

Bernd Meier

Sandwichelemente **für Dach und Wand**

**Bemessung nach bauaufsichtlicher Zulassung, ECCS,
prEN 14509 (Euro-Norm) - mit Beispielen**

**Motivierende Mischung
von Theorie und Praxis**

**Statische Berechnungen
- einfach und schnell -**



Meier58

Umschlag vorne, innen

Meier58

Sandwichelemente für Dach und Wand

**Bemessung nach bauaufsichtlicher Zulassung, ECCS,
prEN 14509 (Euro-Norm) - mit Beispielen**

Die Information in diesem Buch wurde mit größter Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Herausgeber und Autor übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für eventuell verbliebene Angaben und deren Folgen.

Alle Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt und sind möglicherweise eingetragene Warenzeichen. Der Herausgeber richtet sich im Wesentlichen nach der Schreibweise der Hersteller.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form durch Fotokopie, Mikrofilm oder andere Verfahren reproduziert oder in eine für Maschinen, insbesondere Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache übertragen werden. Auch die Rechte der Wiedergabe durch Vortrag, Funk und Fernsehen sind vorbehalten.

Kommentare und Fragen können Sie gerne an mich richten:

Bernd Meier

An der Hager 20

57234 Wilnsdorf

Tel.: 02737/1381

E-Mail: bernd.meier@statik-meier.de

Copyright der deutschen Ausgabe:

© 2002-2006 Bernd Meier, Wilnsdorf

1. Ausgabe Juli 2002

2. Ausgabe Juni 2003

3. Ausgabe Februar 2004

4. Ausgabe Februar 2005

5. Ausgabe Januar 2006

Vorgeschichte

Es war einmal ein Schreiber, der alle Geschehnisse auf großen Rollen Pergamentes festhielt, auf dass sie der Nachwelt Zeugnis geben sollten von den Wunderlichkeiten seiner Zeit. Die meisten Tage verbrachte er in seiner Stube, wo man ihn auch zu später Stunde noch über alten und neuen Dingen beobachten konnte – und manchmal sah man ihn eiligen Schrittes auf dem Wege zur Bibliothek der Stadt, wo er alsbald im tiefsten Keller verschwand und Niemandes Störungen duldete.

Ein ums andere Mal soll es dabei geschehen sein, dass er die Bibliothek schimpfend wieder verließ, um sich aufs Neue in sein Oratorium zurückzuziehen. Dann brannten dort die Kerzen noch länger als sonst, und die Leute, die ihn von einem Ort zum anderen hasten sahen, schüttelten natürlich den Kopf über ihn, aber nur im Verborgenen, denn er war ob seines Wissens ein geachteter Mann. Tatsächlich, so wollten es einige wissen, suche sogar der Herzog manchmal seinen Rat.

Eines Tages saß er aufs Neue im Keller des Gemeindehauses zwischen alten Folianten und wurde dort vom aufgeregten Bibliothekar jäh gestört. Bevor er seinen Unwillen kundtun konnte, platzte jener heraus: „Habt ihr schon von der Rede des Herzogs gehört, in der er wahre Wunderdinge verkünden will? Nein? Aber die Spatzen pfeifen es inzwischen von den Dächern! Meine Nachbarin – die alte Klatschbase – hat mir alles haarklein erzählt.“

„Ei“ – dachte sich der Schreiber – „wie kann das angehen? Da ich doch die Rede des Herzogs morgen erst anfertigen soll und Seine Gnaden mir nur einen groben Entwurf gegeben hat?“ – „Nun“, versetzte der Bibliothekar, der ein Stirnrunzeln wohl richtig zu deuten wusste, „das ist heutzutage eben so. Aber eigentlich spielt es sowieso keine Rolle: wenn hinterher alles ganz anders ist, dann denken die Leute eben, sie hätten es beim ersten Mal nicht richtig verstanden.“

Und das war wieder so ein Tag, an dem der Schreiber das Gemeindehaus wutentbrannt verließ.

