehtragfähigkeit einer Schraube [N]
- $d$  ..... Gewindeaußendurchmesser der Schraube [mm]
- $l_{ef}$  ..... Einbindtiefe der Schraube im Holzbauteil [mm]

Gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] sollten Schrauben in Schmalflächen in das Seitenholz (Brettlagen mit einem Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung von  $90^\circ$ ) eingebracht werden. Ist dies nicht möglich sollten Schrauben mit Teilgewinde verwendet werden.

### Kopfdurchziehtragfähigkeit

Gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] ist der Durchzieh Widerstand wie folgt zu ermitteln:

$$F_{ax,head,Rk} = f_{head,k} \cdot d_h^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{350}\right)^{0,8} \quad [N] \quad (6.51)$$

Dabei sind:

$F_{ax,head,Rk}$	charakteristischer Durchzieh Widerstand einer Schraube im Winkel $\alpha \geq 30^\circ$ zur Faserrichtung [N]
$f_{head,k}$	charakteristischer Durchziehparameter der Schraube [N/mm <sup>2</sup> ]
$d_h$ .....	Durchmesser des Schraubenkopfes [mm]

### Zugfestigkeit Schraube

Gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] wird die Zugfestigkeit folgend ermittelt:

$$F_{t,Rk} = f_{tens,k} \quad [N] \quad (6.52)$$

Dabei sind:

$F_{t,Rk}$ .....	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit [N]
$f_{tens,k}$ .....	charakteristische Zugwiderstand der Schraube [N]

6-10.2.2 Auf Abscheren beanspruchte Verbindungsmittel

Gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] wird die laterale Tragfähigkeit von stiftförmigen Verbindungsmittel nach den Versagensmodi der Theorie von *Johansen* berechnet. Die charakteristische Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel ist der kleinster Wert der jeweiligen Versagensmodi zu ermitteln.

**Holz-Holz-Verbindung – einschnittig**

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \quad (a) \\ f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \quad (b) \\ \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \cdot \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2\right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1}\right) \right] + \frac{F_{ax,k}}{4} \quad (c) \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,k}}{4} \quad (d) \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (1 + 2\beta) \cdot M_{y,k}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,k}}{4} \quad (e) \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,k} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,k}}{4} \quad (f) \end{array} \right. \quad (6.53)$$

**Stahl-Holz-Verbindungen – zweisehnittig**

Blech jeder Dicke als Mittelteil:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \quad (f) \\ f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,k}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,k}}{4} \quad (g) \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,k}}{4} \quad (h) \end{array} \right. \quad (6.54)$$

Dicke Bleche als Seitenteile:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \quad (l) \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,k} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,k}}{4} \quad (m) \end{array} \right. \quad (6.55)$$

Dabei sind:

- $F_{v,Rk}$  ..... charakteristischer Wert der Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel [N]
- $t_i$  ..... Holzdicke oder Einbindetiefe [mm]
- $f_{h,i,k}$  ..... charakteristische Wert der Lochleibungsfestigkeit im Holzteil [N/mm<sup>2</sup>]
- $d$  ..... Durchmesser des Verbindungsmittels [mm]
- $M_{y,k}$  ..... charakteristisches Fließmoment des Verbindungsmittels [Nmm]
- $\beta$  ..... Verhältnis der Lochleibungsfestigkeiten der Bauteile zueinander
- $F_{ax,k}$  ..... charakteristischer Auszieh Widerstand des Verbindungsmittels [N]
- $t_1$  ..... der kleinere Wert der Holzdicke oder Einbindetiefe [mm]
- $t_2$  ..... Dicke des Mittelholzes [mm]

## Lochleibungsfestigkeit

Für die Berechnung der Tragfähigkeit eines Verbindungsmittels nach der Theorie von Johansen wird die charakteristische Lochleibungsfestigkeit benötigt. Diese ist abhängig vom Verbindungsmittel und dem verwendeten Holzbauprodukt mit unterschiedlichen Gleichungen zu ermitteln.

### Schrauben

gemäß ETA-11/0190 [63]:

Die Lochleibungsfestigkeit von Schrauben in Seitenflächen von Brettsperrholz kann wie für Vollholz berechnet werden, sofern die Kraft rechtwinklig zur Schraubenachse und parallel zur Seitenfläche des Brettsperrholzes wirkt. Für nicht vorgebohrte Schrauben gilt:

$$f_{h,k} = \frac{0,082 \rho_k d^{-0,3}}{2,5 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (6.56)$$

Dabei sind:

- $f_{h,k}$  ..... charakteristischer Wert der Lochleibungsfestigkeit [N/mm<sup>2</sup>]
- $\rho_k$  ..... charakteristische Rohdichte des Holzbauteils [kg/m<sup>3</sup>]
- $d$  ..... Gewindeaußendurchmesser der Schraube [mm]
- $\alpha$  ..... Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung (Decklage),  $0 \leq \alpha \leq 90$  [°]

Bei in den Schmalflächen parallel zu den Lagen des Brettsperrholzes eingedrehten Schrauben kann die Lochleibungsfestigkeit unabhängig vom Winkel der Schraubenachse zur Faserrichtung der Brettlage wie folgt angenommen werden.

$$f_{h,k} = 20 d^{-0,5} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (6.57)$$

$d$  ..... Gewindeaußendurchmesser der Schraube [mm]

### Stabdübel

Gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] erfolgt die Ermittlung der charakteristischen Lochleibungsfestigkeit von Stabdübel nach den Festlegungen für Bolzen.

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (6.58)$$

mit:  $k_{90} = (1,35 + 0,015 d) \quad [-] \quad (6.59)$

Dabei sind:

- $d$  ..... Durchmesser des Verbindungsmittels [mm]
- $k_{90}$  ..... Beiwert für Nadelhölzer [-]
- $\alpha$  ..... Winkel zwischen Beanspruchungsrichtung und Faserrichtung der Deckplatte [°]

### 6-10.2.3 Effektive Tragfähigkeit

Gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] ist die effektive charakteristische Tragfähigkeit einer Verbindungsmittelreihe, deren Verbindungsmittel in Faserrichtung hintereinander liegend angeordnet werden, wie folgt zu bestimmen:

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} \cdot F_{v,Rk} \quad [N] \quad (6.60)$$

Dabei sind:

- $F_{v,ef,Rk}$  ...effektive charakteristische Tragfähigkeit parallel zu einer Verbindungsmittelreihe [N]
- $n_{ef}$  .....wirksame Anzahl der Verbindungsmittel [-]
- $F_{v,Rk}$  .....charakteristische Tragfähigkeit pro Verbindungsmittel [N]

### 6-10.2.4 Bemessungswert der Tragfähigkeit

Gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] ist der Bemessungswert der Tragfähigkeit einer Verbindung wie folgt zu bestimmen:

$$F_{v,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} \quad [N] \quad (6.61)$$

Dabei sind:

- $F_{v,Rk}$  .....charakteristischer Wert der Tragfähigkeit einer Verbindung [N]
- $\gamma_m$  ..... Teilsicherheitsbeiwert für Verbindungen  $\gamma_m = 1,30$
- $k_{mod}$  .....Modifikationsbeiwert der Lasteinwirkungsdauer kurz und Nutzungsklasse 1  $k_{mod} = 0,9$

### 6-10.2.5 Kombinierte Beanspruchung

Gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] ist bei einer kombinierten Beanspruchung aus axialer und lateraler Richtung folgende Bedingung zu erfüllen:

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (6.62)$$

- $F_{ax,Ed}, F_{v,Ed}$  Bemessungswerte der Einwirkungen in Richtung der Verbindungsmittelachse bzw. rechtwinklig zur Verbindungsmittelachse [N]
- $F_{ax,Rd}, F_{v,Rd}$  Bemessungswerte der Tragfähigkeiten der Verbindungen unter Einwirkung in Richtung der Verbindungsmittelachse bzw. rechtwinklig zur Verbindungsmittelachse [N]

### 6-10.2.6 Verschiebungsmodul

siehe ÖNORM B 1995-1-1 [56]

Der Verschiebungsmodul erlaubt die Berücksichtigung des Einflusses der Nachgiebigkeit der Verbindungsmittel. Es wird zwischen dem Verschiebungsmodul unter Gebrauchslast  $K_{ser}$  und dem Anfangsverschiebungsmodul im Grenzzustand der Tragfähigkeit  $K_u$  unterschieden.

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} \quad (6.63)$$

Der Bemessungswert des Verschiebungsmoduls im Grenzzustand der Tragfähigkeit ist anzunehmen mit:

$$K_d = \frac{K_u}{\gamma_M} \quad (6.64)$$

mit:

$\gamma_m$ ..... Teilsicherheitsbeiwert für Verbindungen  $\gamma_m = 1,30$

#### Lateral beanspruchte Verbindungsmittel

Der Verschiebungsmodul  $K_{ser}$  pro Scherfuge für stiftförmige Verbindungsmittel wie Stabdübel, Bolzen, Schrauben und vorgebohrte Nägel berechnet sich nach ÖNORM B 1995-1-1 [56] wie folgt.

$$K_{ser} = \rho_m^{1,5} d / 23 \quad [\text{N/mm}] \quad (6.65)$$

Dabei sind:

$\rho_m$  ..... mittlere Rohdichte des Holzwerkstoffes [ $\text{kg/m}^3$ ]

$d$  ..... Durchmesser des Verbindungsmittels [mm]

Bei Stahl-Holz-Verbindungen sollte  $K_{ser}$  mit dem Faktor 2,0 multipliziert werden.

#### Axial beanspruchte Holzschrauben

Der Verschiebungsmodul  $K_{ser}$  einer axial beanspruchten Schraube berechnet sich aus:

$$K_{ser} = 25 \cdot d \cdot l_{ef} \quad [\text{N/mm}] \quad (6.66)$$

Dabei sind:

$d$  ..... Gewindeaußendurchmesser der Schraube [mm]

$l_{ef}$  ..... Einbindetiefe des Gewindeteils der Schraube im Holzbauteil [mm]



Verbindet eine Schraube zwei Holzbauteile miteinander, wirkt diese Verbindung wie zwei serielle Federn. Eine Ersatzfeder  $K_{ser,tot}$  lässt sich gemäß [64] folgend ermitteln:

$$\frac{1}{K_{ser,tot}} = \sum \frac{1}{K_{ser}} \quad (6.67)$$

$$\frac{1}{K_{ser,tot}} = \frac{1}{K_{ser,1}} + \frac{1}{K_{ser,2}}$$

$$\frac{1}{K_{ser,tot}} = \frac{1}{25 \cdot d \cdot l_{ef,1}} + \frac{1}{25 \cdot d \cdot l_{ef,2}} = \frac{1}{25 \cdot d} \left( \frac{1}{l_{ef,1}} + \frac{1}{l_{ef,2}} \right)$$

Daraus ergibt sich die folgende Gleichung um die Fugensteifigkeit zu ermitteln:

$$K_{ser,tot} = \frac{25 \cdot d \cdot l_{ef,1} \cdot l_{ef,2}}{l_{ef,1} + l_{ef,2}} \quad [\text{N/mm}] \quad (6.68)$$

Dabei sind:

- $d$  .....Gewindeaußendurchmesser der Schraube [mm]
- $l_{ef,1}, l_{ef,2}$  .....Einbindetiefe der Schraube im Holzbauteil [mm]

## 6-10.3 SONSTIGE NACHWEISE

### 6-10.3.1 Querdrucknachweis

Gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] ist der Querdrucknachweis erfüllt, sofern folgende Bedingung eingehalten wird.

$$\frac{F_{c,90,Rd}}{A_{ef}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad [\text{N/mm}^2] \quad (6.69)$$

Dabei sind:

- $F_{c,90,Rd}$  ... Bemessungswert der Druckkraft rechtwinklig zur Faserrichtung [N]
- $A_{ef}$  ..... wirksame Kontaktfläche [mm<sup>2</sup>]
- $k_{c,90}$  ... Beiwert zur Berücksichtigung der Art der Einwirkung, der Spaltgefahr und des Grades der Druckverformung
- $f_{c,90,d}$  ..... Bemessungswert der Druckfestigkeit rechtwinklig zur Faserrichtung [N/mm<sup>2</sup>]

### 6-10.4 VERWENDETE VERBINDUNGSMITTEL

Die verwendeten Verbindungsmittel sind in den nachfolgenden Tabellen mit den zugehörigen Kennwerten aufgelistet [63].

Würth ASSY Schrauben		plus VG 8	plus VG 10	plus VG 12	3.0 SK 8 TGS
Gewindeaußendurchmesser	$d$	8,0 mm	10,0 mm	12,0 mm	8,0 mm
Kerndurchmesser	$d_1$	5,3 mm	6,3 mm	7,1 mm	5,3 mm
Durchmesser des Schraubenkopfes	$d_h$	15,0 mm	18,5 mm	22,5 mm	22,0 mm
charakteristischer Ausziehparameter	$f_{ax,k}$	11,0 N/mm <sup>2</sup>	11,0 N/mm <sup>2</sup>	10,0 N/mm <sup>2</sup>	11,0 N/mm <sup>2</sup>
charakteristische Zugtragfähigkeit	$f_{tens,k}$	22,0 kN	33,0 kN	45,0 kN	22,0 kN
charakteristischer Durchziehparameter	$f_{head,k}$	13,0 N/mm <sup>2</sup>	13,0 N/mm <sup>2</sup>	10,0 N/mm <sup>2</sup>	10,0 N/mm <sup>2</sup>
charakteristisches Fließmoment	$M_{y,k}$	23,0 Nm	36,0 Nm	58,0 Nm	23,0 Nm
charakteristische Streckgrenze	$f_{y,k}$	1000 N/mm <sup>2</sup>			
E-Modul	$E_s$	210000 N/mm <sup>2</sup>			

**Tabelle 6-28 Kennwerte der verwendeten Schrauben [63]**

" Rothoblaas"- selbstbohrende Stabdübel		WS 7/133
Nenndurchmesser	$d$	7 mm
charakteristischer Wert des Fließmoments	$M_{y,k}$	31930 Nmm

**Tabelle 6-29 Kennwerte der verwendeten selbstbohrenden Stabdübel [65]**

Die Rohdichte des Brettsperrholzes gemäß ETA 12/0281 [58] beträgt  $\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$ .

### Abstände der verwendeten Verbindungsmittel

Gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] ist der maximale Abstand von Schrauben für die Verbindung von Brettsper Holz untereinander 500 mm.

Die Mindestabstände werden aus der Zulassung ETA 11/0190 [63] entnommen:

<b>Würth ASSY Schrauben</b>	$a_1$	$a_{3,t}$	$a_{3,c}$	$a_2$	$a_{4,t}$	$a_{4,c}$
Seitenflächen	4 d	6 d	6 d	2,5 d	6 d	2,5 d
Schmal- bzw. Stirnfläche	10 d	12 d	7 d	4 d	6 d	3 d

**Tabelle 6-30 Mindestabstände Schrauben nach ETA 11/0190 [63]**

Die Mindestabstände der selbstbohrenden Stabdübel wurden der technischen Dokumentation [65] entnommen:

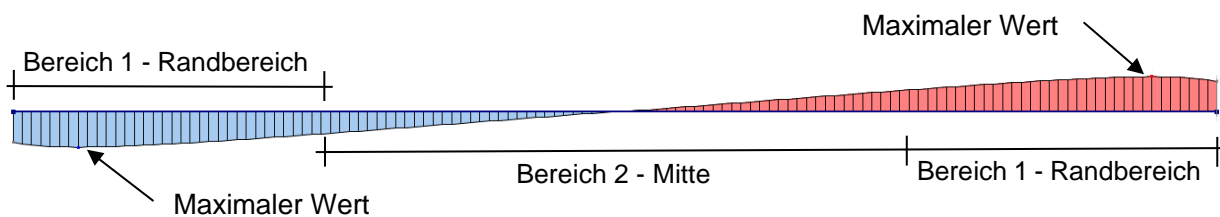
<b>selbstbohrende Stabdübel</b>	$a_1$	$a_{3,t}$	$a_{3,c}$	$a_2$	$a_{4,t}$	$a_{4,c}$
Winkel zw. Faser und Kraft 0°	35 mm	80 mm	21 mm	21 mm	21 mm	21 mm
Winkel zw. Faser und Kraft 90°	21 mm	80 mm	21 mm	21 mm	28 mm	21 mm

**Tabelle 6-31 Mindestabstände selbstbohrende Stabdübel [65]**

## 6-11 NACHWEISFÜHRUNG DER VERBINDUNGSMITTEL

Die Verbindungsmittelnachweise wurden iterativ geführt, da sich aufgrund der berechneten Verschiebungsmodule die Kräfte in den Falterkanten umlagern können und somit die Anzahl der Verbindungsmittel zu korrigieren ist. Dieser Vorgang wurde so lange wiederholt, bis die nachstehenden Endergebnisse feststanden.

Die Ergebnisverläufe werden aus den Liniengelenken des Bemessungsmodells ausgelesen. Ein exemplarischer Schubverlauf zwischen Falterkflächen wird in der nachstehenden Abbildung 6-65 gezeigt.



**Abbildung 6-65 exemplarischer Verlauf der Schubspannung  $n_x$  zwischen Falterkflächen\***

\*in der Realität ist bei  $x = 0,00$  m und  $x = 19,3$  m (Länge des Falterks) der Wert  $n_x = 0,00$  kN/m

Der Schubverlauf zwischen den Falterkflächen ist asymmetrisch. Die maximale Beanspruchung in den Falterkanten tritt innerhalb der Randbereiche auf.

Aus diesem Grund wird für die Bemessung der Schraubenverbindungen die Länge der Falterkante in Bereiche aufgeteilt:

Bereich 1 – Randbereich:  $x = 0,00$  m bis  $x = 5,00$  m und  $x = 14,3$  m bis  $19,3$  m

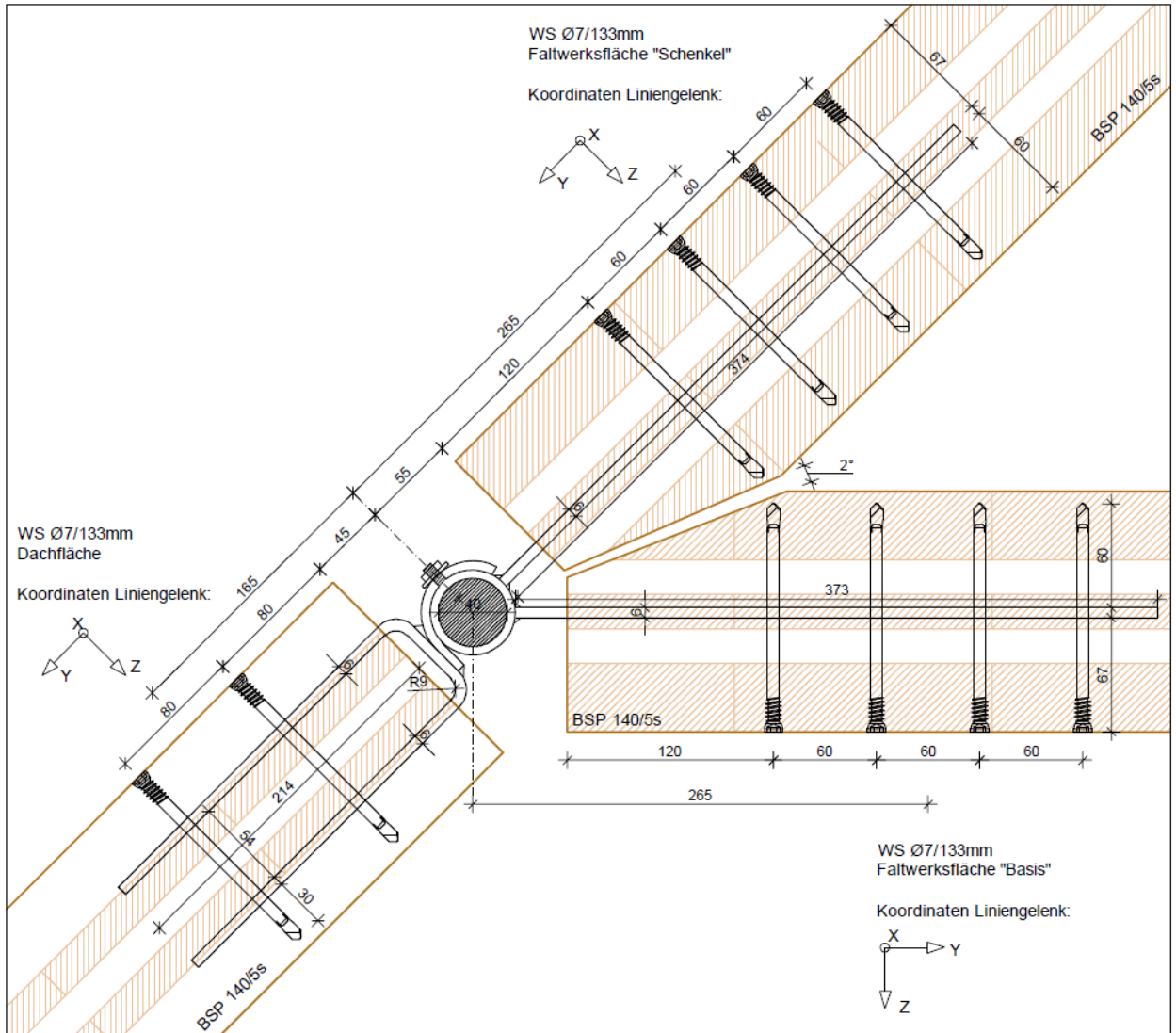
Bereich 2 – Mitte:  $x = 5,00$  m bis  $x = 14,3$  m

Im Randbereich ist folglich eine höhere Verbindungsmittelanzahl erforderlich als im restlichen Bereich in der Mitte.

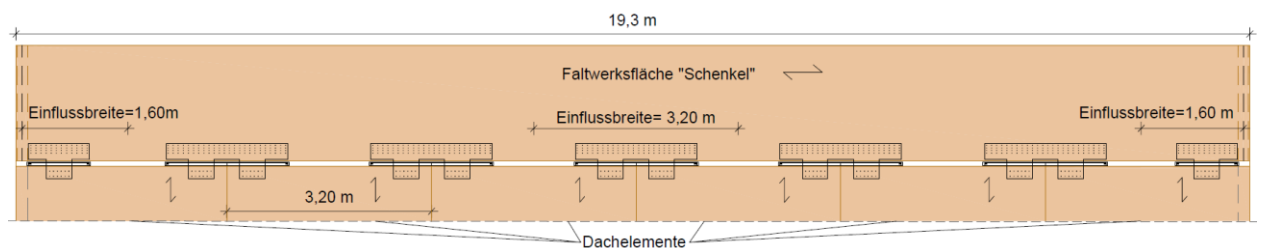
Ausgenommen davon ist die Bemessung der Stabdübelverbindung (Variante 1). Für diesen Verbindungsmittelnachweis werden die Spannungen der Einflussbreite zur Bemessung herangezogen.

### 6-11.1 VARIANTEN - ANSCHLUSS DACHELEMENT AN FALTWERK

#### 6-11.1.1 Variante 1- Gelenkverbindung mit Stabdübel



**Abbildung 6-66 Gelenkverbindung mit Stabdübel [Maße in mm]**



**Abbildung 6-67 Überblick Gelenkverbindung [Maße in m]**

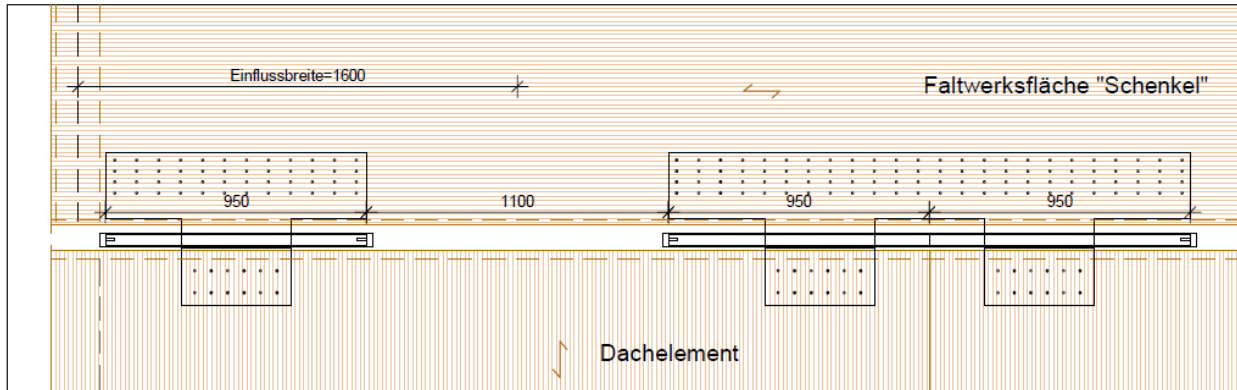


Abbildung 6-68 Verbindung im Randbereich [Maße in mm]

### Faltwerksfläche „Schenkel“

Die maßgebende Belastung wird aus der Glättung (sichtbar in grüner Farbe in den nachstehenden Abbildungen) über die Einflussbreite von 1,60 m entnommen und dann pro Meter umgerechnet. Die Spannungsspitzen im ersten FE-Netz werden vernachlässigt.