Rückseite Vorgeschichte

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	9
1 Tragwirkung - Sandwichelement	11
2 Systemidealisierung	12
2.1 Sandwichelement mit beidseitig quasi-ebenen Deckschichten	12
2.1.1 Berechnungsbeispiele zur Ermittlung der Beanspruchungen	14
2.1.1.1 Beispiel 1 - Sandwichwand mit linierten Deckschichten, vgl.[1, 5.1.4]	14
2.1.1.1.1 Struktur- und Einwirkungsdaten	15
2.1.1.1.2 Schnittgrößen, grafische Darstellung	19
2.1.1.2 Beispiel 2 – Sandwichwand mit beidseitig quasi-ebenen Deckschichten, vgl. [3, 7.1]	21
2.1.1.2.1 Struktur- und Einwirkungsdaten	22
2.1.1.2.2 Schnittgrößen, grafische Darstellung	26
2.2 Sandwichelement mit einer trapezprofilierten und einer quasi-ebenen Deckschicht	27
2.2.1 Berechnungsbeispiele zur Ermittlung der Beanspruchungen	32
2.2.1.1 Beispiel 3 – Sandwichwand mit einer trapezprofilierten äußeren- und einer quasi-ebenen inneren Deckschicht, vgl. [1, 5.2.4]	32
2.2.1.1.1 Struktur- und Einwirkungsdaten	33
2.2.1.1.2 Schnittgrößen, grafische Darstellung	39
2.2.1.2 Beispiel 4 – Sandwichprofil mit einer trapezprofilierten äußeren und einer quasi-ebenen inneren Deckschicht, vgl. [2, 7]	41
2.2.1.2.1 Struktur- und Einwirkungsdaten	42
2.2.1.2.2 Schnittgrößen, grafische Darstellung	47
3 Berücksichtigung des Schubkriechens unter Dauerbeanspruchung	49
3.1 Berechnungsbeispiele zur Ermittlung der Beanspruchungen	51
3.1.1 Beispiel 5 – Sandwichdach, vgl. [11, 14.3]	51
3.1.1.1 Strukturdaten	52
3.1.1.2 Schnittgrößen, grafische Darstellung	53

4	Statische Bemessung von Sandwichelementen.....	55
4.1	Nachweise für tragende Sandwichbauteile	57
4.2	Nachweise für Sandwichwandbauteile.....	58
4.2.1	Tragsicherheitsnachweise	58
4.2.2	Gebrauchstauglichkeitsnachweise	59
4.3	Nachweise für Verbindungen in der Sandwichbauweise - Wandbauteil.....	61
4.3.1	Tragsicherheitsnachweise	61
4.3.2	Gebrauchstauglichkeitsnachweise	62
4.4	Nachweise für Sandwichdachbauteile.....	63
4.4.1	Tragsicherheitsnachweise	63
4.4.2	Gebrauchstauglichkeitsnachweise	64
4.5	Nachweise für Verbindungen in der Sandwichbauweise - Dachbauteil.....	66
4.5.1	Tragsicherheitsnachweise	66
4.5.2	Gebrauchstauglichkeitsnachweise	67
4.6	Bemessungsbeispiel 1, Sandwichwandbauteil mit quasi-ebenen Deckschichten, Bemessung nach bauaufsichtlicher Zulassung	69
4.6.1	Elementkenndaten Hoesch isowand LL 60 nach allgemeiner bauaufsichtlichen Zulassung Z-10.4-232.....	70
4.6.1.1	Querschnittswerte	70
4.6.1.2	Materialkennwerte	71
4.6.1.3	Bemessungsgrenzwerte	71
4.6.2	Statisches System und Einwirkungen	74
4.6.3	M-, Q-Linien (Bruchzustand, Kette von Einfeldträger).....	75
4.6.4	M-, Q-, f-Linien (Gebrauchszustand, Durchlaufträger)	76
4.6.5	Tragsicherheitsnachweise	79
4.6.5.1	Grenz-Normalspannungen im Feld	79
4.6.5.2	Grenz-Schubspannungen im Kernmaterial.....	80
4.6.5.3	Grenz-Druckspannungen.....	80
4.6.6	Gebrauchstauglichkeitsnachweise	81
4.6.6.1	Grenz-Normalspannungen über der Stütze.....	81
4.6.6.2	Grenz-Schubspannungen im Kernmaterial.....	83
4.6.6.3	Grenz-Druckspannungen.....	83
4.6.6.4	Durchbiegungen	84

4.6.7	Zusammenstellung der Bemessungsergebnisse für das Sandwich- element und Fazit.....	84
4.6.8	Nachweise der Verbindungen.....	86
4.6.8.1	Normalbereich der Wand.....	86
4.6.8.2	2m Randbereich der Wand.....	87
4.6.8.3	Aufnahme des Wandeigengewichtes	88
4.6.8.4	Schraubenkopfauslenkung	88
4.7	Bemessungsbeispiel - Wandbauteil nach ECCS/Euronorm.....	89
4.8	Bemessungsbeispiel 3, Sandwichdachbauteil mit einer trapez- profilierten und einer quasi-ebenen Deckschicht, Bemessung nach bauaufsichtlicher Zulassung	90
4.8.1	Elementkenndaten Fischer Isotherm DL 100 nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Z-10.4-179	91
4.8.1.1	Querschnittswerte	91
4.8.1.2	Materialkennwerte	93
4.8.1.3	Bemessungsgrenzwerte	93
4.8.2	Statisches System und Einwirkungen	96
4.8.3	M-, Q-Linien (Bruchzustand, Kette von Einfeldträger) vor dem Kriechen.....	97
4.8.4	M-, Q-Linien (Bruchzustand, Kette von Einfeldträger) nach dem Kriechen.....	100
4.8.5	M-, Q-Linien (Gebrauchszustand, Durchlaufträger) vor dem Kriechen.....	101
4.8.6	M-, Q-Linien (Gebrauchszustand, Durchlaufträger) nach dem Kriechen.....	106
4.8.7	f-Linien (Gebrauchszustand, Durchlaufträger) vor dem Kriechen....	107
4.8.8	f-Linien (Gebrauchszustand, Durchlaufträger) nach dem Kriechen.	108
4.8.9	Tragsicherheitsnachweise für den Zeitpunkt t=0	109
4.8.9.1	Grenz-Normalspannungen im Feld	109
4.8.9.2	Grenz-Schubspannungen im Kernmaterial.....	111
4.8.9.3	Grenz-Druckspannungen.....	112
4.8.10	Tragsicherheitsnachweise bei langfristig wirkender Beanspruchung	113
4.8.10.1	Grenz-Normalspannungen im Feld	113
4.8.10.2	Grenz-Schubspannungen im Kernmaterial.....	114
4.8.11	Gebrauchstauglichkeitsnachweise für den Zeitpunkt t=0	115
4.8.11.1	Grenz-Normalspannungen im Feld	115
4.8.11.2	Grenz-Normalspannungen über der Stütze.....	115
4.8.11.3	Grenz-Schubspannungen im Kernmaterial.....	116
4.8.11.4	Grenz-Druckspannungen.....	117
4.8.11.5	Verformungen	117