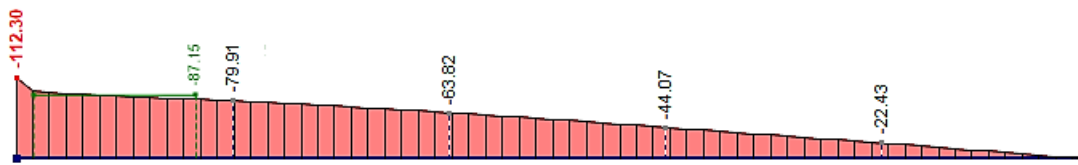


Abbildung 6-69 Hälfte des asymmetrischen Verlaufs  $n_x$  [kN/m]

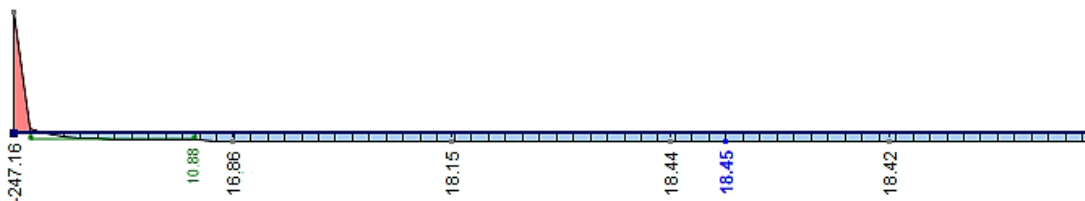
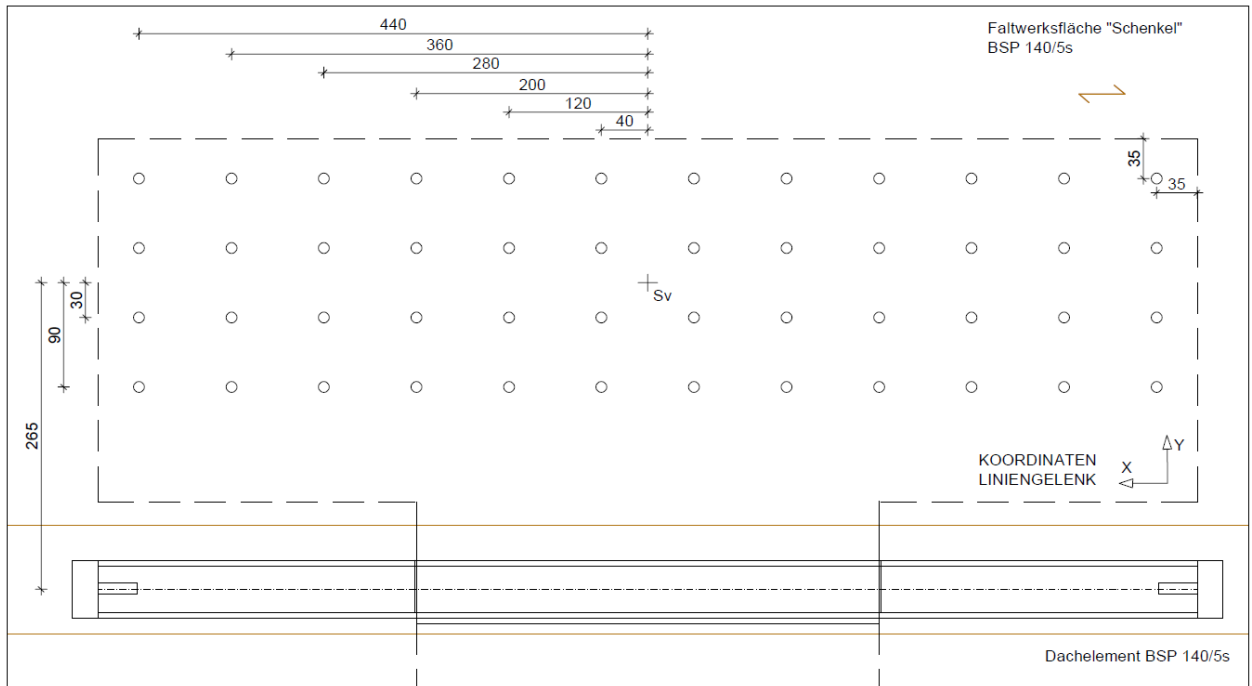


Abbildung 6-70 Hälfte des symmetrischen Verlaufs  $v_y$  [kN/m]

Es ergeben sich folgende Belastungen für die Bemessung der Stabdübelverbindung im Randbereich:

$$F_{x,Ed} = 87,2 \cdot 1,60 = 140 \text{ kN/m}$$

$$F_{y,Ed} = 10,8 \cdot 1,60 = 17,3 \text{ kN/m}$$



**Abbildung 6-71 Stahlblech Falterwerksfläche „Schenkel“ [Maße in mm]**

Die Stabdübelverbindung wird für eine Beanspruchung der Verbindung durch Abscherkräfte und ein Moment nachgewiesen.

Dazu wird das polare Trägheitsmoment der Stabdübel berechnet.

$$I_p = \Sigma(x_i^2 + y_i^2)$$

$$I_p = 2 \cdot 4 \cdot (40^2 + 120^2 + 200^2 + 280^2 + 360^2 + 440^2) + 2 \cdot 12 \cdot (30^2 + 90^2) = 3,88 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

Die Kraft in x Richtung ergibt mit der Exzentrizität des Schwerpunkts der Verbindung zur Achse des Gelenks ein Versatz-Moment:

$$M_{SV} = F_{x,Ed} \cdot e = 140 \cdot 0,265 = 37,1 \text{ kNm}$$

Aus dem Moment und den Kräften in x- und y- Richtung errechnet sich die größte Kraft auf einen der vier äußeren Stabdübel.

$$F_{x,M} = \frac{M_{SV}}{I_p} \cdot y_{max} = \frac{37,1 \cdot 10^6}{3,88 \cdot 10^6} \cdot 90 = 861 \text{ N} = 0,86 \text{ kN}$$

$$F_{x,N} = \frac{F_{x,Ed}}{n} = \frac{140 \cdot 10^3}{48} = 2917 \text{ N} = 2,92 \text{ kN}$$

$$F_{x,Ed} = F_{x,M} + F_{x,N} = 3,78 \text{ kN}$$

$$F_{y,M} = \frac{M_{SV}}{I_p} \cdot x_{max} = \frac{37,1 \cdot 10^6}{3,88 \cdot 10^6} \cdot 440 = 4208 \text{ N} = 4,21 \text{ kN}$$

$$F_{y,N} = \frac{F_{y,Ed}}{n} = \frac{17,3 \cdot 10^3}{48} = 360 \text{ N} = 0,36 \text{ kN}$$

$$F_{y,Ed} = F_{y,M} + F_{y,N} = 4,57 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{y,Ed}^2} = 5,93 \text{ kN}$$

$$\alpha = \arctan \frac{F_{y,Ed}}{F_{x,Ed}} = 50,4^\circ$$

Die Lochleibungsfestigkeit der Stabdübel wird nach Gleichungen (6.58) und (6.59) berechnet.

$$k_{90} = (1,35 + 0,015 \cdot 7) = 1,46$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{0,082 (1 - 0,01 \cdot 7) 385}{1,46 \cdot \sin^2 50,4 + \cos^2 50,4} = 23,1 \text{ N/mm}^2$$

Die Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel wird nach Gleichung (6.54) berechnet und mit der Anzahl der Scherfugen multipliziert:

$$d = 7 \text{ mm}$$

$$t_1 = 60 \text{ mm}$$

$$M_{y,k} = 31930 \text{ Nmm}$$

$$F_{v,d} = 2 \cdot \frac{0,9}{1,30} \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} 9702 \quad (f) \\ 4752 \quad (g) \\ 5226 \quad (h) \end{array} \right\} = 2 \cdot \frac{0,9}{1,30} \cdot 4752 \text{ N} = 6579 \text{ N} = 6,58 \text{ kN}$$

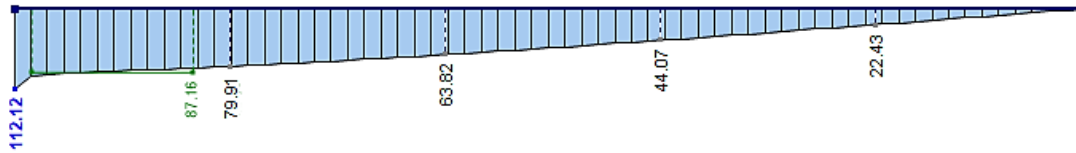
### Nachweis

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{5,93}{6,58} = 0,90 < 1,0$$

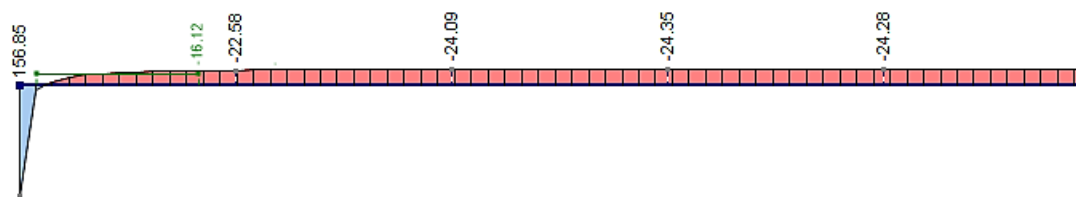


**Faltwerksfläche „Basis“**

Die maßgebende Belastung wird aus der Glättung (sichtbar in grüner Farbe in den nachstehenden Abbildungen) über die Einflussbreite von 1,60 m entnommen und dann pro Meter umgerechnet. Die Spannungsspitzen im ersten FE-Netz werden vernachlässigt.



**Abbildung 6-72 Hälfte des asymmetrischen Verlaufs  $n_x$  [kN/m]**

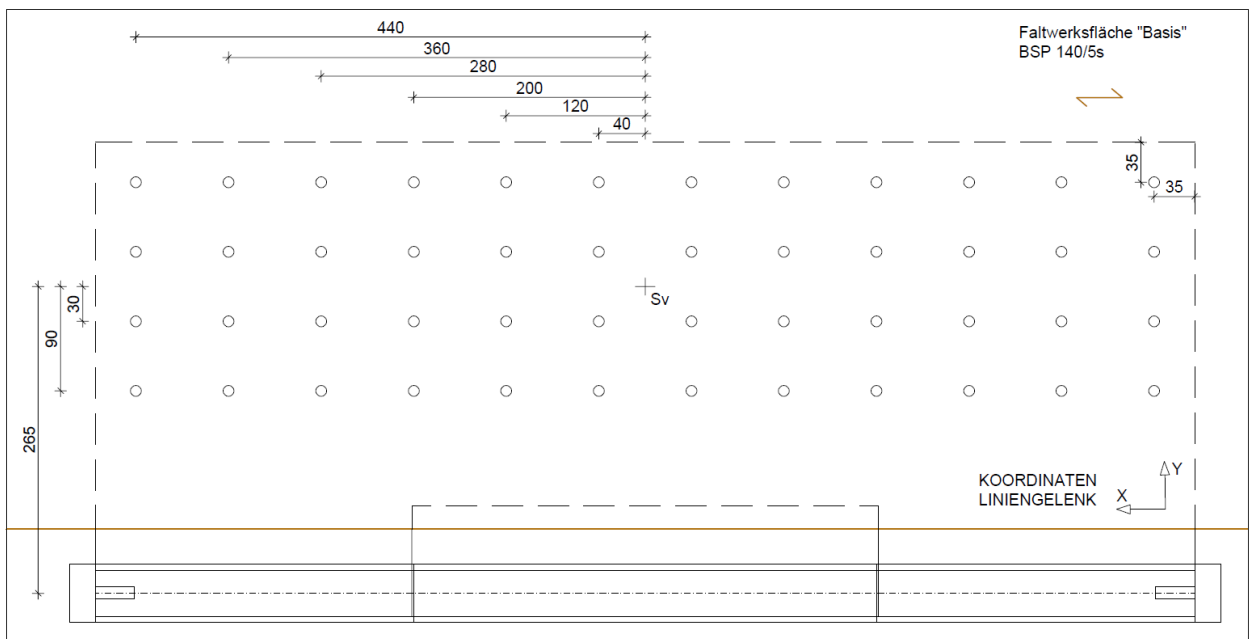


**Abbildung 6-73 Hälfte des symmetrischen Verlaufs  $v_y$  [kN/m]**

Es ergeben sich folgende Belastungen für die Bemessung der Stabdübelverbindung im Randbereich:

$$F_{x,Ed} = 87,2 \cdot 1,60 = 140 \text{ kN/m}$$

$$F_{y,Ed} = 16,1 \cdot 1,60 = 25,8 \text{ kN/m}$$



**Abbildung 6-74 Stahlblech Faltwerksfläche "Basis" [Maße in mm]**

Dazu wird das polare Trägheitsmoment der Stabdübel berechnet.

$$I_p = \Sigma(x_i^2 + y_i^2)$$

$$I_p = 2 \cdot 4 \cdot (40^2 + 120^2 + 200^2 + 280^2 + 360^2 + 440^2) + 2 \cdot 12 \cdot (30^2 + 90^2) = 3,88 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

Die Kraft in x Richtung ergibt mit der Exzentrizität des Schwerpunkts der Verbindung zur Achse des Gelenks ein Versatz-Moment:

$$M_{SV} = F_{x,Ed} \cdot e = 140 \cdot 0,265 = 37,1 \text{ kNm}$$

Aus dem Moment und den Kräften in x- und y- Richtung errechnet sich die größte Kraft auf einen der vier äußeren Stabdübel.

$$F_{x,M} = \frac{M_{SV}}{I_p} \cdot y_{max} = \frac{37,1 \cdot 10^6}{3,88 \cdot 10^6} \cdot 90 = 861 \text{ N} = 0,86 \text{ kN}$$

$$F_{x,N} = \frac{F_{x,Ed}}{n} = \frac{140 \cdot 10^3}{48} = 2917 \text{ N} = 2,92 \text{ kN}$$

$$F_{x,Ed} = F_{x,M} + F_{x,N} = 3,78 \text{ kN}$$

$$F_{y,M} = \frac{M_{SV}}{I_p} \cdot x_{max} = \frac{37,1 \cdot 10^6}{3,88 \cdot 10^6} \cdot 440 = 4208 \text{ N} = 4,21 \text{ kN}$$

$$F_{y,N} = \frac{F_{y,Ed}}{n} = \frac{25,8 \cdot 10^3}{48} = 538 \text{ N} = 0,54 \text{ kN}$$

$$F_{y,Ed} = F_{y,M} + F_{y,N} = 4,75 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{y,Ed}^2} = 6,07 \text{ kN}$$

$$\alpha = \arctan \frac{F_{y,Ed}}{F_{x,Ed}} = 51,5^\circ$$

Die Lochleibungsfestigkeit der Stabdübel wird nach Gleichungen (6.58) und (6.59) berechnet.

$$k_{90} = (1,35 + 0,015 \cdot 7) = 1,46$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{0,082 (1 - 0,01 \cdot 7) 385}{1,46 \cdot \sin^2 51,5 + \cos^2 51,5} = 22,9 \text{ N/mm}^2$$

Die Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel wird nach Gleichung (6.54) berechnet und mit der Anzahl der Scherfugen multipliziert:

$$d = 7 \text{ mm}$$

$$t_1 = 60 \text{ mm}$$

$$M_{y,k} = 31930 \text{ Nmm}$$

$$F_{v,d} = 2 \cdot \frac{0,9}{1,30} \cdot \min \left\{ \begin{array}{ll} 9618 & (f) \\ 4717 & (g) \\ 5203 & (h) \end{array} \right\} = 2 \cdot \frac{0,9}{1,30} \cdot 4717 \text{ N} = 6530 \text{ N} = 6,53 \text{ kN}$$

### Nachweis

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{6,07}{6,53} = 0,93 < 1,0$$

Steifigkeit zwischen Falterksflächen:

Die Steifigkeit eines Stabdübels wird mit Gleichung (6.65) berechnet und mit der Anzahl der Stabdübel, mit der Anzahl der Scherfugen und aufgrund des Vorliegens einer Holz-Stahlblech-Verbindung mit 2 multipliziert. Die Steifigkeit der Verbindung der Falterksfläche „Basis“ und „Schenkel“ ist dieselbe.

$$K_{ser,STD} = 385^{1,5} \cdot 7/23 = 2299 \text{ N/mm}$$

$$K_{ser} = 2 \cdot 2 \cdot 48 \cdot 2299 = 441408 \text{ N/mm}$$

Die Steifigkeit der Verbindung der beiden Falterksflächen miteinander wird berechnet zu:

$$K_{ser,Gelenk} = 441408/2 = 220704 \text{ N/mm}$$

Die Steifigkeit pro Meter ergibt sich durch die Aufteilung über die Einflussbreite:

$$K_{ser,res} = 220704/1,60 = 137940 \text{ kN/m}^2$$

### Regel-Dachelement

Das System wurde mit an das Falwerk angelehnte Dachelemente modelliert. Bei dieser Variante muss jedoch davon ausgegangen werden, dass die Dachelemente erst an den Bolzen hängen und dann aufgrund des fehlenden Verformungspuffers von der Durchbiegung des Falwerks „gezwängt“ werden. Zur Vollständigkeit wird die Verbindung der Dachelemente mit dem Bolzen dennoch mit den Schnittkräften eines eingehängten Dachelements berechnet.

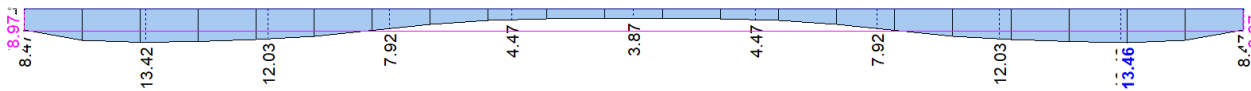


Abbildung 6-75 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft  $v_y$  [kN/m]

Da pro Dachelement zwei Stabdübelverbindungen die Kräfte aufnehmen ist die Einflussbreite einer Verbindung die halbe Breite des Dachelements (1,60 m). Die Belastung berechnet sich wie folgt:

$$F_{y,Ed} = 8,97 \cdot 1,60 = 14,4 \text{ kN/m}$$

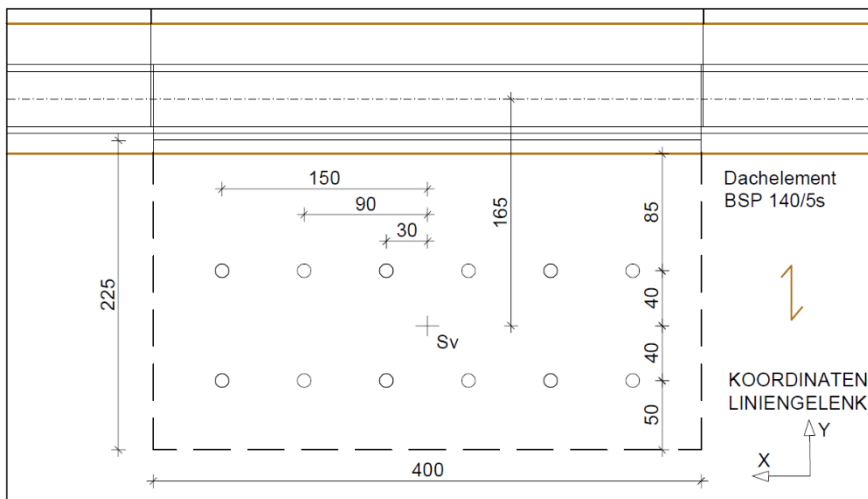


Abbildung 6-76 Stahlblech Dachelement [Maße in mm]

Die Stabdübelverbindung wird für eine Beanspruchung der Verbindung durch Abscherkräfte nachgewiesen.

$$F_{y,N} = \frac{F_{y,Ed}}{n} = \frac{14,4 \cdot 10^3}{12} = 1200 \text{ N} = 1,2 \text{ kN}$$

Der Winkel der Beanspruchungsrichtung zur Faserrichtung ist  $\alpha = 0^\circ$ .

Die Lochleibungsfestigkeit der Stabdübel wird nach Gleichungen (6.59) berechnet.

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 \cdot 7) 385 = 29,4 \text{ N/mm}^2$$

Die Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel wird nach Gleichungen (6.54) und (6.55) berechnet und mit der Anzahl der Scherfugen multipliziert:

$$d = 7 \text{ mm}$$

$$t_1 = 30 \text{ mm}$$

$$M_{y,k} = 31930 \text{ Nmm}$$

Stahlblech innenliegend

$$F_{v,1,d} = 2 \cdot \frac{0,9}{1,30} \cdot \min \left\{ \begin{array}{ll} 6174 & (f) \\ 3951 & (g) \\ 5896 & (h) \end{array} \right\} = 2 \cdot \frac{0,9}{1,30} \cdot 3951 \text{ N} = 5471 \text{ N} = 5,47 \text{ kN}$$

Dickes Stahlblech außenliegend

$$t_2 = 54 \text{ mm}$$

$$F_{v,2,d} = 2 \cdot \frac{0,9}{1,30} \cdot \min \left\{ \begin{array}{ll} 5660 & (l) \\ 5896 & (m) \end{array} \right\} = 2 \cdot \frac{0,9}{1,30} \cdot 5660 \text{ N} = 7836 \text{ N} = 7,84 \text{ kN}$$

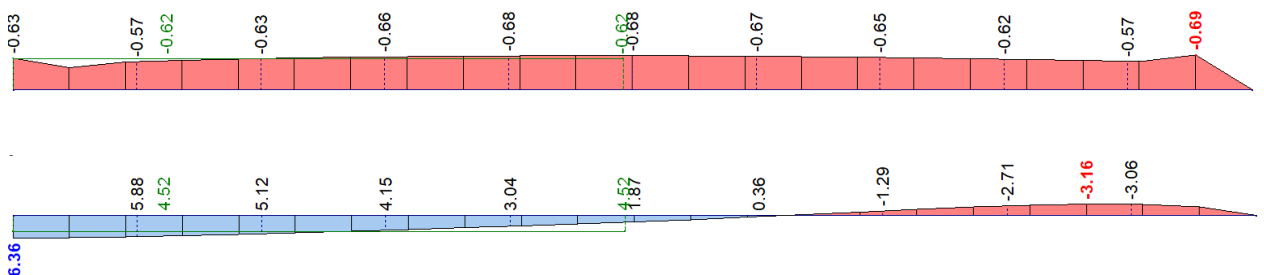
$$F_{v,d} = F_{v,1,d} + F_{v,2,d} = 13,3 \text{ kN}$$

**Nachweis**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{1,20}{13,3} = 0,09 < 1,0$$

Dachelement (Windverband)

Zur Vollständigkeit wird die Verbindung des Windverbandes ebenfalls mit den Schnittkräften eines eingehängten Dachelements berechnet.

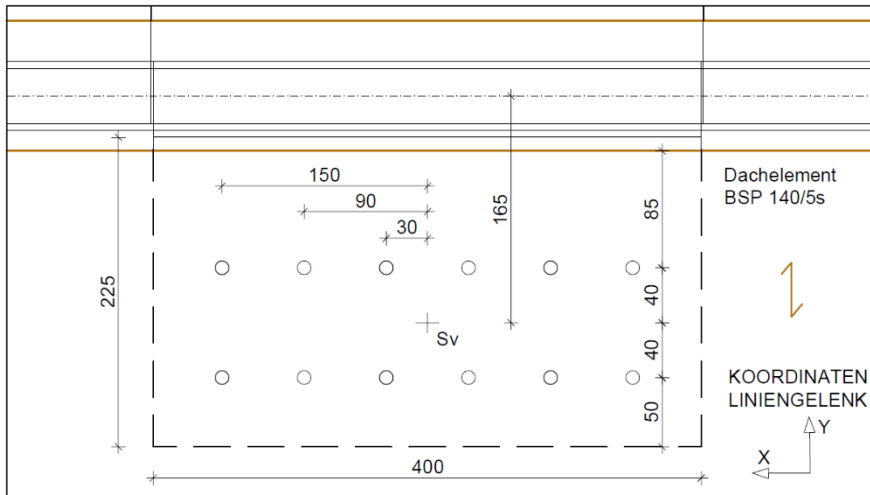


**Abbildung 6-77 Verlauf der maßgebenden Fugenkräfte: oben  $n_x$  [kN/m] unten  $v_y$  [kN/m]**

Über die Einflussbreite von 1,60 m errechnen sich folgende Beanspruchungen:

$$F_{x,Ed} = 0,62 \cdot 1,60 = 0,99 \text{ kN/m}$$

$$F_{y,Ed} = 4,52 \cdot 1,60 = 7,23 \text{ kN/m}$$



**Abbildung 6-78 Stahlblech Dachelement [Maße in mm]**

Die Stabdübelverbindung wird für eine Beanspruchung der Verbindung durch Abscherkräfte und ein Moment nachgewiesen.

Dazu wird das polare Trägheitsmoment der Stabdübel berechnet.

$$I_p = \Sigma(x_i^2 + y_i^2)$$

$$I_p = 2 \cdot 2 \cdot (30^2 + 90^2 + 150^2) + 2 \cdot 6 \cdot (40^2) = 1,45 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

Die Kraft in x- Richtung ergibt mit der Exzentrizität des Schwerpunkts der Verbindung zur Achse des Gelenks ein Moment:

$$M_{SV} = F_{x,Ed} \cdot e = 0,99 \cdot 0,165 = 0,163 \text{ kNm}$$

Aus dem Moment und den Kräften in x- und y- Richtung errechnet sich die größte Kraft auf einen der vier äußeren Stabdübel.

$$F_{x,M} = \frac{M_{SV}}{I_p} \cdot y_{max} = \frac{0,163 \cdot 10^6}{1,45 \cdot 10^5} \cdot 40 = 42,3 \text{ N} = 0,423 \text{ kN}$$

$$F_{x,N} = \frac{F_{x,Ed}}{n} = \frac{0,99 \cdot 10^3}{12} = 82,5 \text{ N} = 0,825 \text{ kN}$$

$$F_{x,Ed} = F_{x,M} + F_{x,N} = 1,25 \text{ kN}$$

$$F_{y,M} = \frac{M_{SV}}{I_p} \cdot x_{max} = \frac{0,163 \cdot 10^6}{1,45 \cdot 10^5} \cdot 150 = 169 \text{ N} = 0,169 \text{ kN}$$

$$F_{y,N} = \frac{F_{y,Ed}}{n} = \frac{7,23 \cdot 10^3}{12} = 603 \text{ N} = 6,03 \text{ kN}$$

$$F_{y,Ed} = F_{y,M} + F_{y,N} = 6,20 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{F_{x,Ed}^2 + F_{y,Ed}^2} = 6,3 \text{ kN}$$

Der Winkel der Beanspruchungsrichtung zur Faserrichtung wird folgend berechnet:

$$\alpha = \arctan \frac{F_{y,Ed}}{F_{x,Ed}} = 78,6^\circ$$

Die Lochleibungsfestigkeit der Stabdübel wird nach Gleichungen (6.58) und (6.59) berechnet.

$$k_{90} = (1,35 + 0,015 \cdot 7) = 1,46$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{0,082 (1 - 0,01 \cdot 7) 385}{1,46 \cdot \sin^2 78,6 + \cos^2 78,6} = 20,4 \text{ N/mm}^2$$

Die Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel wird nach Gleichungen (6.54) und (6.55) berechnet und mit der Anzahl der Scherfugen multipliziert:

$$d = 7 \text{ mm}$$

$$t_1 = 30 \text{ mm}$$

$$M_{y,k} = 31930 \text{ Nmm}$$

#### Stahlblech innenliegend

$$F_{v,1,d} = 2 \cdot \frac{0,9}{1,30} \cdot \min \left\{ \begin{array}{ll} 4284 & (f) \\ 3128 & (g) \\ 4911 & (h) \end{array} \right\} = 2 \cdot \frac{0,9}{1,30} \cdot 3128 \text{ N} = 4332 \text{ N} = 4,33 \text{ kN}$$

#### Dickes Stahlblech außen liegend

$$t_2 = 54 \text{ mm}$$

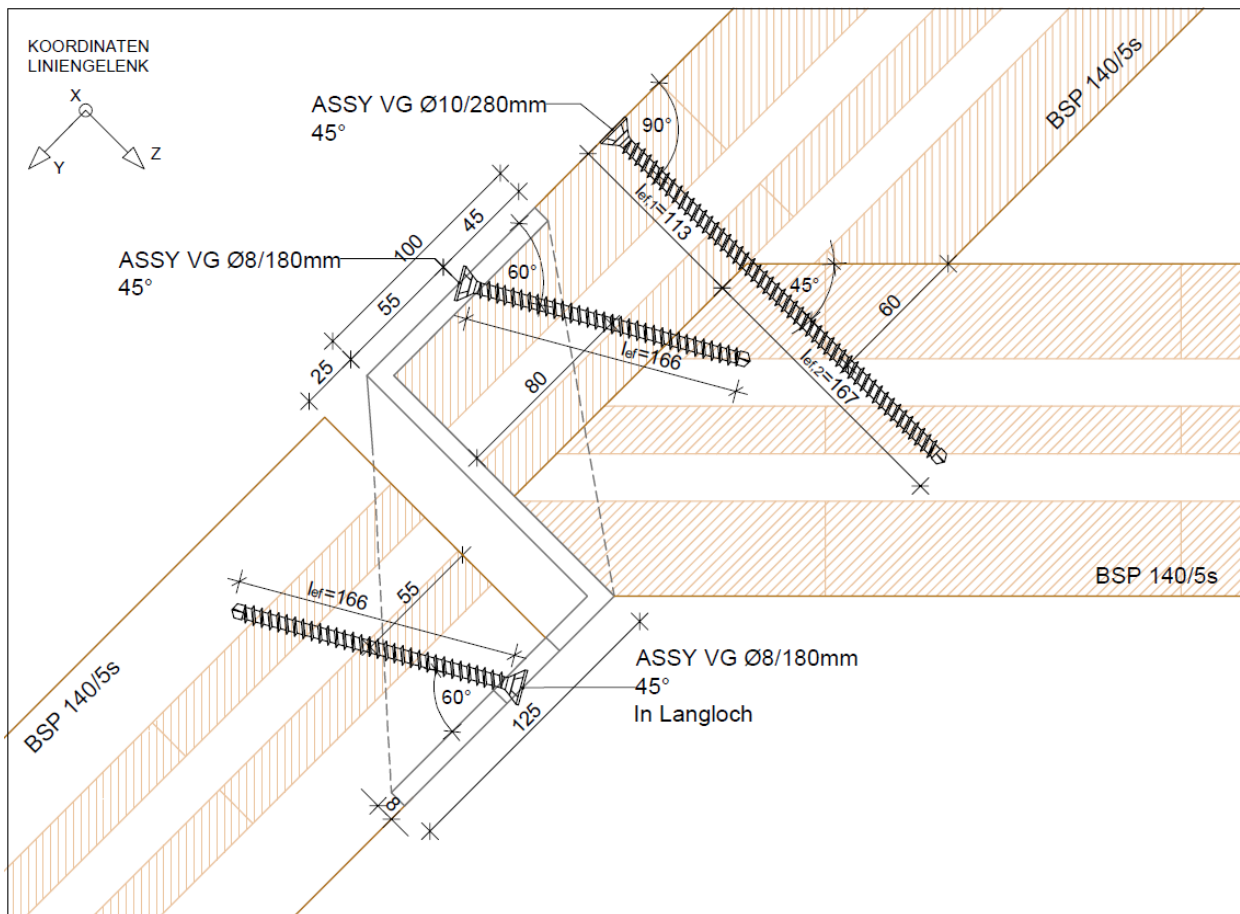
$$F_{v,2,d} = 2 \cdot \frac{0,9}{1,30} \cdot \min \left\{ \begin{array}{ll} 3856 & (l) \\ 4911 & (m) \end{array} \right\} = 2 \cdot \frac{0,9}{1,30} \cdot 3856 \text{ N} = 5338 \text{ N} = 5,34 \text{ kN}$$

$$F_{v,d} = F_{v,1,d} + F_{v,2,d} = 9,67 \text{ kN}$$

#### **Nachweis**

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{6,30}{9,67} = 0,65 < 1,0$$

## 6-11.1.2 Variante 2 - Stahlwinkel verschraubt


**Abbildung 6-79 Stahlwinkel verschraubt [Maße in mm]**

Die in der Abbildung ersichtlichen Bemaßung  $l_{ef,i}$  entspricht der tatsächlichen effektiven Einbindetiefe der im Winkel  $\alpha$  eingedrehten Schraube. Der Winkel  $\alpha$  stellt den Einschraubwinkel bezogen auf die Firstrichtung dar und wird unter der Schraubenbezeichnung angegeben.

**ASSY VG Ø 10/280mm**
**Axiale Beanspruchung**

Die Axiale Tragfähigkeit der Schraube wird mit den Formeln (6.49),(6.51) und (6.52) berechnet.

$$k_{ax} = 1$$

$$F_{ax,1,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 11 \cdot 10 \cdot 113 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 9287 \text{ N}$$

$$F_{ax,head,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 13 \cdot 18,5^2 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 3324 \text{ N}$$

$$F_{ax,2,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 11 \cdot 10 \cdot 167 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 13725 \text{ N}$$

$$F_{tens,d} = \frac{33000}{1,25} = 26400 \text{ N}$$



$$F_{ax,d} = \min \left\{ \begin{matrix} \max \{ 9287 \\ 3324 \} \\ 13725 \\ 26400 \end{matrix} \right\} = 9287 \text{ N}$$

x-Richtung:

$$F_{ax,x,d} = 9287 \cdot \cos(45) = 6567 \text{ N} = 6,57 \text{ kN}$$

Die Steifigkeit wird nach Gleichung (6.68) berechnet.

$$K_{ser} = \frac{25 \cdot 10 \cdot 113 \cdot 167}{280} = 16849 \text{ N/mm}$$

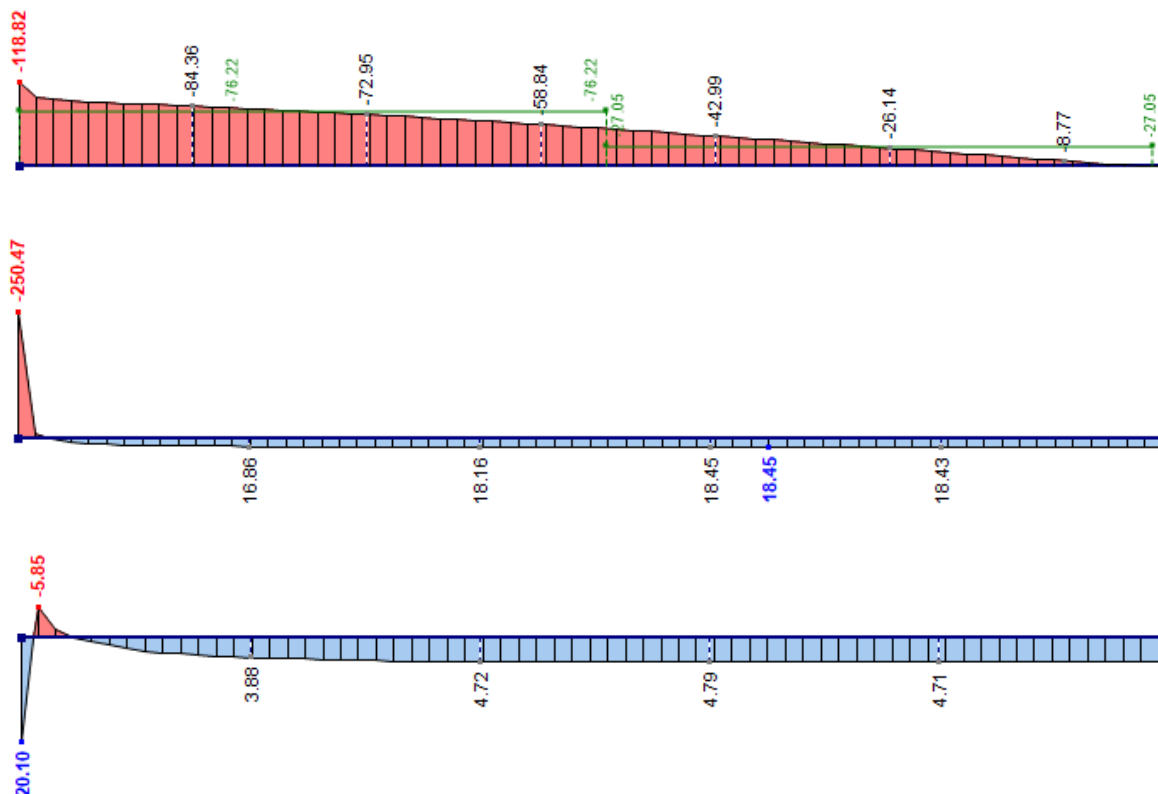
Die Schubspannungen  $n_x$  werden in den Randbereichen über die Länge von 5,00 m und im restlichen Bereich über eine Länge von 4,65 m ermittelt (siehe Abbildung 6-93 in grüner Farbe).

Im Randbereich ist eine Schubspannung von  $F_{x,Ed} = 76,2 \text{ kN/m}$  zu übertragen.

Im restlichen Bereich in der Mitte ist eine Schubspannung von  $F_{x,Ed} = 27,1 \text{ kN/m}$  zu übertragen.

In y- und z-Richtung werden die Spannungsspitzen an den Rändern vernachlässigt.

Mit den maßgebenden Werten  $F_{y,Ed} = 18,5 \text{ kN/m}$  und  $F_{z,Ed} = 4,79 \text{ kN/m}$  wird die Beanspruchung in horizontaler Richtung ermittelt:  $18,5 \cdot \cos 45 - 4,79 \cdot \cos 45 = 9,69 \text{ kN/m}$ .



**Abbildung 6-80 Verläufe der halben Fuge: oben  $n_x$  [kN/m], mitte  $v_y$  [kN/m], unten  $v_z$  [kN/m]**

### Nachweis Bereich 1 - Randbereich

Der Nachweis der axialen Beanspruchung in zwei Richtungen wird mit der Verbindungsmittelanzahl  $n = 14/1,0 m$  geführt.

$$\sqrt{\left(\frac{76,2}{6,57 \cdot 14 \cdot 0,9}\right)^2 + \left(\frac{9,69}{6,57 \cdot 14 \cdot 0,9}\right)^2} = 0,93 < 1,0$$

### Nachweis Bereich 2 - Mitte

Für den restlichen Bereich in der Mitte wird der Nachweis der axialen Beanspruchung mit einer Verbindungsmittelanzahl  $n = 6/1,0 m$  durchgeführt.

$$\sqrt{\left(\frac{27,1}{6,57 \cdot 6 \cdot 0,9}\right)^2 + \left(\frac{9,69}{6,57 \cdot 6 \cdot 0,9}\right)^2} = 0,81 < 1,0$$

Mit der gewählten Verbindungsmittelanzahl der verschiedenen Bereiche wird eine resultierende Steifigkeit über die gesamte Länge der Falwerkseite ermittelt:

$$K_{ser,x,res} = 16849 \cdot \frac{(14 \cdot 10,0 + 6 \cdot 9,30)}{19,3} = 170934 \text{ kN/m}^2$$

### Querdrucknachweis

Der Querdrucknachweis wird nach (6.69) geführt.

Die maximale Druckbeanspruchung wird aus der y- und z-Richtung ermittelt:

$$F_{c,90,Rd} = 18,5 \cdot \cos 45 + 4,79 \cdot \cos 45 = 9,69 \text{ kN/m}$$

$$A_{ef} = (60/\cos 45) \cdot 1000 = 84853 \text{ mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

$$f_{c,90,d} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{9690}{84853} \leq 1,0 \cdot 1,80$$

$$0,11 < 1,80$$

## **ASSY VG Ø 8/180mm**

### **Axiale Beanspruchung**

Die axiale Tragfähigkeit der Schraube wird mit den Formeln (6.49),(6.51) und (6.52) berechnet.

$$k_{ax} = 1$$

$$F_{ax,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 11 \cdot 8 \cdot 166 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 10915 \text{ N}$$

$$F_{tens,d} = \frac{22000}{1,25} = 17600 \text{ N}$$

$$F_{ax,d} = \min \left\{ \begin{matrix} 10915 \\ 17600 \end{matrix} \right\} = 10915 \text{ N}$$

x-Richtung:

$$F_{ax,x,d} = 10915 \cdot \cos(45) = 7718 \text{ N} = 7,72 \text{ kN}$$

Die Steifigkeit der zwei Schrauben gemeinsam wird nach Gleichung (6.68) berechnet.

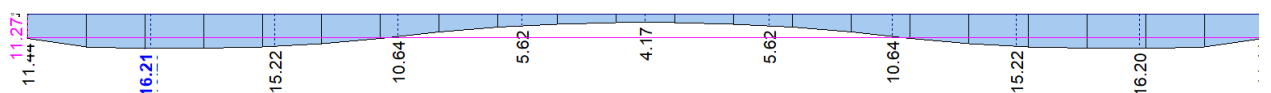
$$K_{ser} = \frac{25 \cdot 8 \cdot 166 \cdot 166}{332} = 16600 \text{ kN/m}$$

### **Regel-Dachelement**

Da die Regel-Dachelemente an das faltwerk angelehnt werden, wird die Mindestverschraubung von  $n = 2/1,0 \text{ m}$  gemäß ÖNORM B 1995-1-1 eingedreht.

Steifigkeit für das Berechnungsmodell:  $K_{ser,x,res} 16600 \cdot 2/1,0 = 33200 \text{ kN/m}^2$

Auf der sicheren Seite liegend wird ein Querdrucknachweis mit der maximalen Belastung in z-Richtung  $F_{z,Ed} = 16,2 \text{ kN}$  geführt.



**Abbildung 6-81 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft  $v_z$  [kN/m]**

Der Nachweis wird nach Gleichung (6.69) geführt.

$$A_{ef} = (125 - 25 - 8) \cdot 1000 = 92000 \text{ mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

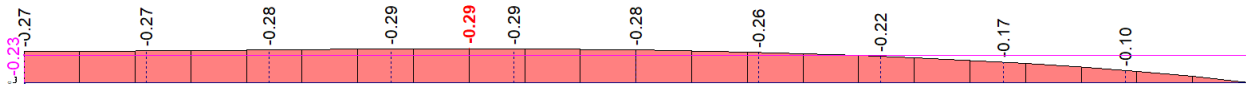
$$f_{c,90,d} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{16200}{92000} \leq 1,0 \cdot 1,80$$

$$0,18 < 1,80$$

### Randelement (Windverband)

Die Rand-Dachelemente dienen als Windverband und werden vollflächig ausgeführt.



**Abbildung 6-82 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft  $n_x$  [kN/m]**

Der Nachweis der axialen Beanspruchung wird auf der sicheren Seite liegend mit dem Maximalwert geführt:

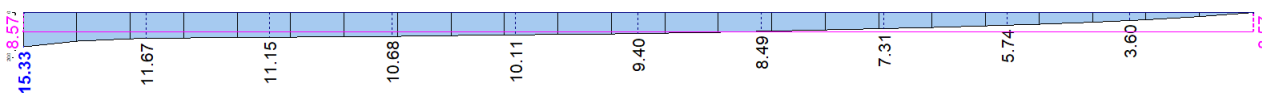
$$\frac{0,29}{7,72 \cdot 2^{0,9}} = 0,02 < 1,0$$

Es wird eine Mindestverschraubung von  $n = 2/1,0 \text{ m}$  gemäß ÖNORM B 1995-1-1 eingedreht.

Steifigkeit für das Berechnungsmodell:  $K_{ser,x,res} 16600 \cdot 2/1,0 = 33200 \text{ kN/m}^2$

### **Querdrucknachweis**

Auf der sicheren Seite liegend wird mit der maximalen Belastung in z-Richtung  $F_{z,Ed} = 15,3 \text{ kN}$  ein Querdrucknachweis geführt.



**Abbildung 6-83 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft  $v_z$  [kN/m]**

Der Querdrucknachweis wird nach Gleichung (6.69) geführt.

$$A_{ef} = (125 - 25 - 8) \cdot 1000 = 92000 \text{ mm}^2$$

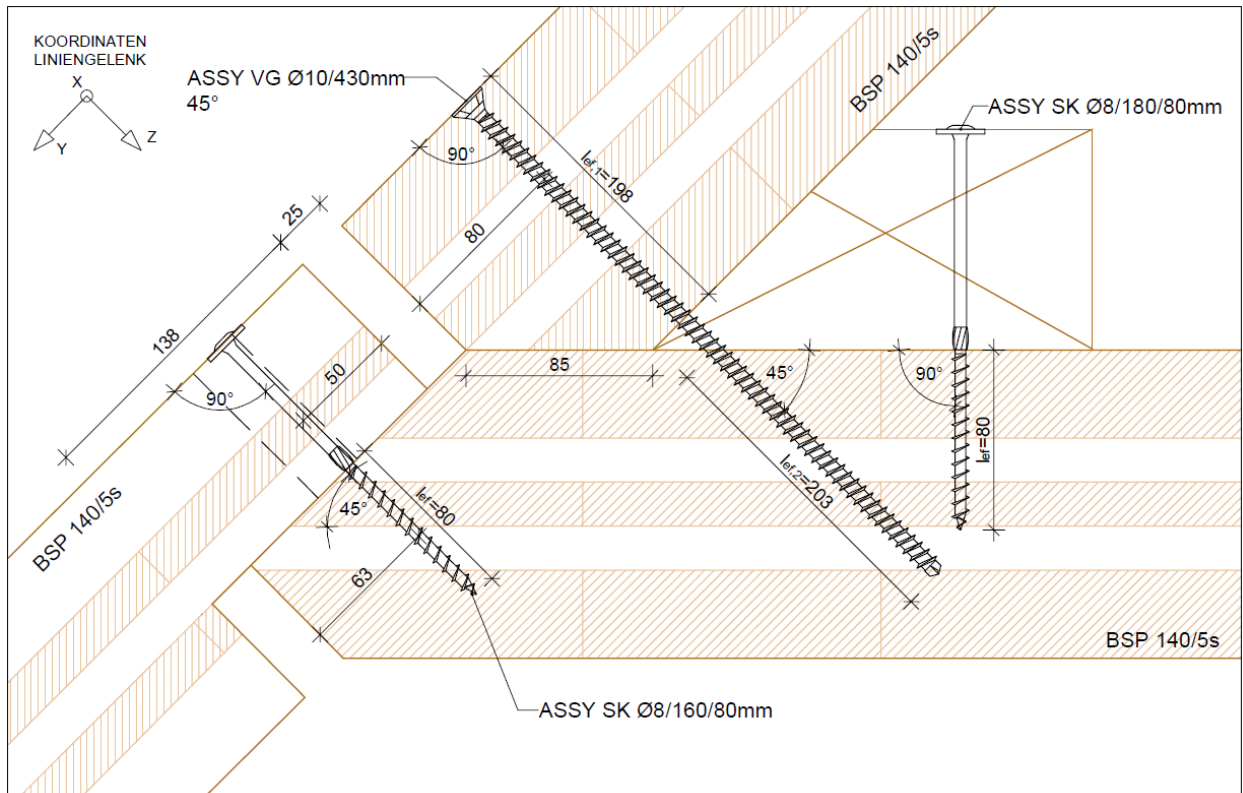
$$k_{c,90} = 1,0$$

$$f_{c,90,d} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{15300}{92000} \leq 1,0 \cdot 1,80$$

$$0,18 < 1,80$$

6-11.1.3 Variante 3 - Keil und Stufenfalz verschraubt



**Abbildung 6-84 Keil und Stufenfalz verschraubt [Maße in mm]**

Die in der Abbildung ersichtliche Bemaßung  $l_{ef,i}$  entspricht der tatsächlichen effektiven Einbindetiefe der im Winkel  $\alpha$  eingedrehten Schraube. Der Winkel  $\alpha$  stellt den Einschraubwinkel bezogen auf die Firstrichtung dar und wird unter der Schraubenbezeichnung angegeben.

**ASSY VG Ø 10/430mm**

**Axiale Beanspruchung**

Die axiale Tragfähigkeit der Schraube wird mit den Formeln (6.49),(6.51) und (6.52) berechnet.

$$k_{ax} = 1$$

$$F_{ax,1,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 11 \cdot 10 \cdot 198 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 16273 \text{ N}$$

$$F_{ax,head,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 13 \cdot 18,5^2 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 3324 \text{ N}$$

$$F_{ax,2,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 11 \cdot 10 \cdot 203 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 16684 \text{ N}$$

$$F_{tens,d} = \frac{33000}{1,25} = 26400 \text{ N}$$

$$F_{ax,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} \max \{ 16273 \\ 3324 \} \\ 16684 \\ 26400 \end{array} \right\} = 16273 \text{ N}$$

x- und horizontale Richtung:

$$F_{ax,d} = 16273 \cdot \cos(45) = 11507 \text{ N} = 11,5 \text{ kN}$$

Die Steifigkeit wird nach Gleichung (6.68) berechnet.

$$K_{ser} = \frac{25 \cdot 10 \cdot 198 \cdot 203}{401} = 25059 \text{ kN/m}$$

Die Schubspannungen  $n_x$  werden in den Randbereichen über die Länge von 5,00 m und im restlichen Bereich über eine Länge von 4,65 m ermittelt (siehe Abbildung 6-93 in grüner Farbe).

Im Randbereich ist eine Schubspannung von  $F_{x,Ed} = 76,8 \text{ kN/m}$  zu übertragen.

Im restlichen Bereich in der Mitte ist eine Schubspannung von  $F_{x,Ed} = 27,2 \text{ kN/m}$  zu übertragen.

In y- und z-Richtung werden die Spannungsspitzen an den Rändern vernachlässigt.

Mit den maßgebenden Werten  $F_{y,Ed} = 18,5 \text{ kN/m}$  und  $F_{z,Ed} = 4,79 \text{ kN/m}$  wird die Beanspruchung in horizontaler Richtung ermittelt:  $18,5 \cdot \cos 45 - 4,79 \cdot \cos 45 = 9,69 \text{ kN/m}$ .

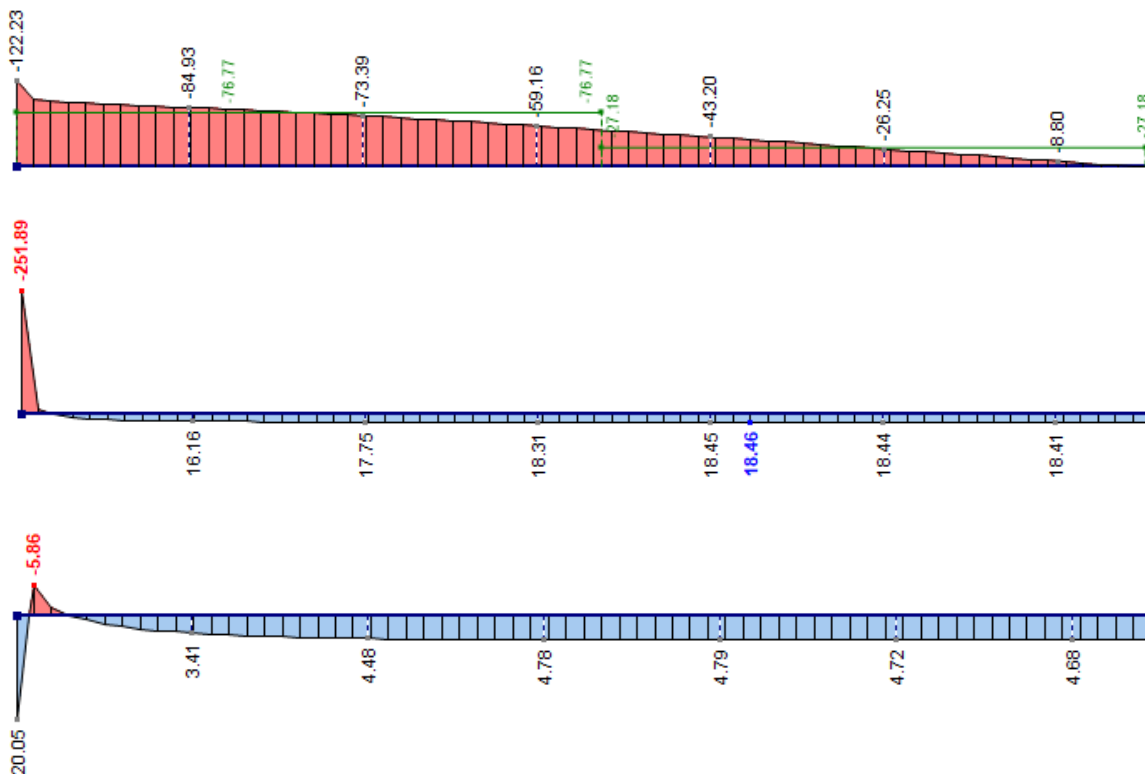


Abbildung 6-85 Verläufe der halbe Fuge: oben  $n_x$  [kN/m], mitte  $v_y$  [kN/m], unten  $v_z$  [kN/m]

### Nachweis Bereich 1 – Randbereich

Der Nachweis der axialen Beanspruchung in zwei Richtungen wird mit der Verbindungsmittelanzahl  $n = 10/1,0 \text{ m}$  geführt.

$$\sqrt{\left(\frac{76,8}{11,5 \cdot 10 \cdot 0,9}\right)^2 + \left(\frac{9,69}{11,5 \cdot 10 \cdot 0,9}\right)^2} = 0,75 < 1,0$$

### Nachweis Bereich 2 – Mitte

Für den restlichen Bereich in der Mitte wird der Nachweis der axialen Beanspruchung in zwei Richtungen mit der Verbindungsmittelanzahl  $n = 4/1,0 \text{ m}$  durchgeführt.

$$\sqrt{\left(\frac{27,2}{11,5 \cdot 4 \cdot 0,9}\right)^2 + \left(\frac{9,69}{11,5 \cdot 4 \cdot 0,9}\right)^2} = 0,70 < 1,0$$

Mit der gewählten Verbindungsmittelanzahl der verschiedenen Bereiche wird eine resultierende Steifigkeit über die gesamte Länge der Faltskante ermittelt:

$$K_{ser,x,res} = 25059 \cdot \frac{(10 \cdot 10,0 + 4 \cdot 9,30)}{19,3} = 178140 \text{ kN/m}^2$$

### Querdrucknachweis

Der Querdrucknachweis wird nach (6.69) geführt.