4.8.12	Gebrauchstauglichkeitsnachweise bei langfristig wirkender Beanspruchung	118
4.8.12.1	Grenz-Normalspannungen im Feld	118
4.8.12.2	Grenz-Normalspannungen über der Stütze.....	118
4.8.12.3	Grenz-Schubspannungen im Kernmaterial.....	119
4.8.12.4	Verformungen	119
4.8.13	Zusammenstellung der Bemessungsergebnisse für das Sandwich-element und Fazit	120
4.8.14	Nachweise der Verbindungen	121
4.9	Bemessungsbeispiel - Dachbauteil nach ECCS/Euronorm	122
Anhang	123
A.1	Einstufung der Farbtöne in Farbgruppen.....	123
A.2	Bemessungsbeispiel 1 als EDV-Statik, erstellt mit dem Programm SAN_WA.....	124
A.3	Bemessungsbeispiel 2 als EDV-Statik, erstellt mit dem Programm SAN_DA.....	132
A.4	Querschnittswertermittlung Deckblech - FischerTherm DL 100 mit Programm MIFLA	144

Vorwort

Sandwichelemente mit metallischen Deckschichten und einem Stützkern aus Polyurethan (PUR)-Hartschaum oder Mineralfaserplatten werden häufig eingesetzt als Dach- und Wandelemente zur Abtragung von Schnee- und Windlasten auf die Unterkonstruktion.

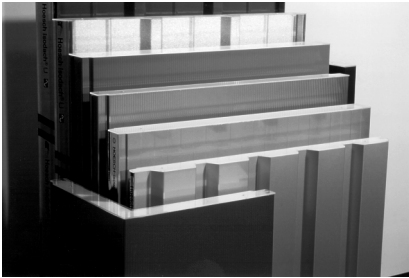


Bild 1 Sandwichelemente

Die Tragfähigkeit der Sandwichelemente wird durch eine schub- und zugfeste Klebeverbindung des Kernmaterials mit den Deckschichten erreicht. Als statische Besonderheit ist die geringe Schubsteifigkeit der Kernschicht bei der Beurteilung der Tragfähigkeit zu beachten. Die Beanspruchungen sind nach der Elastizitätstheorie zu ermitteln, wobei die Schubverformungen in der Kernschicht zu berücksichtigen sind.

In der Vergangenheit sind verschiedene Rechenverfahren zur Ermittlung der Verformungs- und Schnittgrößen für statisch bestimmt und unbestimmt gelagerte Sandwichträger mit biege- und dehnsteifen Deckschichten und einem Kern mit kleiner Schubsteifigkeit veröffentlicht worden [1],[2],[3],[4]... . Alle aufgeführten Veröffentlichungen sind sehr wissenschaftlich gehalten. Möchte man sich als „Nichtfachmann der Sandwichberechnung“ die dort dargestellten Ermittlungen der Beanspruchungen aneignen, muss man zunächst einmal langwierige Grundlagenarbeit leisten.

Das Aufstellen und Lösen der dort beschriebenen linearen Gleichungssysteme ist für Mehrfeldträger sehr komplex und kann schnell unüberschaubar werden. Auch ist der Einsatz von Beiwerten, per Hand aus Diagrammen gemessen, zeitaufwendig und führt erfahrungsgemäß häufig zu Ungenauigkeiten in einer Berechnung.

Die Bemessung der Bauteile mit von Standard-Durchlaufträgerprogrammen ermittelten Beanspruchungen, also ohne Berücksichtigung der Schubverformungen, liegt i.d.R. auf der unsicheren Seite und ist von daher auf keinen Fall zu empfehlen.

Cogito, ergo sum
Ich denke, also bin ich.

Nimmt man jedoch zur Ermittlung der Zustandsgrößen das Weggrößenverfahren zur Hilfe, können bei entsprechender Systemidealisierung Stabwerkprogramme eingesetzt werden. Sogar bei trapezprofilierten Deckschichten bleibt der Zeitaufwand zur Ermittlung der Schnittgrößen im üblichen Rahmen.