Die maximale Druckbeanspruchung wird aus der y- und z-Richtung ermittelt:

$$F_{c,90,Rd} = 18,5 \cdot \cos 45 + 4,79 \cdot \cos 45 = 16,5 \text{ kN/m}$$

$$A_{ef} = 85 \cdot 1000 = 85000 \text{ mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

$$f_{c,90,d} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{16500}{85000} \leq 1,0 \cdot 1,80$$

$$0,19 < 1,80$$

## ASSY SK Ø 8/160/80mm

### Laterale Beanspruchung

x-Richtung:

Die Lochleibungsfestigkeit der Seitenfläche wird nach Gleichung (6.58) berechnet.

$$f_{h,1,k} = \frac{32 (1 - 0,015 \cdot 8)}{1,1 \sin^2 90 + \cos^2 90} = 25,6 \text{ N/mm}^2$$

Für die Lochleibungsfestigkeit der Schmalfläche wird die konservative Formel (6.57) herangezogen.

$$f_{h,2,k} = 20 \cdot 8^{-0,5} = 7,07 \text{ N/mm}^2$$

Die Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel wird nach Gleichung (6.53) berechnet:

$$t_1 = t_2 = 80 \text{ mm}$$

$$M_{y,k} = 23000 \text{ Nmm}$$

$$\beta = \frac{7,07}{25,6} = 0,28$$

$$F_{ax,k} = 5223 \text{ N}$$

$$F_{v,x,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot \min \left\{ \begin{array}{ll} 16384 & (a) \\ 4525 & (b) \\ 5369 & (c) \\ 5760 & (d) \\ 3499 & (e) \\ 3628 & (f) \end{array} \right\} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 3499 \text{ N} = 2422 \text{ N} = 2,42 \text{ kN}$$

Die Steifigkeit wird nach Gleichung (6.65) berechnet:

$$K_{ser,y} = (385)^{1,5} \cdot 8/23 = 2627 \text{ kN/m}$$



### Regelement

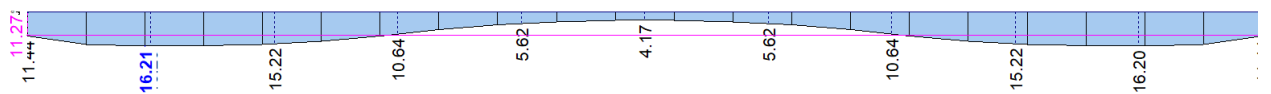
Da die Regel-Dachelemente an das Falwerk angelehnt werden, wird die Mindestverschraubung von  $n = 2/1,0 \text{ m}$  gemäß ÖNORM B 1995-1-1 eingedreht.

Mit der gewählten Verbindungsmittelanzahl ergibt sich die resultierende Steifigkeit:

$$K_{ser,x,res} = 2627 \cdot 2/1,0 = 5254 \text{ kN/m}^2$$

### Querdrucknachweis

Auf der sicheren Seite liegend wird ein Querschnittsnachweis mit der maximalen Belastung in z-Richtung  $F_{z,Ed} = 16,2 \text{ kN}$  geführt.



**Abbildung 6-86 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft  $v_z$  [kN/m]**

Der Querdrucknachweis wird nach Gleichung (6.69) geführt.

$$A_{ef} = (138 - 25) \cdot 1000 = 113000 \text{ mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

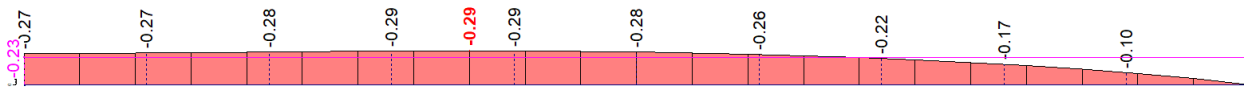
$$f_{c,90,d} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{16200}{113000} \leq 1,0 \cdot 1,80$$

$$0,14 < 1,80$$

### Randelement (Windverband)

Die Rand-Dachelemente dienen als Windverband und werden vollflächig ausgeführt.



**Abbildung 6-87 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft  $n_x$  [kN/m]**

Der Nachweis der lateralen Beanspruchung wird auf der sicheren Seite liegend mit dem Maximalwert geführt:

$$\frac{0,29}{2,42 \cdot 2^{0,9}} = 0,06 < 1,0$$

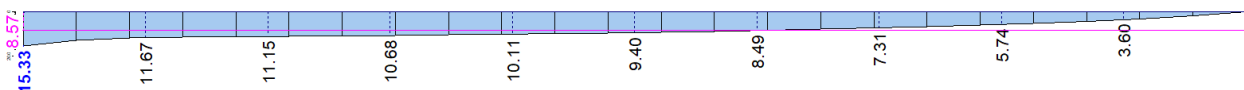
Es wird eine Mindestverschraubung von  $n = 2/1,0 \text{ m}$  gemäß ÖNORM B 1995-1-1 eingedreht.

Mit der gewählten Verbindungsmittellanzahl ergibt sich die resultierende Steifigkeit:

$$K_{ser,x,res} = 2627 \cdot 2/1,0 = 5254 \text{ kN/m}^2$$

### **Querdrucknachweis**

Auf der sicheren Seite liegend wird mit der maximalen Belastung in z-Richtung  $F_{z,Ed} = 15,3 \text{ kN}$  ein Querdrucknachweis geführt.



**Abbildung 6-88 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft  $v_z$  [kN/m]**

Der Querdrucknachweis wird nach Gleichung (6.69) geführt.

$$A_{ef} = (138 - 25) \cdot 1000 = 113000 \text{ mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

$$f_{c,90,d} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{15300}{113000} \leq 1,0 \cdot 1,80$$

$$0,14 < 1,80$$

### 6-11.2 VARIANTENVERGLEICH

Die ausgearbeiteten Varianten werden in der Folge verglichen und die jeweiligen Vor- und Nachteile nachstehend aufgelistet.

#### Variante 1 - Gelenkverbindung mit Stabdübel

Diese Variante ist unabhängig von der Dachneigung ausführbar. Sie kann mit einem hohen Vorfertigungsgrad ausgeführt werden und auf der Baustelle schnell montiert werden. Es sind jedoch Sonderanfertigungen der Stahlblechkomponenten notwendig. Eine Ausführung der Verbindung, welche eine freie Verformung des Faltwirks zulässt, ist schwer realisierbar. Demnach stützt sich das Faltwerk auf die Dachflächen ab und sorgt für eine Umlagerung der Kräfte. Dazu kommt, dass die Innenansicht und die bauphysikalische Ausführung des Details weitere Herausforderungen mit sich bringen.

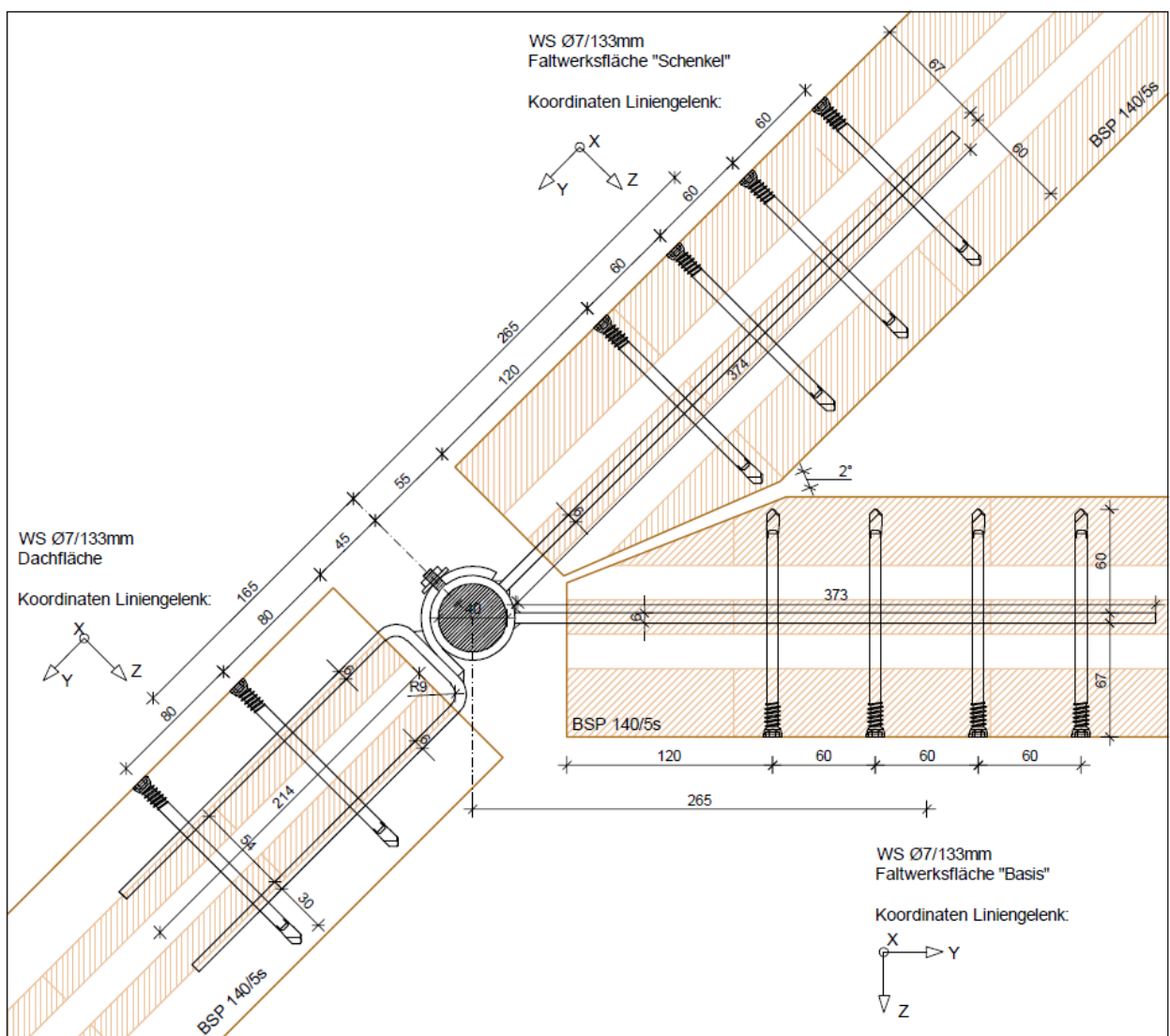


Abbildung 6-89 Gelenkverbindung mit Stabdübel [Maße in mm]

Zusammenfassend werden die Vor- und Nachteile des Details aufgezählt:

Vorteile:

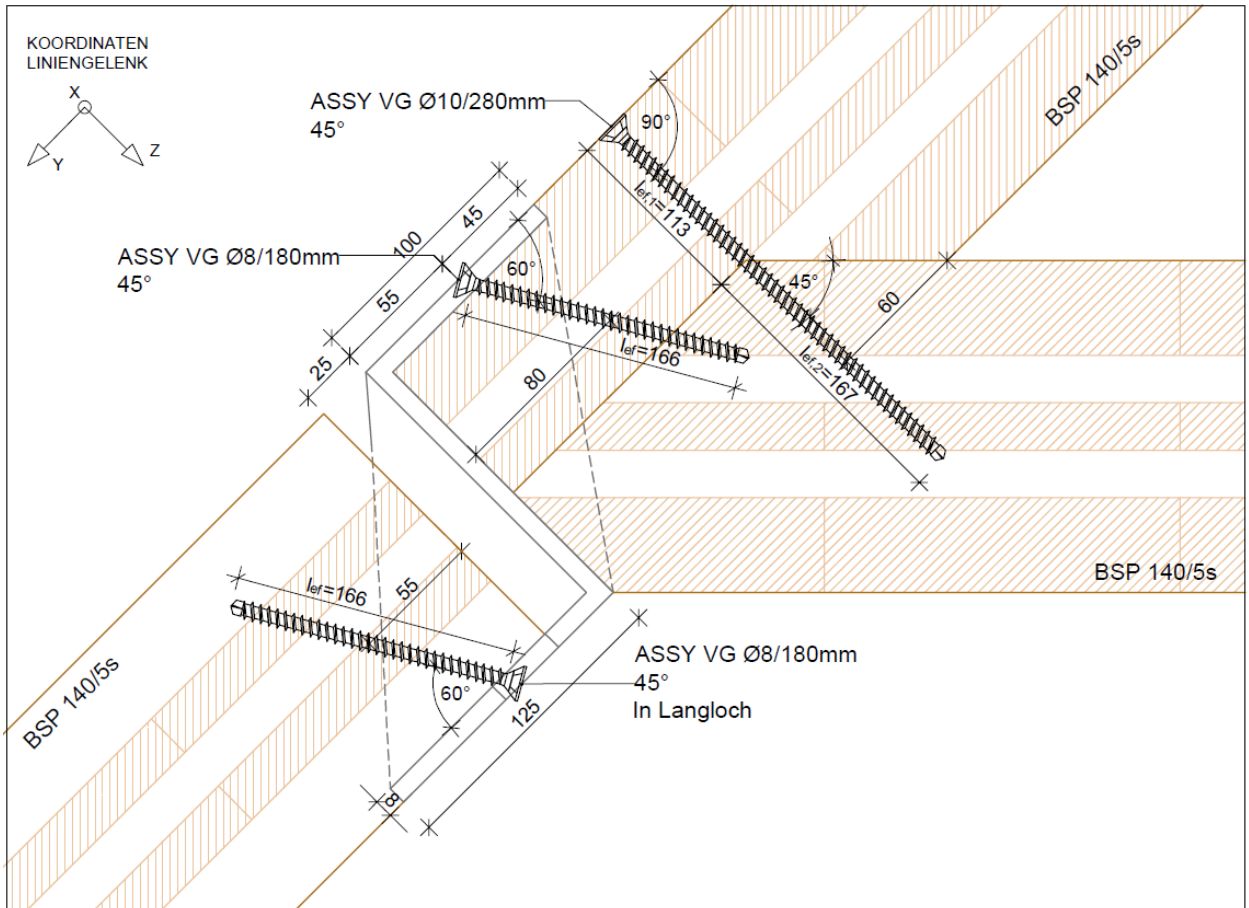
- Unabhängig von Dachneigungen
- Hoher Vorfertigungsgrad
- Schnelle Montage auf der Baustelle

Nachteile:

- Sonderanfertigungen der Stahlblechkomponenten und somit teuer
- Bauphysikalische Herausforderung
- Innenansicht beeinflusst
- Ungehinderte Verformung des Falterks nicht möglich

**Variante 2 - Stahlwinkel verschraubt**

Die Ausführung der Variante 2 ist einfacher realisierbar. Der Stahlwinkel muss angefertigt werden, die Verschraubung ist jedoch kostengünstig. Durch die Verlängerung des Stahlblech-Auflagers für das Dachelement lässt die Verbindung eine Verformung des Falterwerks zu. Bei den gegebenen Geometrien der BSP-Flächen begibt man sich an die Grenze der Mindestabstände zwischen den Schrauben, welche die Schubkraft in der Falterwerksfuge übertragen.



**Abbildung 6-90 Stahlwinkel verschraubt [Maße in mm]**

Zusammenfassend werden Vor- und Nachteile des Details aufgezählt:

Vorteile:

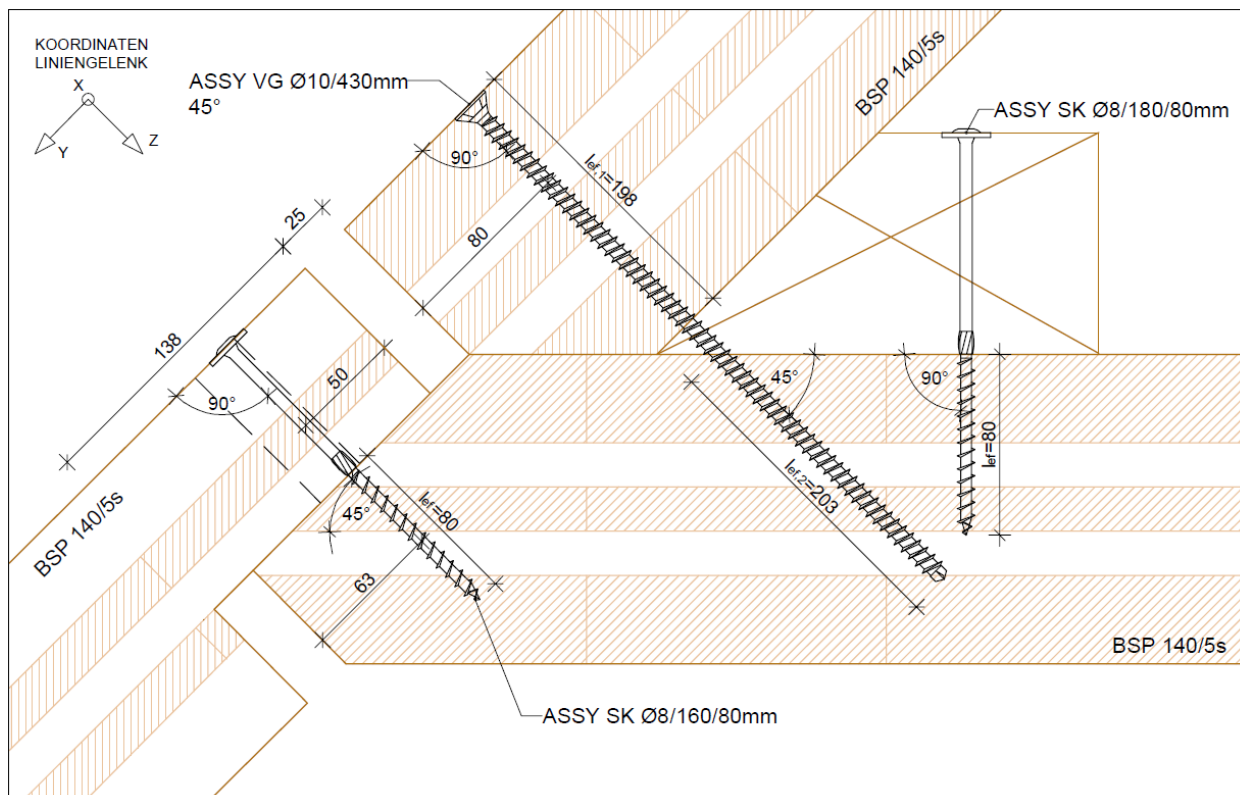
- Einfache Umsetzung
- Kostengünstige Verschraubung
- Ungehinderte Verformung des Falterwerks

Nachteile:

- Sonderanfertigung Stahlwinkel
- Innenansicht beeinflusst

### Variante 3 - Keil und Stufenfalz verschraubt

Die Variante 3 ist durch ihre simple Ausführung auch die kostengünstigste. Durch eine längere Ausführung des Stufenfalzes am Dachelement kann eine Verformung des Faltwerks ungehindert stattfinden. Im Vergleich zur Variante 2 kann durch die größere effektive Schraubenlänge mehr Schubkraft pro Schraube übertragen werden. Somit ist eine geringere Verbindungsmittelanzahl erforderlich.



**Abbildung 6-91 Keil und Stufenfalz verschraubt [Maße in mm]**

Zusammenfassend werden die Vorteile des Details aufgezählt:

Vorteile:

- Einfache und kostengünstige Umsetzung
- Innenansicht wenig beeinflusst
- Ungehinderte Verformung des Faltwerks möglich

### 6-11.3 VARIANTENENTSCHEID

Aufgrund der Einfachheit der dritten Variante wird diese zur Ausführung empfohlen. Im Unterschied zu den beiden anderen Varianten werden keine Sonderanfertigungen benötigt. Die Verbindung ist simpel und die Kräfte werden auf direktem Weg übertragen. Aus bauphysikalischer Sicht ist eine luftdichte Ausführung der Variante 3 durch Fugendichtbänder oder das Abkleben der Fuge einfach herstellbar.

### 6-11.4 NACHWEISE DER RESTLICHEN VERBINDUNGEN

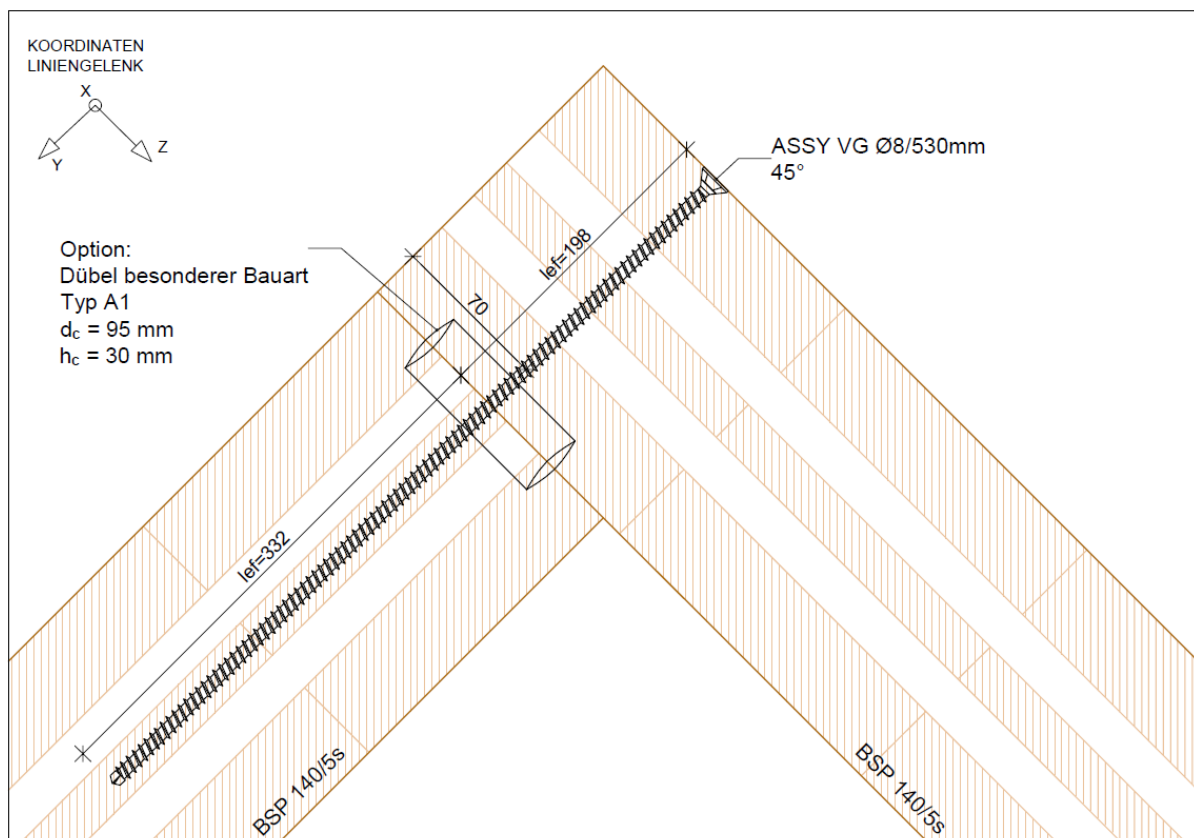
Die Steifigkeiten der nachstehenden Verbindungen wurden für die gesamte Bemessung schon miteinbezogen und werden aus Übersichtsgründen erst am Schluss dieser Arbeit eingefügt.

Die Kräfte der nachstehenden Verbindungen ändern sich durch die verschiedenen Steifigkeiten der Verbindungen der Variantenstudie nicht maßgebend. Das bedeutet, dass die Anzahl der Verbindungsmittel und somit die Steifigkeit der nachstehenden Verbindungen gleich bleibt, unabhängig davon welche der drei untersuchten Varianten gewählt wurde.

Die in den folgenden Abbildungen ersichtlichen Bemaßung  $l_{ef,i}$  entspricht der tatsächlichen effektiven Einbindetiefe der im Winkel  $\alpha$  eingedrehten Schraube. Der Winkel  $\alpha$  stellt den Einschraubwinkel bezogen auf die Firstrichtung dar und wird unter der Schraubenbezeichnung angegeben.

#### 6-11.4.1 Falterwerksflächen am First

Die folgend abgebildete Firstverbindung stellt eine Lösung für die Varianten 2 und 3 der Variantenstudie dar. Würde man sich für die Variante 1 entscheiden, sollte die Firstverbindung ebenfalls als „Klavierband“ ausgeführt werden.



**Abbildung 6-92 Verbindung Falterwerksflächen am First [Maße in mm]**

Die Vollgewindeschraube ASSY VG Ø 8/530mm wird im Winkel von 45° zur x-Achse eingeschraubt. Bei gegebenen Schnittkräften kann die gewählte Vollgewindeschraube die laterale Beanspruchung aufnehmen. Sollte dies nicht der Fall sein, stellt der Dübel besonderer Bauart eine Option dar.

## **ASSY VG Ø 8/530mm**

### **Axiale Beanspruchung**

Die Axiale Tragfähigkeit der Schraube wird mit den Formeln (6.49),(6.50),(6.51) und (6.52) berechnet.

$$k_{ax} = 1$$

$$F_{ax,1,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 11 \cdot 8 \cdot 198 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 13019 \text{ N}$$

$$F_{ax,head,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 13 \cdot 15^2 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 2185 \text{ N}$$

$$F_{ax,2,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 20 \cdot 8^{0,8} \cdot 332^{0,9} = 13578 \text{ N}$$

$$F_{tens,d} \frac{22000}{1,25} = 17600 \text{ N}$$

$$F_{ax,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} \max \{ 13019 \\ 2185 \} \\ 13578 \\ 17600 \end{array} \right\} = 13019 \text{ N}$$

x- Richtung:

$$F_{ax,x,d} = 13019 \cdot \cos(45) = 9206 \text{ N} = 9,21 \text{ kN}$$

Die Steifigkeit wird nach (6.68) berechnet.

$$K_{ser} = \frac{25 \cdot 8 \cdot 198 \cdot 332}{530} = 24806 \text{ kN/m}$$



## Laterale Beanspruchung

z-Richtung:

Die Lochleibungsfestigkeit der Seitenfläche wird nach (6.56) berechnet.

$$f_{h,1,k} = \frac{0,082 \cdot 385 \cdot 8^{-0,3}}{2,5 \cos^2 45 + \sin^2 45} = 9,67 \text{ N/mm}^2$$

Für die Lochleibungsfestigkeit der Schmalfläche wird die konservative Formel (6.57) herangezogen.

$$f_{h,2,k} = 20 \cdot 8^{-0,5} = 7,07 \text{ N/mm}^2$$

Die Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel wird nach (6.53) berechnet:

$$t_1 = 140 \text{ mm}$$

$$t_2 = 235 \text{ mm}$$

$$M_{y,k} = 23000 \text{ Nmm}$$

$$\beta = \frac{7,07}{9,67} = 0,73$$

$$F_{ax,k} = 18805 \text{ N}$$

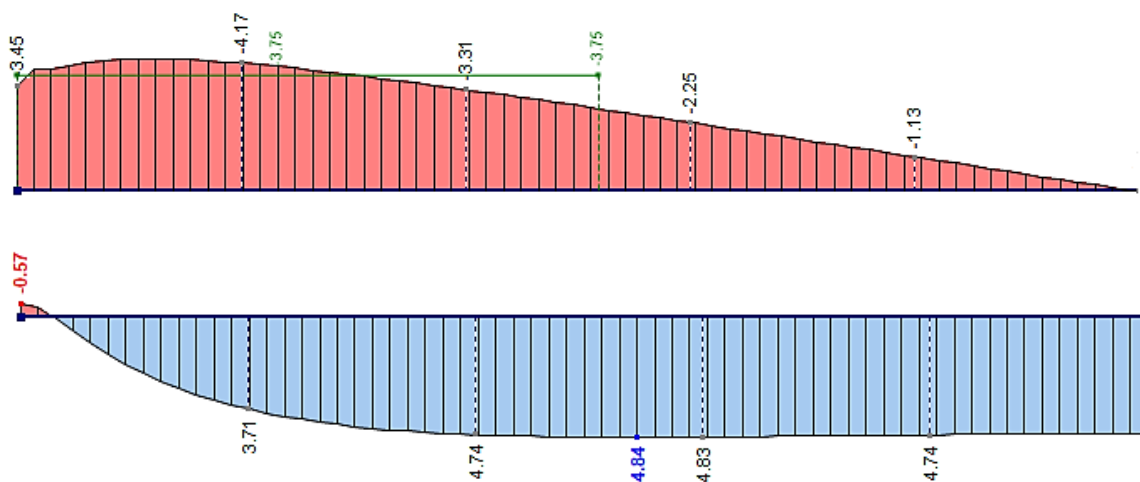
$$F_{v,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} 10830 \\ 13292 \\ 9819 \\ 8438 \\ 9690 \\ 6695 \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} (a) \\ (b) \\ (c) \\ (d) \\ (e) \\ (f) \end{array} \right\} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 6695 \text{ N} = 4635 \text{ N} = 4,64 \text{ kN}$$

Die Steifigkeit wird nach (6.65) berechnet:

$$K_{ser,z} = (385)^{1,5} \cdot 8/23 = 2627 \text{ kN/m}$$

Die Schubspannungen  $n_x$  werden in den Randbereichen über die Länge von 5,00 m geglättet (siehe Abbildung 6-93 in grüner Farbe). In z-Richtung wurde auf der sicheren Seite liegend der Maximalwert für die Bemessung herangezogen. Daraus ergeben sich folgende Beanspruchungen:

- Axial  $F_{ax,Ed} = 3,71 \text{ kN/m}$
- Lateral  $F_{v,Ed} = 4,84 \text{ kN/m}$



**Abbildung 6-93 Verlauf über die halbe Faltskante: oben  $n_x$  [kN/m], unten  $v_z$  [kN/m]**

Der Nachweis einer kombinierten Beanspruchung wird mit der Mindestverschraubung von  $n = 2/1,0 \text{ m}$  gemäß ÖNORM B 1995-1-1 geführt:

$$\left( \frac{3,75}{9,21 \cdot 2^{0,9}} \right)^2 + \left( \frac{4,84}{4,64 \cdot 2^{0,9}} \right)^2 = 0,57 < 1,0$$

Über die gesamte Faltskante ist die Mindestverschraubung  $n = 2/1,0 \text{ m}$  ausreichend.

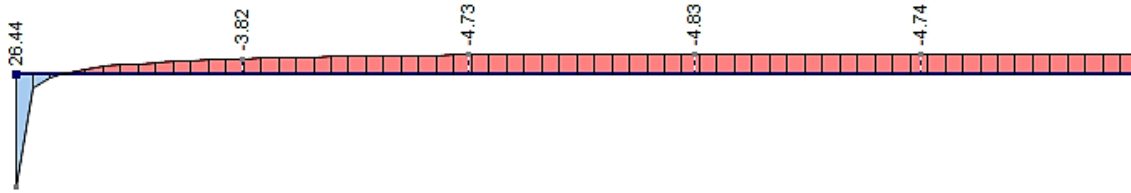
Die Steifigkeiten ergeben sich zu:

$$K_{ser,x,res} = 24806 \cdot 2/1,0 = 49612 \text{ kN/m}^2$$

$$K_{ser,z,res} = 2627 \cdot 2/1,0 = 5254 \text{ kN/m}^2$$

### Querdrucknachweis

Mit der maximalen Druckbeanspruchung in y-Richtung  $F_{c,90,Rd} = 4,83 \text{ kN/m}$  wird der Querdrucknachweis nach (6.69) geführt.



**Abbildung 6-94 Verlauf über die halbe Falzwerkskante  $v_y$  [kN/m]**

$$A_{ef} = 140 \cdot 1000 = 160000 \text{ mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

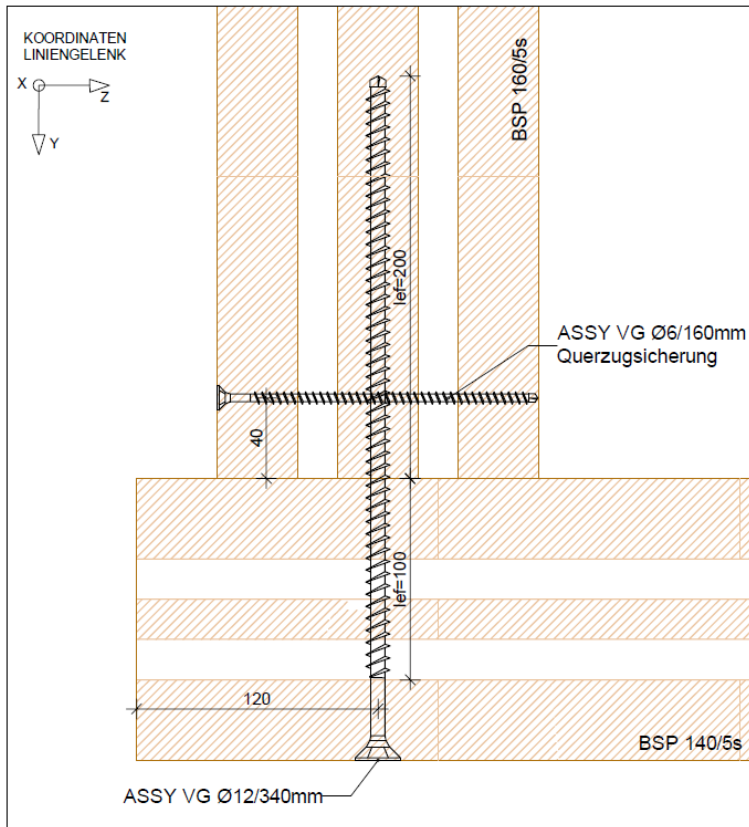
$$f_{c,90,d} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{4830}{160000} \leq 1,0 \cdot 1,80$$

$$0,03 < 1,80$$

## 6-11.4.2 Falterwerksfläche „Basis“ – Querschott

Die Schraube ASSY VG Ø 12/340 mm wurde aufgrund ihres hohen Fließmoments gewählt, da diese lateral beansprucht wird.



**Abbildung 6-95 Verbindung Falterwerksfläche „Basis“ mit Querschott [Maße in mm]**

### **ASSY VG Ø 12/340mm**

#### **Laterale Beanspruchung**

##### x- und z-Richtung:

Die Lochleibungsfestigkeit der Seitenfläche wird nach (6.56) berechnet.

$$f_{h,1,k} = \frac{0,082 \cdot 385 \cdot 12^{-0,3}}{2,5 \cos^2 90 + \sin^2 90} = 15,0 \text{ N/mm}^2$$

Für die Lochleibungsfestigkeit der Schmalfläche wird die konservative Formel (6.57) herangezogen.

$$f_{h,2,k} = 20 \cdot 12^{-0,5} = 5,77 \text{ N/mm}^2$$

Die Tragfähigkeit pro Scherfuge und Verbindungsmittel wird nach (6.53) berechnet:

$$t_1 = 140 \text{ mm}$$

$$t_2 = 200 \text{ mm}$$

$$M_{y,k} = 58000 \text{ Nmm}$$

$$\beta = \frac{5,77}{15,0} = 0,39$$

$$F_{ax,1,k} = 10 \cdot 12 \cdot 100 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 12951 N$$

$$F_{v,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} 25166 \\ 13848 \\ 10807 \\ 10735 \\ 9056 \\ 7154 \end{array} \right. \begin{array}{l} (a) \\ (b) \\ (c) \\ (d) \\ (e) \\ (f) \end{array} \left. \right\} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 7154 N = 4953 N = 4,95 kN$$

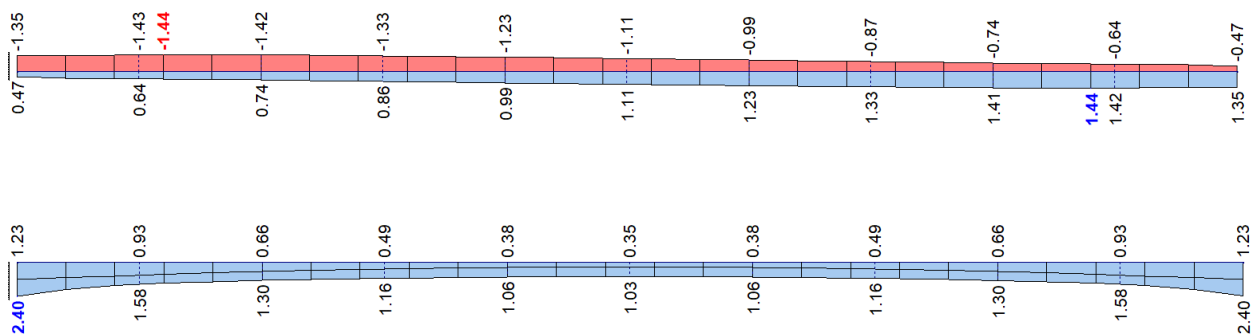
Die Steifigkeit wird nach (6.65) berechnet:

$$K_{ser} = (385)^{1,5} \cdot 12/23 = 3941 kN/m$$

Die resultierende Kraft auf Abscheren wird auf der sicheren Seite liegend aus den Maximalwerten

$F_{x,Ed} = 1,44 kN/m$  und  $F_{z,Ed} = 2,40 kN/m$  ermittelt.

$$F_{v,Ed} = \sqrt{1,44^2 + 2,40^2} = 2,80 kN/m$$



**Abbildung 6-96 Max/Min - Verlauf der Fugenkräfte: oben  $n_x$  [kN/m], unten  $v_z$  [kN/m]**

Der Nachweis wird mit der Mindestverschraubung von  $n = 2/1,0 m$  gemäß ÖNORM B 1995-1-1 geführt:

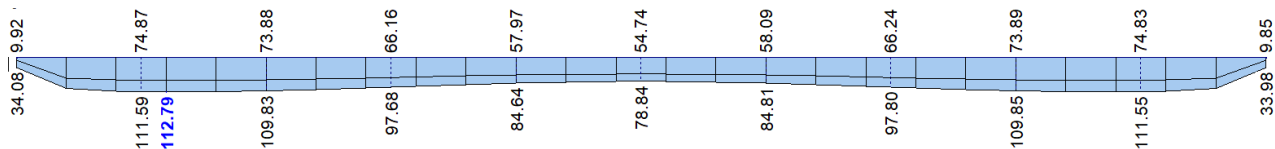
$$\frac{2,80}{4,95 \cdot 2^{0,9}} = 0,30 < 1,0$$

Mit der gewählten Verbindungsmittelanzahl ergeben sich die Steifigkeiten zu:

$$K_{ser,x,res} = K_{ser,z,res} = 3941 \cdot 2/1,0 = 7882 kN/m^2$$

### Querdrucknachweis

Es wird die maximale Druckbeanspruchung in y-Richtung  $F_{c,90,Rd} = 113 \text{ kN/m}$  für den Nachweis herangezogen.



**Abbildung 6-97 Max/Min - Verlauf der Fugenkraft  $v_y$  [kN/m]**

Der Querdrucknachweis wird nach (6.69) geführt.

$$A_{ef} = 160 \cdot 1000 = 160000 \text{ mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

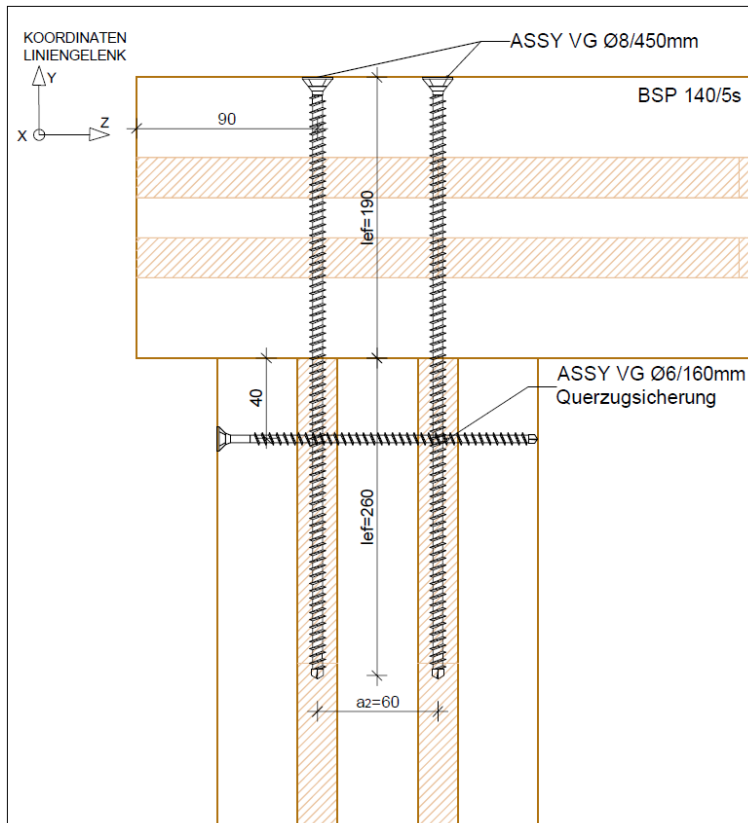
$$f_{c,90,d} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{113000}{160000} \leq 1,0 \cdot 1,80$$

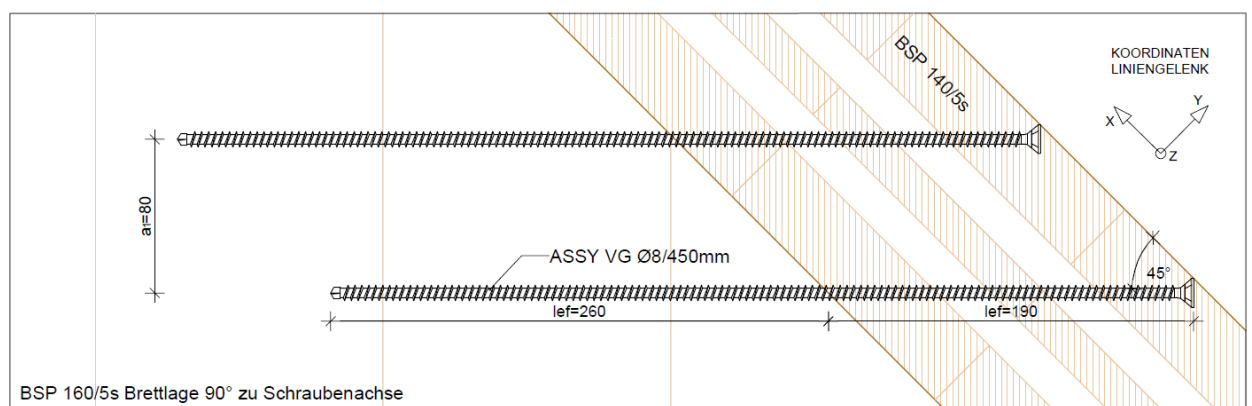
$$0,71 < 1,80$$

6-11.4.3 **Faltwerksfläche „Schenkel“ – Querschott**

Gemäß ÖNORM B 1995-1-1 [56] sollten Schrauben in Schmalflächen in das Seitenholz (Brettlagen mit einem Winkel zwischen Schraubenachse und Faserrichtung von 90°) eingebracht werden. Demnach werden ASSY VG Ø 8/450 mm zur Übertragung der hohen Schubkräfte in beide Querlagen eingedreht.



**Abbildung 6-98 Verbindung Faltwerksfläche „Schenkel“ mit Querschott [Maße in mm]**



**Abbildung 6-99 Verbindung Faltwerksfläche „Schenkel“ mit Querschott [Maße in mm]**

## ASSY VG Ø 8/450mm

### Axiale Beanspruchung

Die Axiale Tragfähigkeit der Schraube wird mit den Formeln (6.49),(6.50),(6.51) und (6.52) berechnet.

$$k_{ax} = 1$$

$$F_{ax,1,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 11 \cdot 8 \cdot 190 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 12493 \text{ N}$$

$$F_{ax,head,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 13 \cdot 15^2 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 2185 \text{ N}$$

$$F_{ax,2,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 20 \cdot 8^{0,8} \cdot 260^{0,9} = 10896 \text{ N}$$

$$F_{tens,d} \frac{22000}{1,25} = 17600 \text{ N}$$

$$F_{ax,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} \max \{ 12493 \\ 2185 \} \\ 10896 \\ 17600 \end{array} \right\} = 10896 \text{ N}$$

x- und y-Richtung:

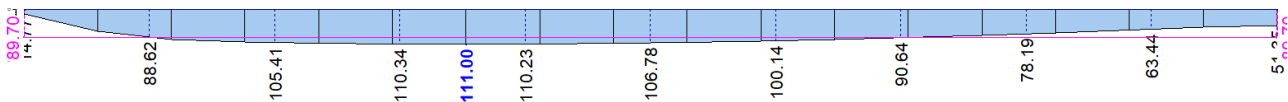
$$F_{ax,d} = 10896 \cdot \cos(45) = 7704 \text{ N} = 7,70 \text{ kN}$$

Die Steifigkeit wird nach (6.68) berechnet.

$$K_{ser} = \frac{25 \cdot 8 \cdot 190 \cdot 260}{450} = 21956 \text{ kN/m}$$

Aufgrund der dreieckigen Form des Querschotts können im oberen Randbereich über eine Länge von rund 350 mm keine Schrauben eingebracht werden. Aus diesem Grund wird die über die gesamte Länge geglättete Spannung auf die Länge von 2,25 m ( $2,60 - 0,35 = 2,25 \text{ m}$ ) aufgeteilt.

$$F_{x,Ed} = 89,7 \cdot (2,60/2,25) = 104 \text{ kN/m}$$



**Abbildung 6-100 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft  $n_x$  [kN/m]**

Der Nachweis wird mit einer Anzahl von  $n = 8/1,0 \text{ m}$  in zwei Reihen geführt:

$$\frac{104}{7,70 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 0,9} = 0,94 < 1,0$$

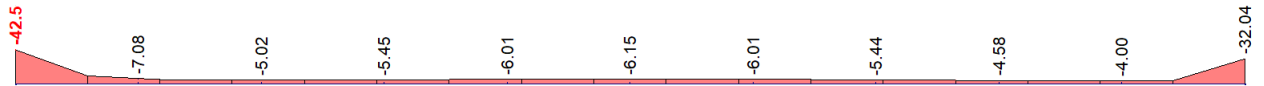
Mit der gewählten Verbindungsmittelanzahl ergeben sich die Steifigkeiten zu:

$$K_{ser,x,res} = 21956 \cdot 8/1,0 \cdot 2 = 351296 \text{ kN/m}^2$$



### Querdrucknachweis

Die Spannungsspitzen werden vernachlässigt. Der Querdrucknachweis wird nach (6.69) mit einer Druckbeanspruchung in y-Richtung von  $F_{c,90,Rd} = 6,15 \text{ kN/m}$  geführt.



**Abbildung 6-101 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft  $v_y$  [kN/m]**

$$A_{ef} = 160 \cdot 1000 = 160000 \text{ mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

$$f_{c,90,d} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{6150}{160000} \leq 1,0 \cdot 1,80$$

$$0,04 < 1,80$$

## 6-11.4.4 Dachelement – Rippendecke

Ein Vollholzbalken wird abgeschrägt und mit einer Teilgewindeschraube befestigt. Das Dachelement wird mit einer Vollgewindeschraube im Winkel von 45° zur x-Achse mit der Rippendecke verbunden.

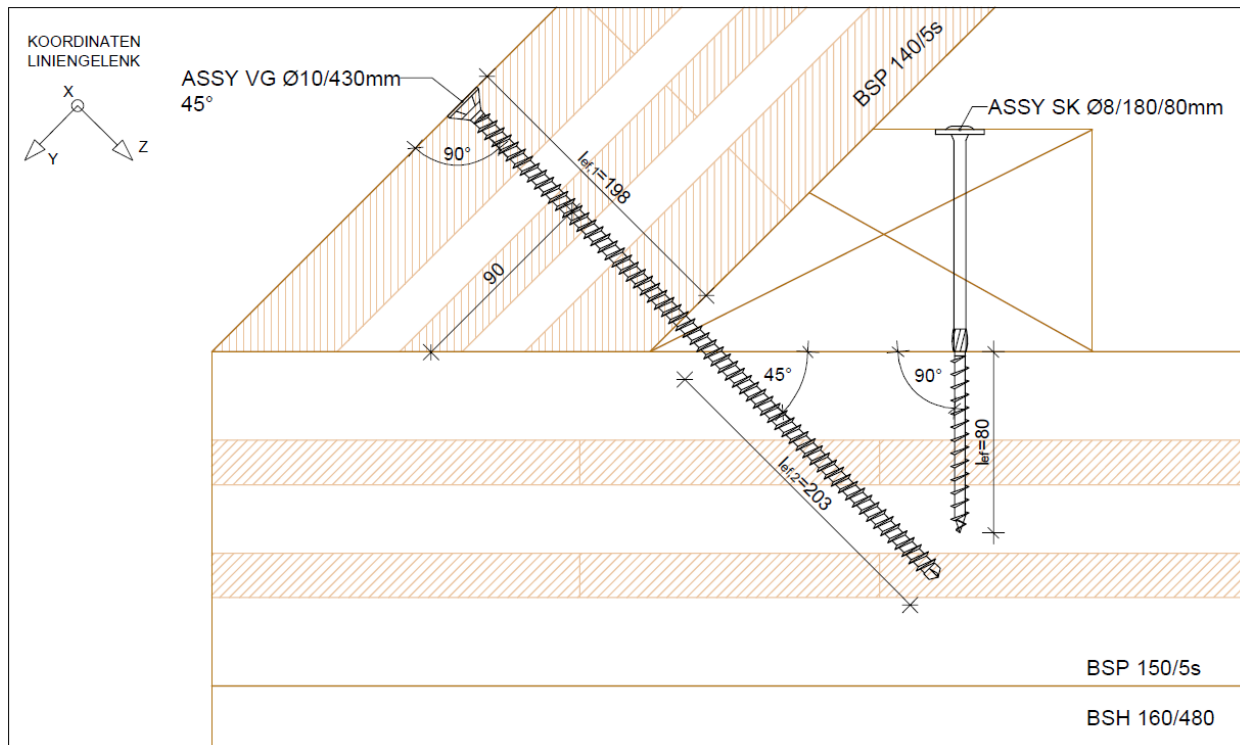


Abbildung 6-102 Verbindung Dachelement zu Rippendecke [Maße in mm]

### ASSY VG Ø 10/430mm

#### Axiale Beanspruchung

Die Axiale Tragfähigkeit der Schraube wird mit den Formeln (6.49),(6.51) und (6.52) berechnet.

$$k_{ax} = 1$$

$$F_{ax,1,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 11 \cdot 10 \cdot 198 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 16273 \text{ N}$$

$$F_{ax,head,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 13 \cdot 18,5^2 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 3324 \text{ N}$$

$$F_{ax,2,d} = \frac{0,9}{1,30} \cdot 11 \cdot 10 \cdot 203 \cdot \left(\frac{385}{350}\right)^{0,8} = 16684 \text{ N}$$

$$F_{tens,d} \frac{33000}{1,25} = 26400 \text{ N}$$

$$F_{ax,d} = \min \left\{ \begin{array}{l} \max \{ 16273 \\ 3324 \} \\ 16684 \\ 26400 \end{array} \right\} = 16273 \text{ N}$$

x- und horizontale Richtung:

$$F_{ax,x,d} = 16273 \cdot \cos(45) = 11507 \text{ N} = 11,5 \text{ kN}$$

Die Steifigkeit wird nach (6.68) berechnet.

$$K_{ser} = \frac{25 \cdot 10 \cdot 198 \cdot 203}{401} = 25059 \text{ kN/m}$$

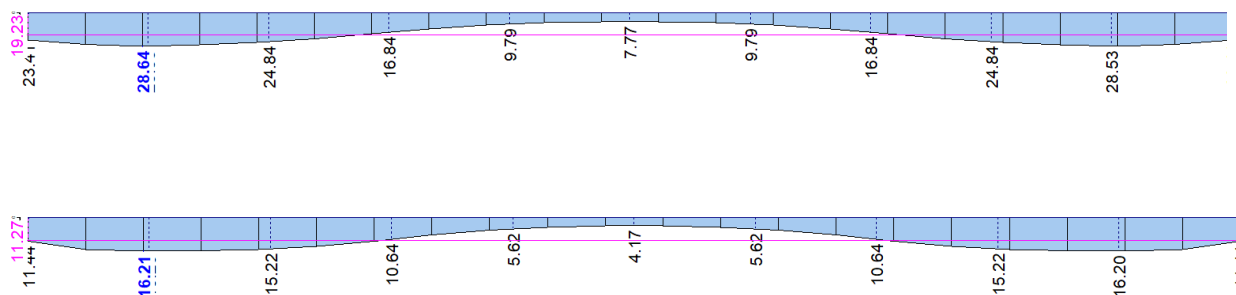
**Regelement**

Auf der sicheren Seite liegend wird der maximale Wert in y-Richtung und der zugehörige z-Wert für die Bemessung herangezogen:

$$F_{y,Ed} = 28,6 \text{ kN/m} \text{ und } F_{z,Ed} = 16,2 \text{ kN/m}.$$

Die in die horizontale Richtung angreifenden Spannungen werden wie folgt berechnet:

$$F_{ax,horizontal,Ed} = 28,6 \cdot \cos 45 - 16,2 \cdot \cos 45 = 8,77 \text{ kN/m}$$



**Abbildung 6-103 Verlauf der maßgebenden Fugenkräfte: oben  $v_y$  [kN/m] und unten  $v_z$  [kN/m]**

Der Nachweis wird mit der Mindestverschraubung von  $n = 2/1,0 \text{ m}$  gemäß ÖNORM B 1995-1-1 geführt.

$$\frac{8,77}{11,5 \cdot 2^{0,9}} = 0,41 < 1,0$$

Mit der gewählten Verbindungsmittellanzahl ergeben sich die Steifigkeiten zu:

$$K_{ser,res} = 25059 \cdot 2/1,0 = 50118 \text{ kN/m}^2$$

### Randelement (Windverband)

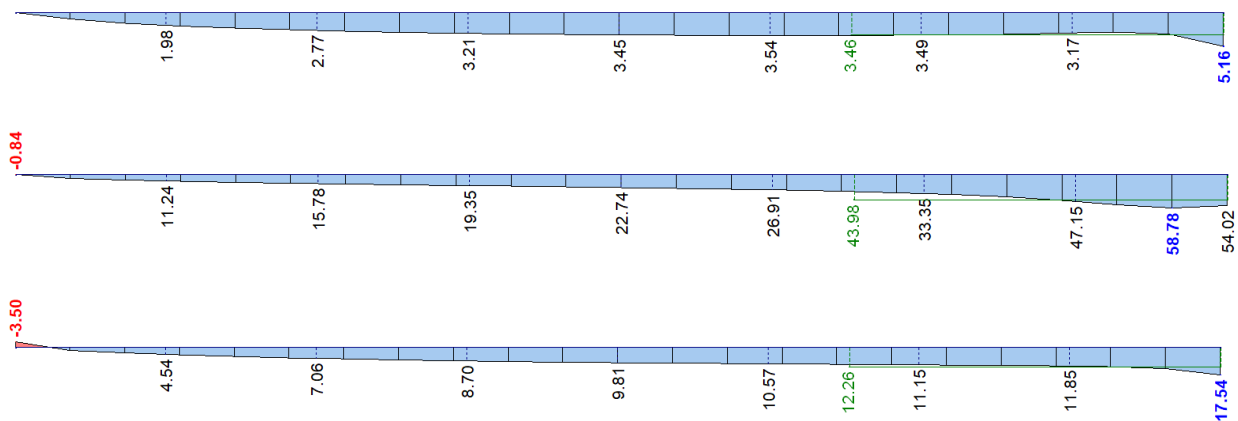
Das Randelement wird vollflächig ausgeführt, da es als Windverband dient. Dies sorgt für Zugkräfte an der Seite des Windangriffs und für Druckkräfte an der Gegenseite.

Die Bemessungswerte werden aus dem rechten Meterstreifen entnommen:

- $F_{x,Ed} = 3,46 \text{ kN/m}$
- $F_{y,Ed} = 44,0 \text{ kN/m}$
- $F_{z,Ed} = 12,3 \text{ kN/m}$

Die in die horizontale Richtung angreifende Spannung wird wie folgt berechnet:

$$F_{ax,horizontal,Ed} = 44,0 \cdot \cos 45 - 12,3 \cdot \cos 45 = 22,4 \text{ kN/m}$$



**Abbildung 6-104 Verlauf der Fugenkräfte: oben  $n_x$  [kN/m], mitte  $v_y$  [kN/m] und unten  $v_z$  [kN/m]**

Der Nachweis der axialen Beanspruchung in zwei Richtungen wird mit einer Anzahl von  $n = 4/1,0 \text{ m}$  gemäß ÖNORM B 1995-1-1 geführt.

$$\sqrt{\left(\frac{22,4}{11,5 \cdot 4 \cdot 0,9}\right)^2 + \left(\frac{3,46}{11,5 \cdot 4 \cdot 0,9}\right)^2} = 0,54 < 1,0$$

Mit der gewählten Verbindungsmittelanzahl ergeben sich die Steifigkeiten zu:

$$K_{ser,res} = 25059 \cdot 4/1,0 = 100236 \text{ kN/m}^2$$

### Querdrucknachweis

Die Spannungsspitzen werden vernachlässigt. Der Querdrucknachweis wird nach (6.69) geführt.

Die zu bemessene Druckspannung ergibt sich aus der y- und z-Richtung:

$$F_{c,90,Rd} = 44,0 \cdot \cos 45 + 12,3 \cdot \cos 45 = 39,8 \text{ kN/m}$$

$$A_{ef} = \frac{160}{\cos 45} \cdot 1000 = 226274 \text{ mm}^2$$

$$k_{c,90} = 1,0$$

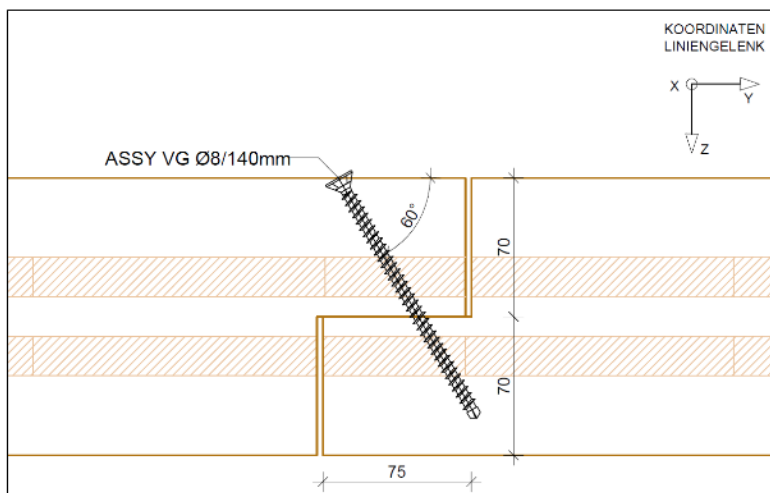
$$f_{c,90,d} = 1,80 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{39800}{226274} \leq 1,0 \cdot 1,80$$

$$0,18 < 1,80$$

### 6-11.4.5 Dachelemente

Die Dachelemente werden an beiden Enden mit einem Stufenfalz ausgeführt.



**Abbildung 6-105 Fügung der Dachelemente mittels Stufenfalz [Maße in mm]**

## KAPITEL 7: ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

### 7-1 ZUSAMMENFASSUNG

---

Die Möglichkeit der Beanspruchung als Platte und Scheibe der Brettsperrholzelemente schafft neue Tragsysteme aus dem Baustoff Holz für den konstruktiven Ingenieurbau. Das geringe Gewicht und die möglichen Spannweiten von Tragsystemen aus Brettsperrholz ergeben eine optimale Lösung für Aufstockungen in Altbaubeständen. Das in dieser Arbeit untersuchte Aufstockungssystem basiert auf einem dreiteiligen Falwerk aus Brettsperrholz, welches sich über eine Länge von rund 20 m spannt. So kann ein stützenfreier Dachraum geschaffen werden. Aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades der Tragkonstruktion bietet dieses System viele Vorteile für das Bauen in der Stadt.

In der aktuellen Rechtslage der Stadt Graz sollten Aufstockungen mit Beibehalt der Dachform in den Schutzzonen des Grazer Altstadterhaltungsgesetz möglich sein, da das äußere charakteristische Erscheinungsbild nicht verändert wird. Die Einfügung einzelner Gauben in die Dachhaut ist zulässig, wenn sie im Rhythmus der Fensterachsen der Fassade angeordnet sind. Nach Maßgabe der Schutzwürdigkeit können auch weitere Veränderungen möglich sein, wenn sich das Vorhaben in das Erscheinungsbild des betreffenden Stadtteils einfügt. Dies entscheidet jedoch die Altstadt-sachverständigenkommission.

Die Umsetzung einer Aufstockung mit dem Falwerkssystem sollte beim Großteil der Altbestände der Grazer Schutzzonen möglich sein. Eine Ausnahme bilden denkmalgeschützte Bauwerke, aufgrund des substanziellen Verlusts durch den Abbruch des Dachstuhls, sind Aufstockungen in der Regel nicht vertretbar.

Die Realisierbarkeit des Falwerkssystems wurde in dieser Arbeit gründlich untersucht. Es wurden Details für eine praktische Umsetzung aus bauphysikalischer und statisch-konstruktiver Sicht ausgearbeitet. Die Nachweisführung im Grenzzustand der Tragfähigkeit und im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wurde durchgeführt. Eine Variantenstudie der Verbindung des Falwerks mit dem Dachelement ergab zwei mögliche Lösungsvorschläge der Ausführung.

Die erarbeiteten Ergebnisse sollen als Anregung einer inneren Nachverdichtung von Altbaubeständen der Stadt Graz dienen um die Zersiedelung zu bremsen.

### 7-2 AUSBLICK

---

Eine Bestandserhebung des Mauerwerks von Altbaubeständen ist notwendig um die Tragfähigkeit bestimmen zu können. In dieser Arbeit wird von einer ausreichenden Tragfähigkeit des Mauerwerks ausgegangen.

In weiteren Forschungsarbeiten sind Belastungsversuche von Falwerken aus Brettsperrholz von großem Interesse. Untersuchungen zur Überhöhung des Falwerks können die Ausführung der Verbindungstechnik erleichtern. Ebenfalls zu eruieren ist die Möglichkeit der Ausführung des Falwerks mit Walm-Abschluss.

# ANHANG A VERZEICHNISSE

## A-1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Links: Gründerzeitliche Stadterweiterung Graz bis 1911 [3] Rechts: Ausschnitt Graz 2020 [4] .....	2
Abbildung 2-2 Vergleich von Graz mit anderen Städten [5] .....	3
Abbildung 2-3 Referenzblock [5].....	4
Abbildung 2-4: Hofverbauung in Blockhöhe [5] .....	5
Abbildung 2-5: Blockauffüllung [5] .....	5
Abbildung 2-6: Turmbebauung im Hof [5].....	5
Abbildung 2-7: Dachbodenausbau [5].....	6
Abbildung 2-8: Blockaufstockung [5].....	6
Abbildung 2-9: Aufstockung in Zeilen oder Türmen [5] .....	6
Abbildung 2-10 Horizontale und vertikale Verdichtung gleicher Dichte [5] .....	7
Abbildung 2-11 Fassade Rechbauerstraße [5].....	8
Abbildung 2-12 blockweise Aufstockungsbeispiele [5] .....	8
Abbildung 2-13 Studie Vollaufstockung Naglergasse [1].....	9
Abbildung 2-14 Studie Vollaufstockung Spabersbachgasse [1].....	9
Abbildung 2-15 typischer Grundriss eines Grazer Gründerzeitblockes [5] .....	10
Abbildung 2-16 Erschließung blockumfassende Aufstockung [5] .....	11
Abbildung 2-17: Verdichtungspotential Stadt Graz [5].....	12
Abbildung 2-18 Bestandsbeispiel einer Einzelaufstockung in Graz [7] .....	13
Abbildung 2-19 Aufstockungsbeispiel Graz [8].....	13
Abbildung 2-20 Bestandsbeispiel Aufstockung in Wien [9] .....	14
Abbildung 2-21 Aufstockung Wien [10].....	14
Abbildung 3-1 Entwicklungsplan [14].....	19
Abbildung 3-2 Ausschnitt Hauptplan-Bereichstypen [15] .....	21
Abbildung 3-3 Deckplan 1 Teilraumabgrenzungen [15] .....	23
Abbildung 3-4 Ausschnitt Flächenwidmungsplan 4.0 mit Ausschnitt der Legende [17].....	24
Abbildung 3-5: Ausschnitt Baulandzonierungsplan [18] .....	25
Abbildung 3-6: Bebauungsplan Beispiel [19].....	26
Abbildung 3-7 zulässige Maximalhöhen abhängig von Straßenbreiten [5] .....	31
Abbildung 3-8: Kern- und Pufferzone UNESCO Weltkulturerbe [30] .....	34
Abbildung 3-9: Überblick Schutzzonen I-V [32] .....	35
Abbildung 3-10: Schutzzonen I- III [32].....	36
Abbildung 3-11 Überblick Bundesdenkmalamt in Graz Umgebung [38].....	40
Abbildung 3-12 Überblick Baudenkmäler im Zentrum und Gründerzeitviertel [30] .....	41
Abbildung 4-1 links: Sparrendach rechts: Pfettendach [41].....	44
Abbildung 4-2 Kehlbalkendach mit zweifach stehendem Stuhl [41].....	44
Abbildung 4-3 Beispiel eines „Gratzer Dachstuhls“ [42] .....	45

Abbildung 4-4 Kappendecke [43] .....	46
Abbildung 4-5 Tramdecke [43] .....	47
Abbildung 5-1 links: Raumzellen auf Schiene rechts: Estricharbeiten.....	50
Abbildung 5-2 links: Beibehalt der Dachform rechts: ohne Beibehalt der Dachform [44].....	51
Abbildung 5-3 Faltwerksmuster aus parallelen Falten.....	52
Abbildung 5-4 Faltwerksmuster aus Falten und Gegenfalten.....	52
Abbildung 5-5 Gegenfalte für Richtungswechsel mit Beispiel .....	52
Abbildung 5-6 Beispiel Faltwerk mit Gegenfalten aus Papier.....	52
Abbildung 5-7 Potential von Falten und Querschotten [46] .....	53
Abbildung 5-8 Durchbiegung von steil und flach geneigten Flächen.....	53
Abbildung 5-9 Lastabtragung eines Faltwerks [46].....	54
Abbildung 5-10 Faltwerkslösung [44].....	55
Abbildung 5-11 Transportabmessungen und zu erfüllende Randbedingungen [47] .....	56
Abbildung 6-1 Wirtschaftsgebäude .....	57
Abbildung 6-2 Schnitt durch den Haupttrakt [48] .....	57
Abbildung 6-3 Lehrwerkstätte.....	58
Abbildung 6-4 Dachwerk Hauptdach [48] (eigene Bearbeitung) [Maße in cm] .....	59
Abbildung 6-5 Überblick Schäden [48] (eigene Bearbeitung).....	59
Abbildung 6-6 Globale Verformung [48].....	60
Abbildung 6-7 Hauptdach: Dachstuhl über dem Haupttrakt des Wirtschaftsgebäudes .....	61
Abbildung 6-8 Innen- und Außenansicht der Giebelwand des Haupttraktes.....	61
Abbildung 6-9 Wand zwischen dem Haupt- und Nebentrakt (firsthoch).....	62
Abbildung 6-10 Außenwand Längsseite mit Rundfenstern (bildet das Auflager für Bundträme) .....	62
Abbildung 6-11 Gegenüberliegende Längsseite der Außenwand .....	62
Abbildung 6-12 Ansicht neu mit Einzelgauben [50] .....	63
Abbildung 6-13 Erdgeschoss .....	64
Abbildung 6-14 Obergeschoss .....	64
Abbildung 6-15 Dachgeschoss.....	64
Abbildung 6-16 Abschnitte Faltwerk - Primärtragkonstruktion [Maße in cm].....	65
Abbildung 6-17 Überblick der Auflager der Faltwerk-Abschnitte .....	66
Abbildung 6-18 Schnitt Tragwerk [Maße in cm] .....	67
Abbildung 6-19 Dachelemente .....	67
Abbildung 6-20 Schnitt Bestand [48] (eigene Bearbeitung) [Maße in cm].....	68
Abbildung 6-21 Schnitt Dachraum neu [Maße in cm] .....	68
Abbildung 6-22 Detail A Auflager Faltwerk [Maße in mm]* .....	69
Abbildung 6-23 Detail B Auflager Rippendecke [Maße in mm].....	70
Abbildung 6-24 Brandschutzanforderungen .....	71
Abbildung 6-25 Schimmelbildung – Firstdetail.....	75
Abbildung 6-26 Schimmelbildung Detail B.....	75
Abbildung 6-27 raumseitiger Feuchteüberschuss [51] .....	76
Abbildung 6-28 Oberflächenkondensat - Firstdetail.....	78
Abbildung 6-29 Oberflächenkondensat – Detail B.....	78
Abbildung 6-30 Kondensat im Bauteil - DetailB .....	79



Abbildung 6-31 Kondensat im Bauteil - DetailB.....	79
Abbildung 6-32 Dachaufbau.....	80
Abbildung 6-33 Lastfälle Windlast (iD Innendruck, iS Innensog) [48] .....	81
Abbildung 6-34 maßgebende Lastfälle der Windlast auf der Dachfläche .....	81
Abbildung 6-35 Abmessungen Hauptdach [Maße in m, aufgerundet] .....	82
Abbildung 6-36 Lastfälle der Windlast an den Stirnseiten .....	82
Abbildung 6-37 Lastfälle der Schneelast .....	83
Abbildung 6-38 LF1 Eigenlast inkl. Auflast .....	86
Abbildung 6-39 LF2 Wind NW mit Innensog.....	86
Abbildung 6-40 LF6 Schnee Vollast.....	86
Abbildung 6-41 Untersicht faltwerk mit Koordinatensystem der modellierten Flächen.....	87
Abbildung 6-42 Auflagerbedingungen der Dachelemente.....	88
Abbildung 6-43 Dachelemente mit „verschmierter“ Flächenlast (LF1 Eigenlast inkl. Auflast) .....	89
Abbildung 6-44 LF4 Dachelemente (LF4 Wind Südwest mit Innensog) .....	89
Abbildung 6-45 Untersicht faltwerk – Haupttragrichtung BSP-Elemente .....	90
Abbildung 6-46 Spannungen Plattentragwirkung .....	94
Abbildung 6-47 Querschnittgröße Normalkraft $n_x$ am gesamten faltwerk .....	99
Abbildung 6-48 Normalkraft $n_x$ an der faltwerksfläche „Basis“ .....	100
Abbildung 6-49 Moment $m_x$ an der faltwerksfläche „Basis“ .....	100
Abbildung 6-50 Normalkraft $n_x$ an faltwerksflächen „Schenkel“ .....	102
Abbildung 6-51 Moment $m_x$ an faltwerksflächen „Schenkel“ .....	102
Abbildung 6-52 Normalkraft $n_x$ am Querschott .....	104
Abbildung 6-53 Normalkraft $n_y$ am Querschott .....	104
Abbildung 6-54 Moment $m_x$ an Dachflächen.....	105
Abbildung 6-55 Normalkraft $n_x$ an Dachflächen .....	105
Abbildung 6-56 Anteile der Durchbiegung [56].....	107
Abbildung 6-57 Verformung faltwerkträger unter LF1 Eigenlast (inkl. Auflast) .....	109
Abbildung 6-58 Durchbiegung Dachelement unter LF1 Eigenlast (inkl. Auflast) .....	110
Abbildung 6-59 Fußbodenaufbau .....	111
Abbildung 6-60 Element der Rippendecke [Maße in mm].....	112
Abbildung 6-61 Stahlgelenk – Stabdübel Verbindung .....	123
Abbildung 6-62 Überblick Bolzen.....	123
Abbildung 6-63 Stahlwinkel – Schrauben Verbindung .....	124
Abbildung 6-64 Keil und Stufenfalz verschraubt.....	124
Abbildung 6-65 exemplarischer Verlauf der Schubspannung $n_x$ zwischen faltwerksflächen* .....	134
Abbildung 6-66 Gelenkverbindung mit Stabdübel [Maße in mm] .....	135
Abbildung 6-67 Überblick Gelenkverbindung [Maße in m] .....	135
Abbildung 6-68 Verbindung im Randbereich [Maße in mm].....	136
Abbildung 6-69 Hälfte des asymmetrischen Verlaufs $n_x$ [kN/m].....	136
Abbildung 6-70 Hälfte des symmetrischen Verlaufs $v_y$ [kN/m] .....	136
Abbildung 6-71 Stahlblech faltwerksfläche „Schenkel“ [Maße in mm].....	137
Abbildung 6-72 Hälfte des asymmetrischen Verlaufs $n_x$ [kN/m].....	139
Abbildung 6-73 Hälfte des symmetrischen Verlaufs $v_y$ [kN/m] .....	139

Abbildung 6-74 Stahlblech Falterwerksfläche "Basis" [Maße in mm] .....	139
Abbildung 6-75 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft $v_y$ [kN/m] .....	142
Abbildung 6-76 Stahlblech Dachelement [Maße in mm].....	142
Abbildung 6-77 Verlauf der maßgebenden Fugenkräfte: oben $n_x$ [kN/m] unten $v_y$ [kN/m] .....	143
Abbildung 6-78 Stahlblech Dachelement [Maße in mm].....	144
Abbildung 6-79 Stahlwinkel verschraubt [Maße in mm].....	146
Abbildung 6-80 Verläufe der halben Fuge: oben $n_x$ [kN/m], mitte $v_y$ [kN/m], unten $v_z$ [kN/m].....	147
Abbildung 6-81 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft $v_z$ [kN/m] .....	149
Abbildung 6-82 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft $n_x$ [kN/m].....	150
Abbildung 6-83 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft $v_z$ [kN/m] .....	150
Abbildung 6-84 Keil und Stufenfalz verschraubt [Maße in mm].....	151
Abbildung 6-85 Verläufe der halbe Fuge: oben $n_x$ [kN/m], mitte $v_y$ [kN/m], unten $v_z$ [kN/m].....	152
Abbildung 6-86 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft $v_z$ [kN/m] .....	155
Abbildung 6-87 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft $n_x$ [kN/m].....	156
Abbildung 6-88 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft $v_z$ [kN/m] .....	156
Abbildung 6-89 Gelenkverbindung mit Stabdübel [Maße in mm] .....	157
Abbildung 6-90 Stahlwinkel verschraubt [Maße in mm].....	159
Abbildung 6-91 Keil und Stufenfalz verschraubt [Maße in mm].....	160
Abbildung 6-92 Verbindung Falterwerksflächen am First [Maße in mm] .....	161
Abbildung 6-93 Verlauf über die halbe Falterwerkskante: oben $n_x$ [kN/m], unten $v_z$ [kN/m].....	164
Abbildung 6-94 Verlauf über die halbe Falterwerkskante $v_y$ [kN/m] .....	165
Abbildung 6-95 Verbindung Falterwerksfläche „Basis“ mit Querschott [Maße in mm] .....	166
Abbildung 6-96 Max/Min - Verlauf der Fugenkräfte: oben $n_x$ [kN/m], unten $v_z$ [kN/m].....	167
Abbildung 6-97 Max/Min - Verlauf der Fugenkraft $v_y$ [kN/m] .....	168
Abbildung 6-98 Verbindung Falterwerksfläche „Schenkel“ mit Querschott [Maße in mm] .....	169
Abbildung 6-99 Verbindung Falterwerksfläche „Schenkel“ mit Querschott [Maße in mm] .....	169
Abbildung 6-100 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft $n_x$ [kN/m].....	170
Abbildung 6-101 Verlauf der maßgebenden Fugenkraft $v_y$ [kN/m] .....	171
Abbildung 6-102 Verbindung Dachelement zu Rippendecke [Maße in mm].....	172
Abbildung 6-103 Verlauf der maßgebenden Fugenkräfte: oben $v_y$ [kN/m] und unten $v_z$ [kN/m] .....	173
Abbildung 6-104 Verlauf der Fugenkräfte: oben $n_x$ [kN/m], mitte $v_y$ [kN/m] und unten $v_z$ [kN/m].....	174
Abbildung 6-105 Fügung der Dachelemente mittels Stufenfalz [Maße in mm] .....	175

## A-2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1 Festlegungen Bereichstypen [15] .....	22
Tabelle 4-1 Dippelbaumdecke [43] .....	47
Tabelle 4-2 Mauerstärken nach Ziegelstärken und Formaten [6].....	48
Tabelle 6-1 Materialkennwerte für Htflux - Simulation .....	73
Tabelle 6-2 Innenrandbedingungen für Schimmelbildung [51].....	74
Tabelle 6-3 Außenrandbedingungen [51] .....	74
Tabelle 6-4 Randbedingungen Innenraum .....	77
Tabelle 6-5 auf das Bemessungsmodell angesetzte Lastfälle .....	85
Tabelle 6-6 Ermittlung der neuen Flächenlasten mit „verschmierter“ Gaubenlast.....	88
Tabelle 6-7 Steifigkeitsparameter [58] .....	92
Tabelle 6-8 ermittelte Komponenten der Steifigkeitsmatrix für BSP140 und BSP 160.....	92
Tabelle 6-9 Charakteristische Werte und Bemessungswerte der Plattenbeanspruchung.....	93
Tabelle 6-10 Charakteristische Werte und Bemessungswerte der Scheibenbeanspruchung.....	93
Tabelle 6-11 Querschnittswerte der verwendeten BSP-Aufbauten.....	97
Tabelle 6-12 Tragwiderstände BSP140 .....	98
Tabelle 6-13 Tragwiderstände BSP160 .....	98
Tabelle 6-14 Kombinationsbeiwerte [54] .....	108
Tabelle 6-15 Grenzwerte der Durchbiegung von Bauteilen [56] .....	108
Tabelle 6-16 Vergleich der Durchbiegung der untersuchten Modelle .....	109
Tabelle 6-17 Gegenüberstellung der Kombinationen mit Grenzwerten .....	109
Tabelle 6-18 Verformungen .....	110
Tabelle 6-19 Gegenüberstellung der Kombinationen mit den Grenzwerten .....	110
Tabelle 6-20 Querschnittswerte Feldbereich .....	113
Tabelle 6-21 Charakteristische Werte und Bemessungswerte BSP [58] .....	114
Tabelle 6-22 Charakteristische Werte und Bemessungswerte BSH GI32c [62] .....	114
Tabelle 6-23 Verlauf der Biegespannung [N/mm <sup>2</sup> ] .....	115
Tabelle 6-24 Verlauf der Schubspannung [N/mm <sup>2</sup> ] .....	116
Tabelle 6-25 Grenzwerte des Frequenz- und Steifigkeitskriteriums für Deckenklassen [56] .....	119
Tabelle 6-26 Grenzwerte der Schwingungsbeschleunigung für Deckenklassen [56] .....	119
Tabelle 6-27 Überblick Anschluss Dachelement - faltwerk .....	122
Tabelle 6-28 Kennwerte der verwendeten Schrauben [63] .....	132
Tabelle 6-29 Kennwerte der verwendeten selbstbohrenden Stabdübel [65] .....	132
Tabelle 6-30 Mindestabstände Schrauben nach ETA 11/0190 [63].....	133
Tabelle 6-31 Mindestabstände selbstbohrende Stabdübel [65] .....	133

## A-3 Literaturverzeichnis

---

- [1] H. Gangoly, Dense Cities, 2013.
- [2] Magistrat Graz – Präsidiabteilung, Referat für Statistik, Bevölkerungsprognose 2015 - 2034 für die Landeshauptstadt Graz, Stadt Graz, Ausgabe Juli 2015.
- [3] S. Dimitrou, Stadterweiterung von Graz, Graz-Wien: Leykam-Verlag, 1979.
- [4] „Google Maps,“ [Online]. Available: <https://www.google.at/maps/place/Ries,+Graz/@47.0697787,15.4237439,5116m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x476e4a612b4a3c31:0x14c3a33ddec804fb!8m2!3d47.0839166!4d15.4810742!5m1!1e4>. [Zugriff am 13.01.2020].
- [5] I. Pirstinger, Gründerzeitstadt 2.1, Technische Universität Graz, 2014.
- [6] G. Stefan, Verwertung innerstädtischer Bestandsbauten, Graz: TU Graz, 2015.
- [7] A. Zinganel, „Zinganel,“ [Online]. Available: <http://zinganel.at/>. [Zugriff am 24.09.2020].
- [8] LOVE, „love-home,“ [Online]. Available: <http://www.love-home.com/wilder-mann/>. [Zugriff am 24.09.2020].
- [9] Josef Weichenberger Architects + Partner, „Weichenberger,“ [Online]. Available: <https://weichenberger.at/projekte/mg9-sanierung-und-aufstockung-margaretenstrasse/>. [Zugriff am 24.09.2020].
- [10] BauNetzArchitekten, „baunetz-architekten,“ [Online]. Available: <https://www.baunetz-architekten.de/ppag-architects/31257/projekt/4115019>. [Zugriff am 24.09.2020].
- [11] P. Fortmüller, Baurechtliche Rahmenbedingungen für den Dachgeschossausbau in Grazer Gründerzeitobjekten, Graz: TU Graz, 2019.
- [12] Landesrecht Steiermark, Steiermärkisches Baugesetz, Graz: [www.ris.bka.gv.at](http://www.ris.bka.gv.at), Fassung 31.10.2019.
- [13] Landesrecht, Steiermärkisches Raumordnungsgesetz 2010, Graz: [www.ris.bka.gv.at](http://www.ris.bka.gv.at), Stand April 2015.
- [14] Stadtplanung Graz, Stadtentwicklungskonzept Graz 4.02, Graz: Stadt Graz, Fassung Februar 2018.
- [15] Stadtplanung Graz, 1.0 Räumliches Leitbild, [www.ris.bka.gv.at](http://www.ris.bka.gv.at), 2019.
- [16] Stadtplanung Graz, Bausperre Verordnung zum 2. Entwurf des 1.0 Räumlichen Leitbildes, Stadt Graz, 08.02.2018.
- [17] Stadtplanung Graz, 4.0 Flächenwidmungsplan, Stadt Graz, Fassung Februar 2018.

- [18] „Geodaten,“ [Online]. Available: [https://geodaten.graz.at/WebOffice/synserver?project=STEK-FWP-RLB&client=core&view=4\\_0\\_FWPL\\_DP1](https://geodaten.graz.at/WebOffice/synserver?project=STEK-FWP-RLB&client=core&view=4_0_FWPL_DP1). [Zugriff am 09 11 2019].
- [19] „Stadtplanung Graz,“ [Online]. Available: <https://www.graz.at/cms/beitrag/10303724/7758108/Bebauungsplan.html>. [Zugriff am 09 11 2019].
- [20] Landesrecht Steiermark, Bebauungsdichteverordnung 1993, Graz: [www.ris.bka.gv.at](http://www.ris.bka.gv.at), Fassung 29.10.2019.
- [21] Landesrecht Steiermark, Steiermärkische Bautechnikverordnung 2015, Graz: [www.ris.bka.gv.at](http://www.ris.bka.gv.at), Fassung 29.10.2019.
- [22] Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik, OIB Richtlinie 1, Österreichisches Institut für Bautechnik, April 2019.
- [23] Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik, OIB Richtlinie 2, Österreichisches Institut für Bautechnik, April 2019.
- [24] Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik, OIB Richtlinien Begriffsbestimmungen, Österreichisches Institut für Bautechnik, April 2019.
- [25] Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik, OIB-Richtlinie 3 Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz, April 2019.
- [26] Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik, OIB-Richtlinie 4 Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit, April 2019.
- [27] Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik, OIB-Richtlinie 5 Schallschutz, April 2019.
- [28] Richtlinien des Österreichischen Instituts für Bautechnik, OIB Richtlinie 6, Österreichisches Institut für Bautechnik, April 2019.
- [29] Stadtplanung Graz, UNESCO Weltkulturerbe Graz Managementplan, Stadt Graz, 2013.
- [30] „Geodaten,“ [Online]. Available: <https://geodaten.graz.at>. [Zugriff am 09 11 2019].
- [31] Landesrecht Steiermark, Grazer Altstadterhaltungsgesetz 2008, Graz: [www.ris.bka.gv.at](http://www.ris.bka.gv.at), Fassung 05.11.2019.
- [32] „AGIS - Altstadt Graz Informationssystem,“ [Online]. Available: [http://app.luis.steiermark.at/agis/baukultur/altstadtgraz/web/asvk\\_graz.htm](http://app.luis.steiermark.at/agis/baukultur/altstadtgraz/web/asvk_graz.htm). [Zugriff am 09 11 2019].
- [33] „Architektur Steiermark,“ [Online]. Available: <http://www.gat.st/news/das-neue-grazer-altstadterhaltungsgesetz>. [Zugriff am 06 11 2019].

- [34] Landesrecht Steiermark, Erhaltung der Dachlandschaft im Schutzgebiet nach dem Grazer Altstadterhaltungsgesetz, Graz: [www.ris.bka.gv.at](http://www.ris.bka.gv.at), Fassung 06.11.2019.
- [35] Landesrecht Steiermark, Gestaltung von Fenstern im Schutzgebiet nach dem Grazer Altstadterhaltungsgesetz, Graz: [www.ris.bka.gv.at](http://www.ris.bka.gv.at), Fassung 06.11.2019.
- [36] Das Land Steiermark, Richtlinie für die Dachdeckung in der Grazer Altstadt.
- [37] Bundesrecht, Denkmalschutzgesetz, [www.ris.bka.gv.at](http://www.ris.bka.gv.at), Fassung 06.11.2019.
- [38] „GIS-Steiermark,“ [Online]. Available: <https://gis.stmk.gv.at/atlas>. [Zugriff am 02 07 2019].
- [39] Bundesdenkmalamt, Standards der Baudenkmalpflege, Wien: Bundeskanzleramt Österreich, Auflage 2015.
- [40] D. S. Falk, Masterarbeit: Grenzen von Veränderungen an denkmalgeschützten Bauwerken in Österreich, TU Graz, 2017.
- [41] A. Meisel, Historische Dachwerke - Beurteilung, realitätsnahe statische Analyse und Instandsetzung, Hamburg: TU Graz Lignum, 2015.
- [42] Meisel, A., & Schickhofer, G. , D(N)achhaltigkeit Graz, Stadtbaudirektion Graz, 2010.
- [43] Schriftenreihe der Forschungsgesellschaft für Wohnen, Bauen und Planen, Probleme der Tragkonstruktion, Bauphysik, Technologie undn Verfahrenstechnik, Wien: Heft 103, 1986.
- [44] Ringhofer A, Matzler D, Schickhofer G, „Studie zur Verdichtung von Dachräumen von Altbaubeständen mittels modularisiertem Holzwohnbau,“ TU Graz, 2019.
- [45] Gerhard Schickhofer, Konstantin Ganster, „3. Klagenfurter Holzbau-Fachtagung: Vorfertigen und Modularisieren im Holzbau,“ TU Graz, Klagenfurt, 2018.
- [46] B. V., Faltwerke aus Brettsperrholz, TU Graz, 2009.
- [47] ProHolz, „Zuschnitt 67 Raumstapel“.
- [48] A. Seebeck, Bestandserfassung und -analyse historischer Dachwerke am Beispiel der LFS Grottenhof, TU Graz, 2019.
- [49] Richtlinie ONR 24009, Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Hochbauten, 2013.
- [50] freiraum ZT GmbH, *Grottenhof Studie Bioimpulszentrum*, Graz, 2020.
- [51] ÖNORM B 8110-2, Wärmeschutz im Hochbau Teil2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz, Austrian Standards Institute, 2020-01-01.
- [52] ÖNORM B 8110-7, Wärmeschutz im Hochbau - Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte, 2013.

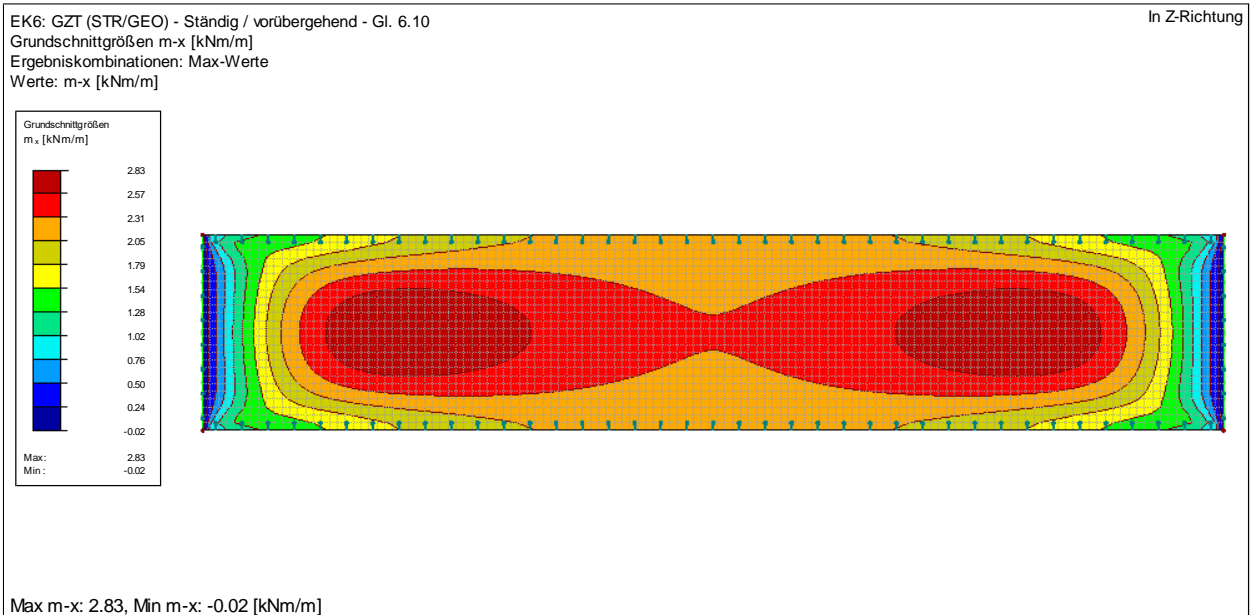
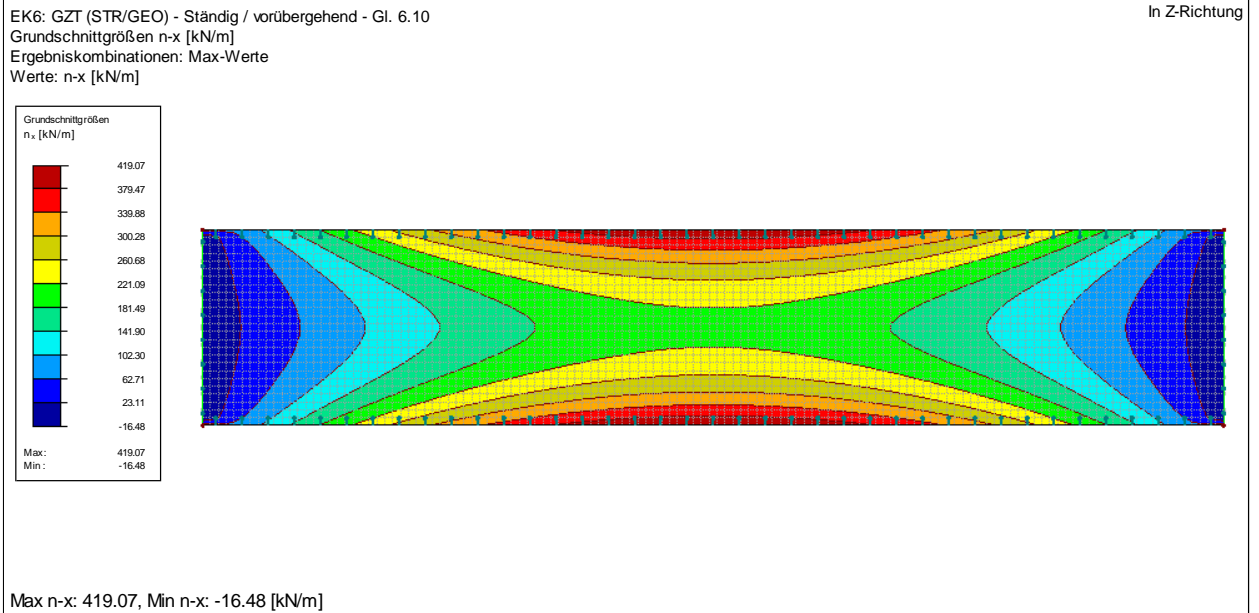
- [53] ÖNORM EN ISO 13788 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen — Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren — Berechnungsverfahren, 2013.
- [54] ÖNORM EN 1990, Eurocode- Grundlagen der Tragwerksplanung, 2013-03-15.
- [55] Augustin Blaß Bogensberger Ebner Ferik Fontana Frangi Hamm Jöbstl Moosbrugger Richter Schickhofer Thiel Traetta Uibel, *BSPhandbuch*, Graz: Technischen Universität Graz, 2010.
- [56] ÖNORM B 1995-1-1: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten: Teil 1-1: Allgemeines — Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau, 2019.
- [57] T. Bogensberger und G. Silly, Zweiachsige Lastabtragung von Brettsperrholzplatten Bautechnik 91, Heft 10, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co.KG, 2014.
- [58] Österreichisches Institut für bautechnik, ETA 12/0281, 2018.
- [59] ÖNORM EN 16351: Holzbauwerke — Brettsperrholz — Anforderungen, 2015.
- [60] Institut für Holzbau und Holztechnologie, Formelsammlung Holzbau, TUGraz, 2016.
- [61] ÖNORM EN 1995-1-1 (2014), 'Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten Teil 1-1: Allgemeines- Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau (konsolidierte Fassung)'.  
[62] ÖNORM EN 14080, Holzbauwerke - Brettschichtholz und Balkenschichtholz - Anforderungen, 2013.
- [63] Deutsches Institut für Bautechnik, ETA-11/0190: Würth selbstbohrende Schrauben, Selbstbohrende Schrauben als Holzverbindungsmitel, 2013.
- [64] D. Gross, W. Hauger, J. Schröder, W. A. Wall, Technische Mechanik 3 - Kinetik, Berlin: Springer-Verlag GmbH Deutschland, 2019.
- [65] Rothoblaas , Technische Dokumentation selbstbohrende Stabdübel WS.
- [66] Dlubal Software GmbH, RFEM 5 Räumliche Tragwerke nach der Finite-Elemente-Methode, 2019.

# ANHANG B ANDERE ANHÄNGE

## B-1 Anhang Flächenschnittgrößen

### Faltwerksfläche „Basis“

Normalkraft und Moment in Haupttragrichtung

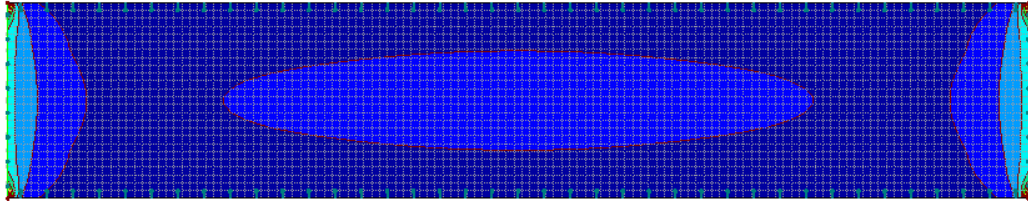
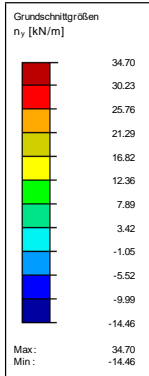




Normalkraft und Moment in Nebentragsrichtung

EK6: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
 Grundschnittgrößen n-y [kN/m]  
 Ergebniskombinationen: Max-Werte  
 Werte: n-y [kN/m]

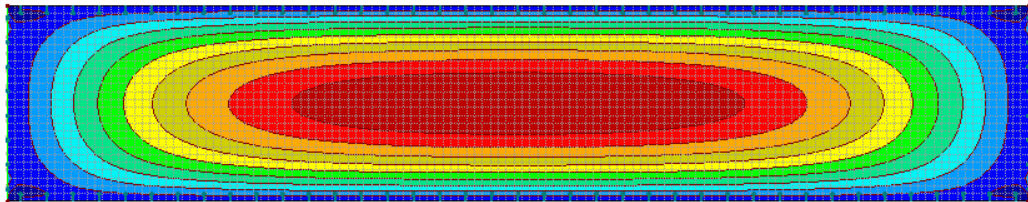
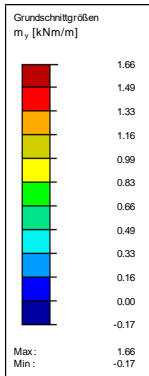
In Z-Richtung



Max n-y: 34.70, Min n-y: -14.46 [kN/m]

EK6: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
 Grundschnittgrößen m-y [kNm/m]  
 Ergebniskombinationen: Max-Werte  
 Werte: m-y [kNm/m]

In Z-Richtung

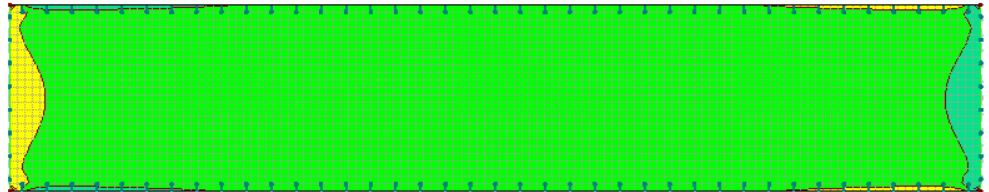
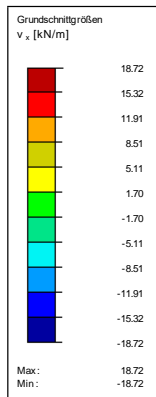


Max m-y: 1.66, Min m-y: -0.17 [kNm/m]

## Querkräfte

LK21:  $1.35 \cdot LF1 + 0.9 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF6$   
 Grundschnittgrößen v-x [kN/m]  
 Werte: v-x [kN/m]

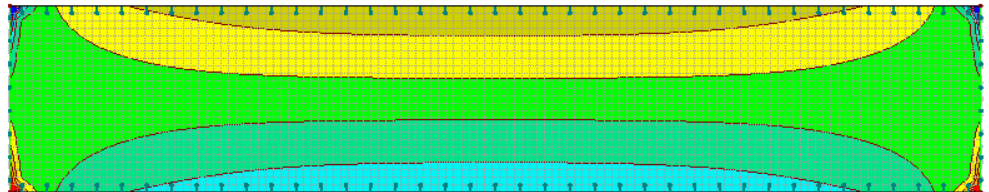
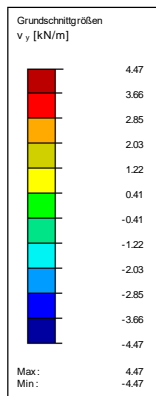
In Z-Richtung



Max v-x: 18.72, Min v-x: -18.72 [kN/m]

LK30:  $1.35 \cdot LF1 + 0.9 \cdot LF5 + 1.5 \cdot LF6$   
 Grundschnittgrößen v-y [kN/m]  
 Werte: v-y [kN/m]

In Z-Richtung

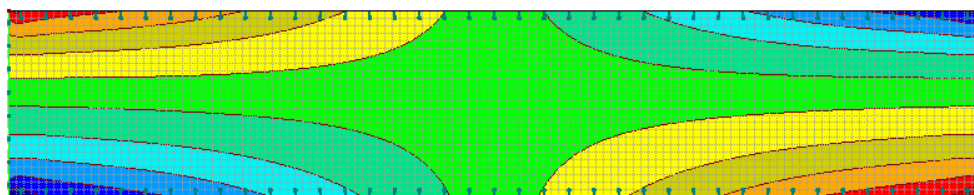
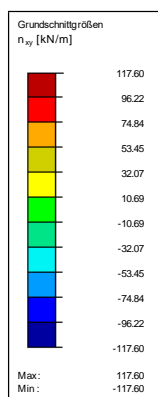


Max v-y: 4.47, Min v-y: -4.47 [kN/m]

## Scheibenschub

LK21: 1.35\*LF1 + 0.9\*LF2 + 1.5\*LF6  
Grundschnittgrößen n-xy [kN/m]  
Werte: n-xy [kN/m]

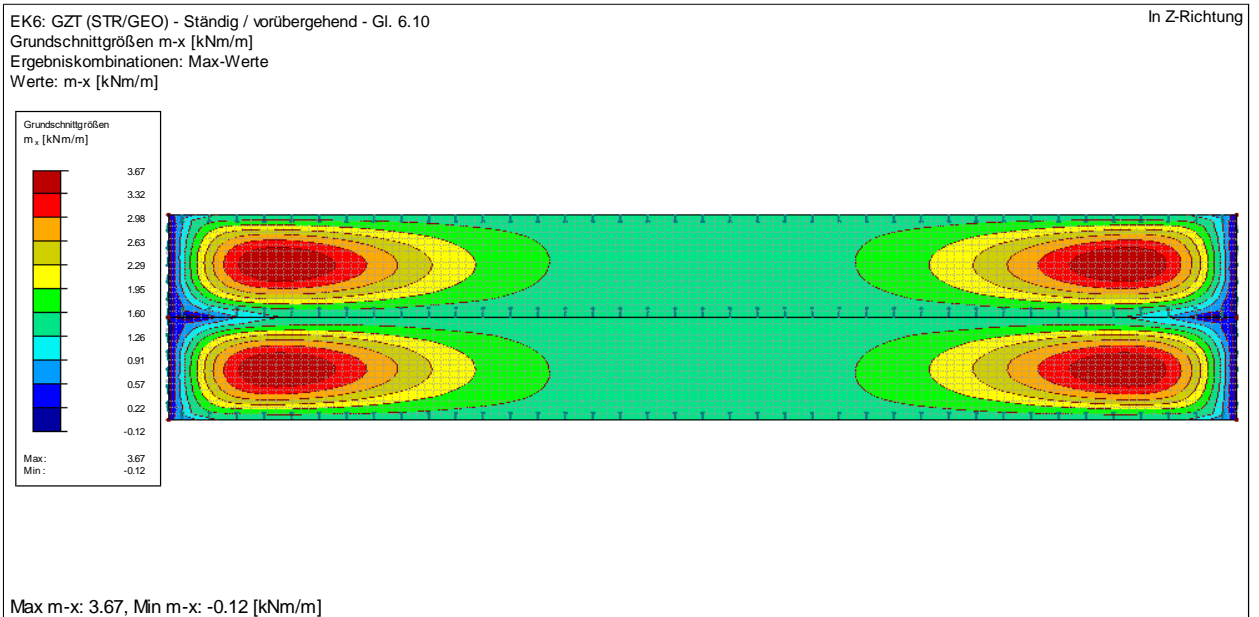
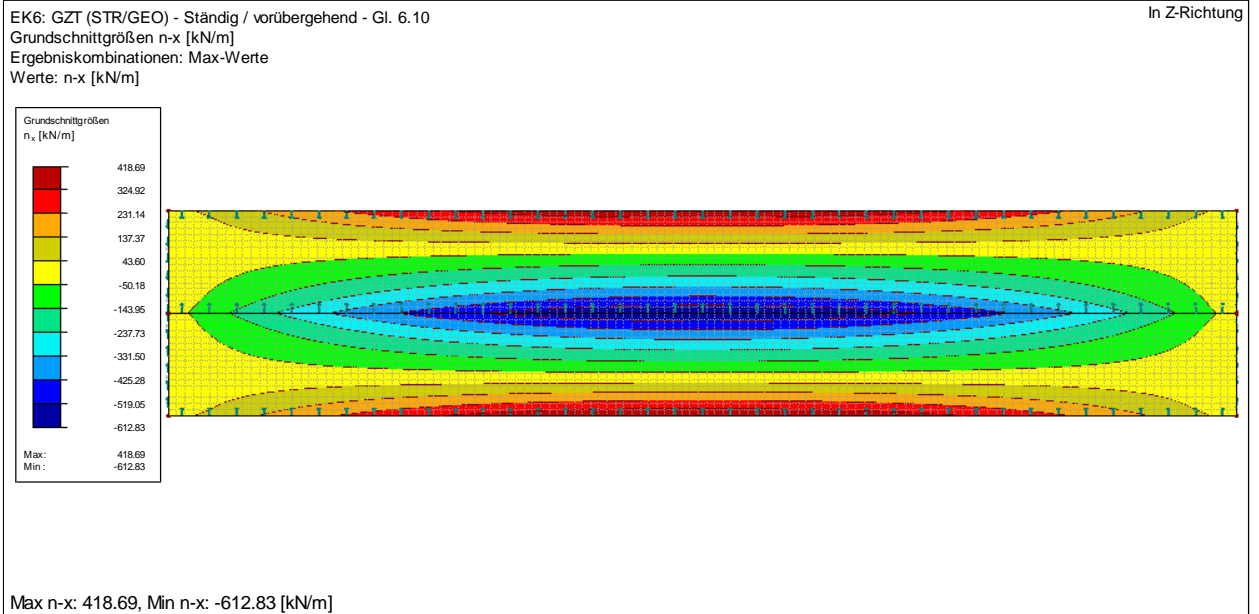
In Z-Richtung



Max n-xy: 117.60, Min n-xy: -117.60 [kN/m]

## Faltwerksflächen „Schenkel“

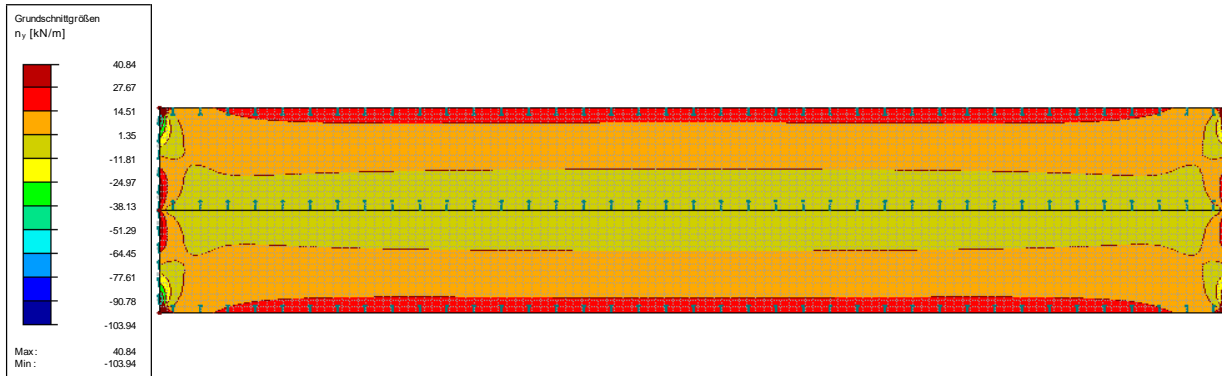
### Normalkraft und Moment in Haupttragrichtung



## Normalkraft und Moment in Nebentragrichtung

EK6: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
 Grundschnittgrößen n-y [kN/m]  
 Ergebniskombinationen: Max-Werte  
 Werte: n-y [kN/m]

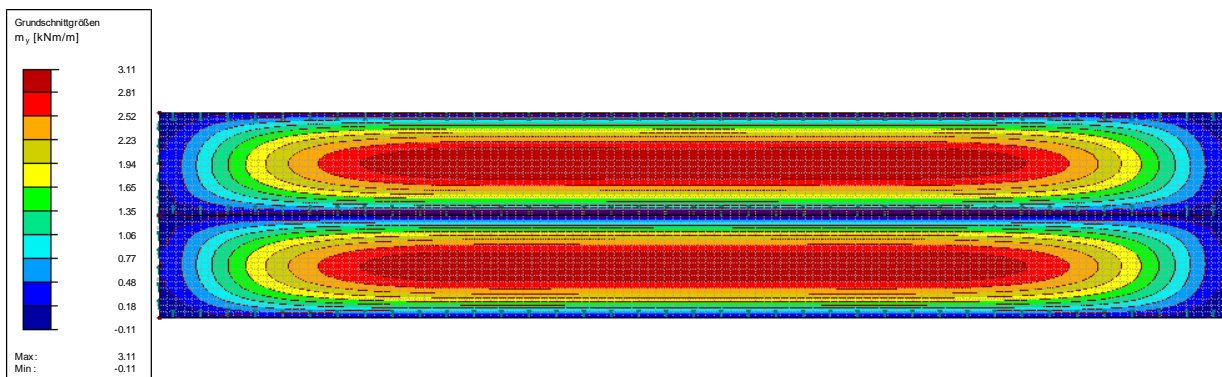
In Z-Richtung



Max n-y: 40.84, Min n-y: -103.94 [kN/m]

EK6: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
 Grundschnittgrößen m-y [kNm/m]  
 Ergebniskombinationen: Max-Werte  
 Werte: m-y [kNm/m]

In Z-Richtung

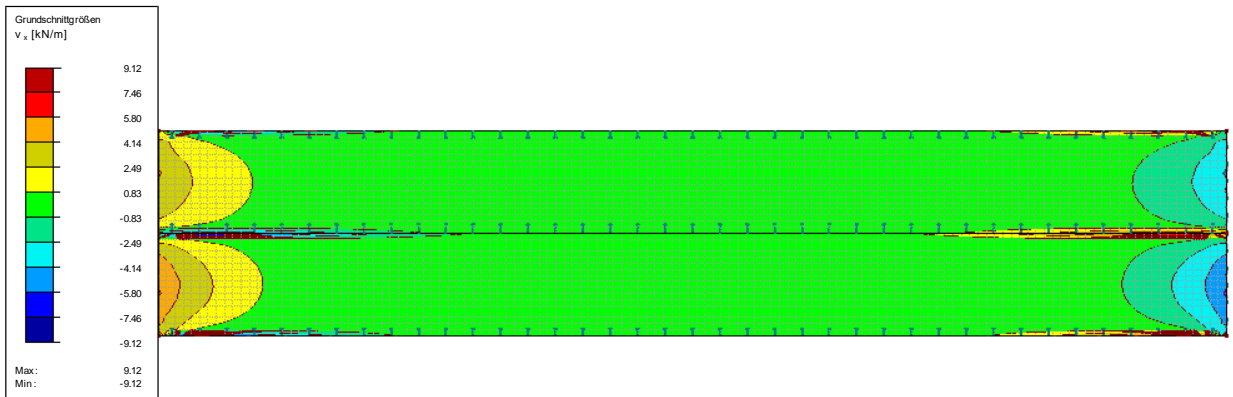


Max m-y: 3.11, Min m-y: -0.11 [kNm/m]

## Querkräfte

LK22:  $1.35 \cdot LF1 + 0.9 \cdot LF2 + 1.5 \cdot LF7$   
 Grundschnittgrößen v-x [kN/m]  
 Werte: v-x [kN/m]

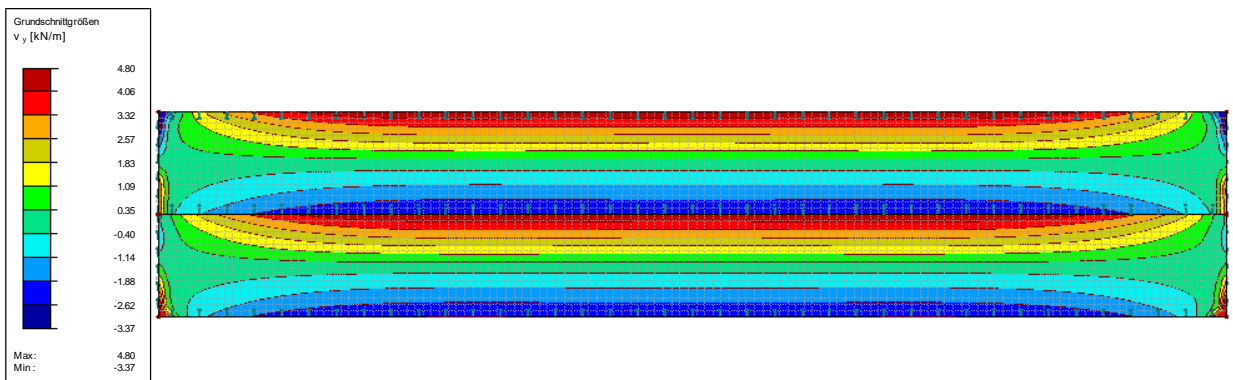
In Z-Richtung



Max v-x: 9.12, Min v-x: -9.12 [kN/m]

EK6: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
 Grundschnittgrößen v-y [kN/m]  
 Ergebniskombinationen: Max-Werte  
 Werte: v-y [kN/m]

In Z-Richtung



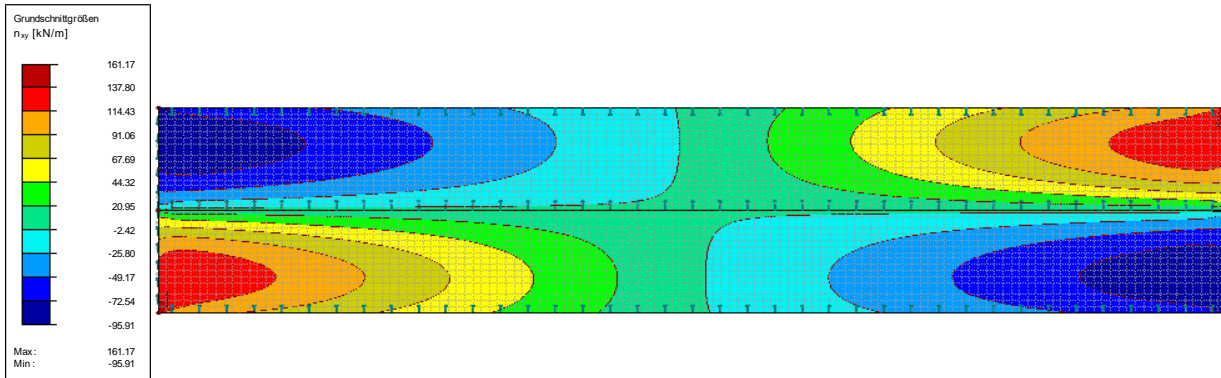
Max v-y: 4.80, Min v-y: -3.37 [kN/m]

## Scheibenschub

EK6: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10

In Z-Richtung

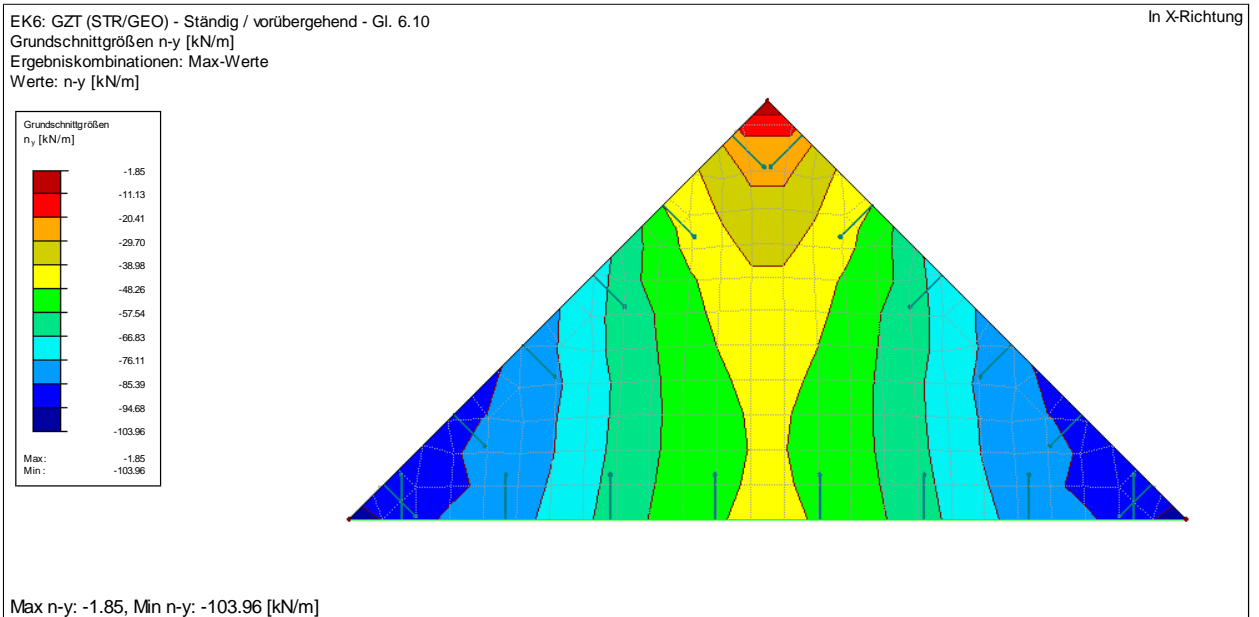
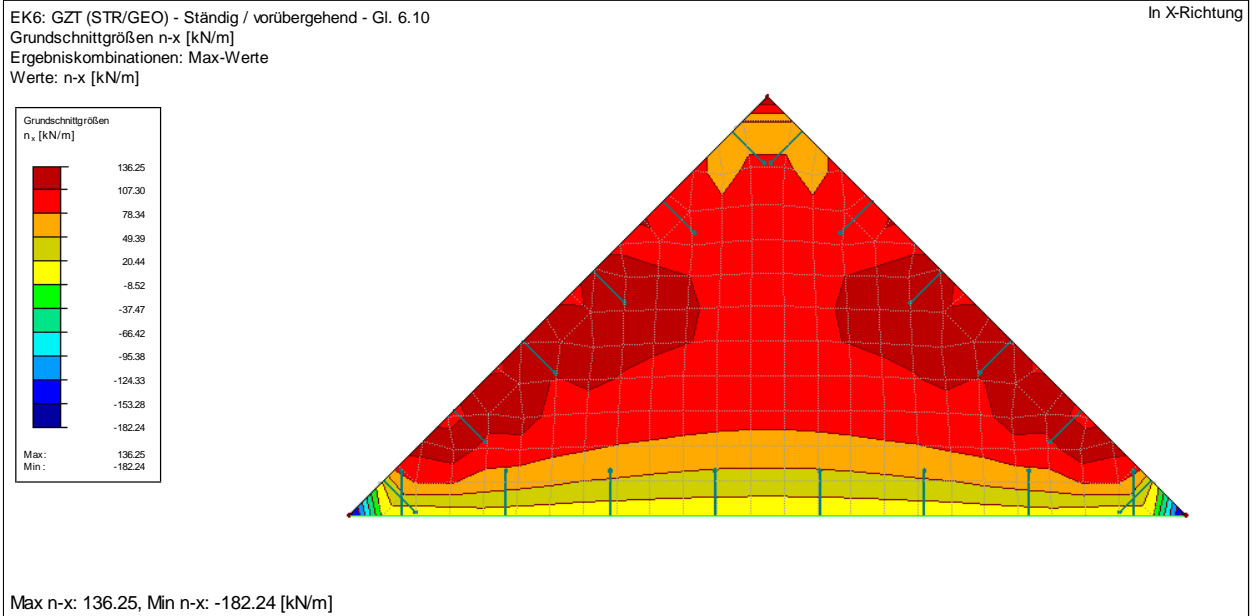
Grundschnittgrößen n-xy [kN/m]  
Ergebniskombinationen: Max-Werte  
Werte: n-xy [kN/m]



Max n-xy: 161.17, Min n-xy: -95.91 [kN/m]

## Querschnitt

### Normalkräfte in Haupt- und Nebentragsrichtung

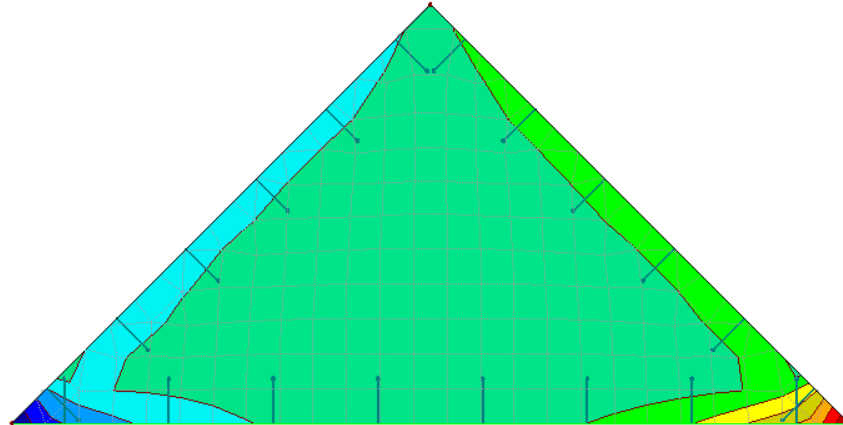
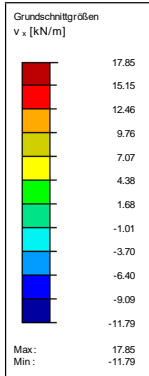




## Querkräfte

EK6: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
Grundschnittgrößen v-x [kN/m]  
Ergebniskombinationen: Max-Werte  
Werte: v-x [kN/m]

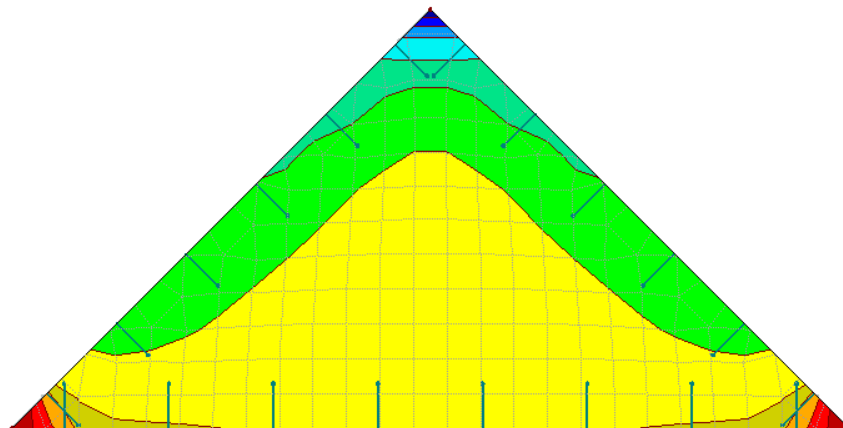
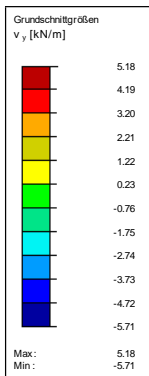
In X-Richtung



Max v-x: 17.85, Min v-x: -11.79 [kN/m]

EK6: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
Grundschnittgrößen v-y [kN/m]  
Ergebniskombinationen: Max-Werte  
Werte: v-y [kN/m]

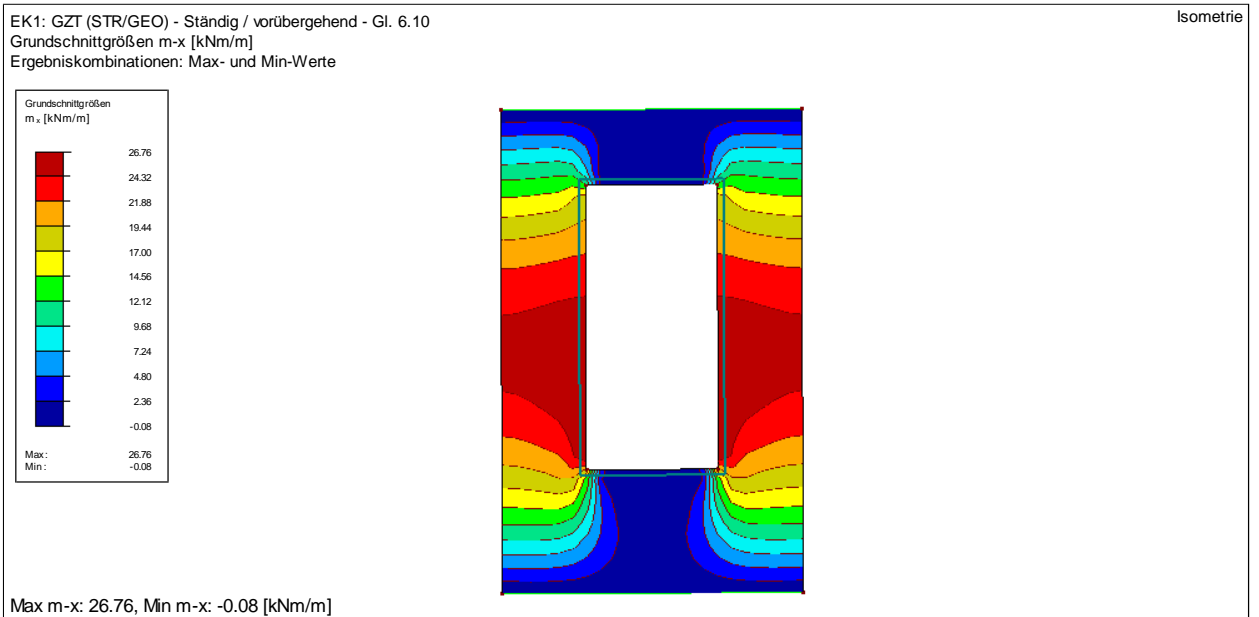
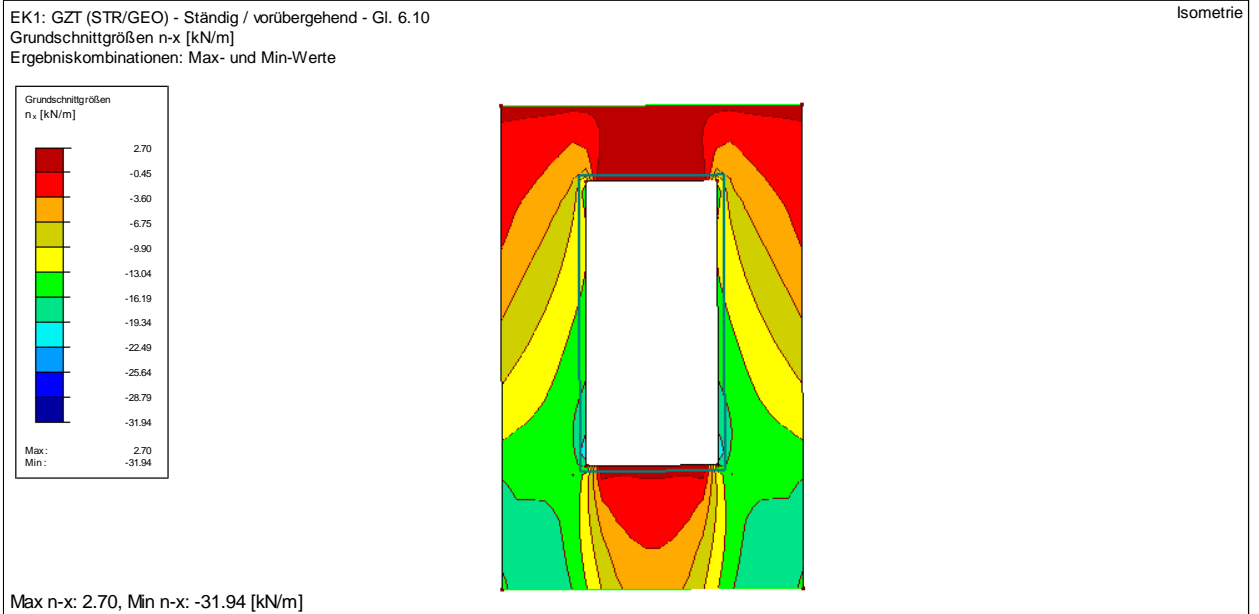
In X-Richtung



Max v-y: 5.18, Min v-y: -5.71 [kN/m]

## Dachelemente

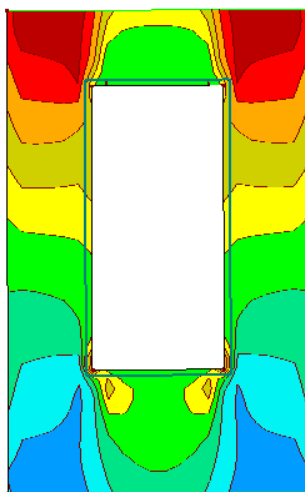
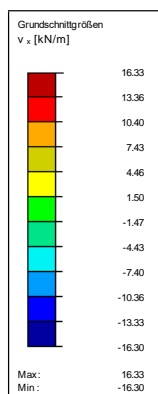
### Normalkraft und Moment in Haupttragrichtung



## Querkraft

EK1: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
Grundschnittgrößen v-x [kN/m]  
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

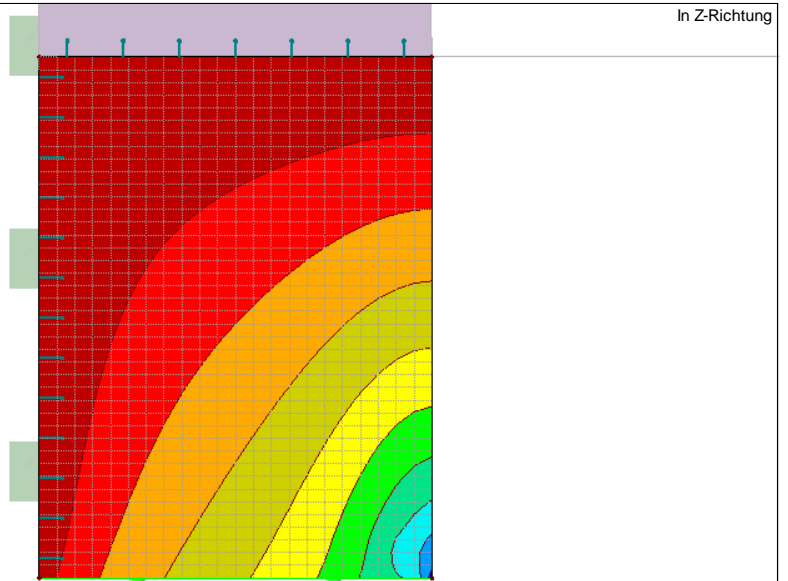
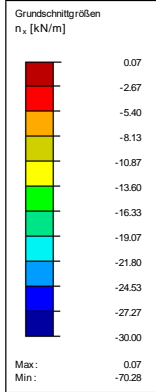
Isometrie



Max v-x: 16.33, Min v-x: -16.30 [kN/m]

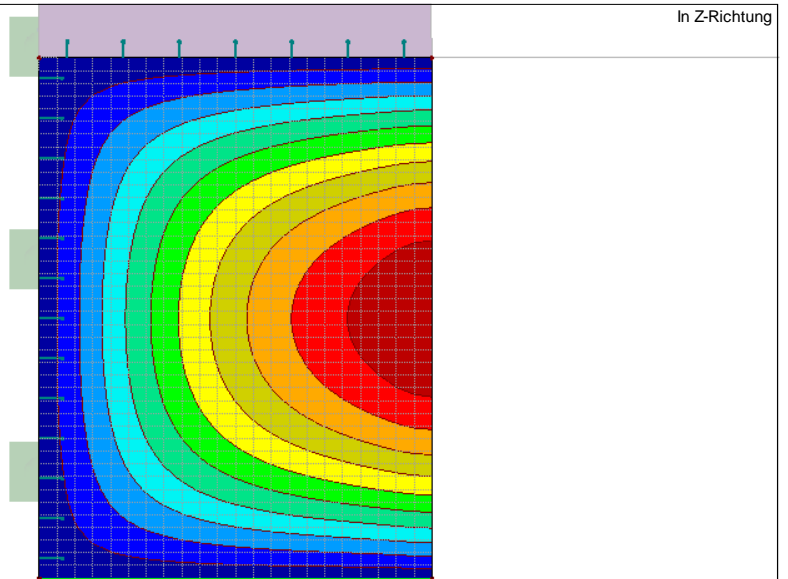
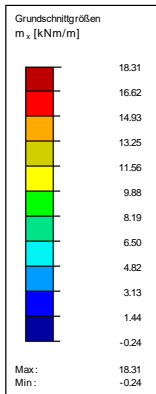
## Dachelement Windverband

EK6: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
Grundschnittgrößen n-x [kN/m]  
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte



Max n-x: 0.07, Min n-x: -70.28 [kN/m]

EK6: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
Grundschnittgrößen m-x [kNm/m]  
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

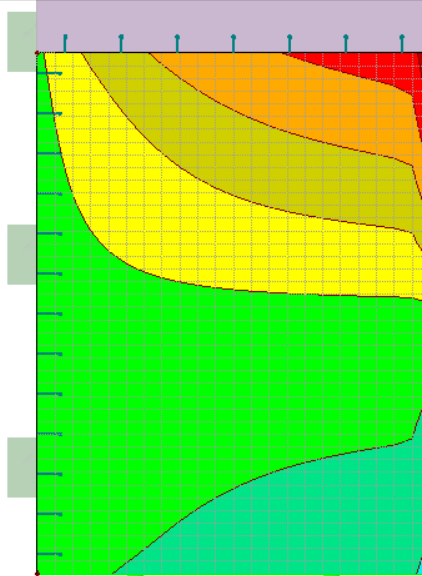
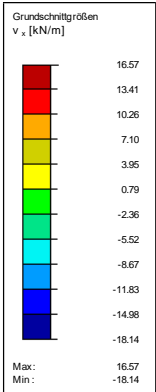


Max m-x: 18.31, Min m-x: -0.24 [kNm/m]

## Querkraft

EK6: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
Grundschnittgrößen v-x [kN/m]  
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

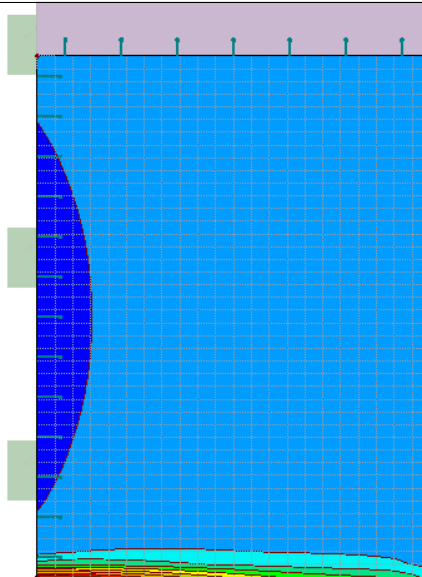
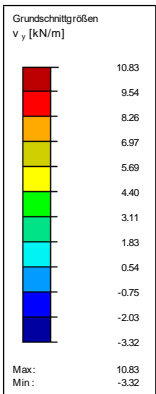
In Z-Richtung



Max v-x: 16.57, Min v-x: -18.14 [kN/m]

EK6: GZT (STR/GEO) - Ständig / vorübergehend - Gl. 6.10  
Grundschnittgrößen v-y [kN/m]  
Ergebniskombinationen: Max- und Min-Werte

In Z-Richtung



Max v-y: 10.83, Min v-y: -3.32 [kN/m]