Dieses Buch soll eine einfache, zeitgemäße Methode zur Berechnung der Beanspruchungen eines Sandwichträgers unter Zuhilfenahme handelsüblicher Stabwerkprogramme darlegen. Selbst für Stabwerkprogramme mit einfacher Ausstattung werden Lösungen angegeben. Stabwerkprogramme haben mittlerweile in vielen Ingenieurbüros Einzug erhalten. Studenten der entsprechenden Fachrichtungen nutzen schon während des Studiums die unterschiedlichsten Versionen; eine zeitaufwendige Einarbeitung ist somit nicht notwendig. Der Leser dieses Buches bleibt bei seinem „gewohnten Werkzeug“ und ist sehr schnell in der Lage, für Sandwichelemente, verlegt als Ein- oder Mehrfeldträger, die entsprechenden Beanspruchungen zu ermitteln.

Ohne größeren Zeitaufwand können Einwirkungsarten wie Trapezlasten, Linienlasten, Temperaturlasten, Zwangsverformungen etc. berücksichtigt werden. Selbst eine große Feldanzahl, unterschiedliche Stützweiten, Kragarme, Stützensenkungen und Stützenfedern stellen je nach Ausstattung des Programms kein Problem dar. Unter Anwendung der in [1], [2], [3], [4]... veröffentlichten Berechnungsverfahren ist bei zuvor genannter Problematik übrigens mit einem erheblichen Mehraufwand zu rechnen.

Des Weiteren erfolgt anhand einiger Rechenbeispiele ein Einblick über die statische Bemessung von Sandwichelementen als tragende Wand- und Dachbauteile.

Alle Schnittgrößen- und Verformungsberechnungen in diesem Buch wurden mit dem Stabwerkprogramm RSTAB 5.xxx der Fa. Ing. Software Dlubal GmbH ermittelt. Selbstverständlich können aber auch alle Beispiele mit Stabwerkprogrammen anderer Hersteller nachvollzogen werden.

Cum tempore inveniatur ratio rei expediendae

Im Laufe der Zeit wird ein Weg gefunden, die Dinge zu erledigen.

1 Tragwirkung - Sandwichelement

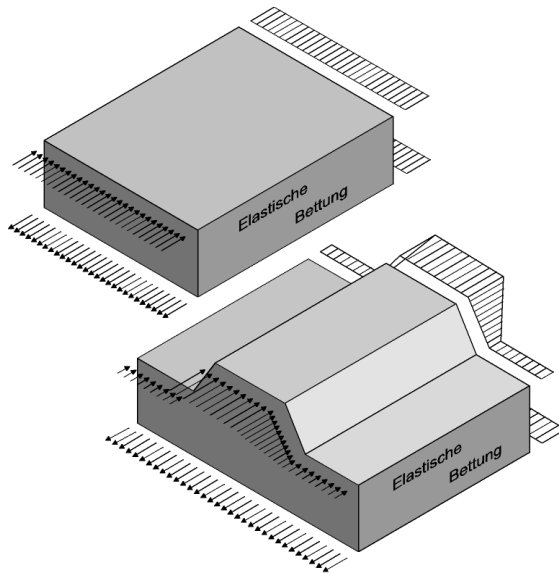


Bild 2 Tragwirkung Sandwichelemente

Durch eine ausreichende Haft- bzw. Klebeverbindung des Kerns mit den Deckschichten stellt sich eine elastische Bettung ein. Liegt gleichzeitig ein entsprechender Elastizitäts- und Schubmodul des Kernwerkstoffes vor, weist der Verbund eine weitaus höhere Beanspruchbarkeit auf als bei unversteiften Deckschichten.

Die Deckschichten des Sandwichelementes verhalten sich unter Druck wie elastisch auf der Kernschicht gebettete Balken. Sie wirken wie eine Membran und können somit ein Kräftepaar entgegen setzen. Bei trapez- oder wellprofilierten Deckschichten werden die Normalkräfte noch durch ein Biegemoment infolge Eigenbiegesteifigkeit ergänzt.

Der Sandwichkern übernimmt die Aufgabe der Schubkraftaufnahme. Die Beteiligung des Kerns an der Aufnahme des inneren Biegemomentes ist aufgrund des hohen Unterschiedes in der Dehnsteifigkeit zu den Deckschichten vernachlässigbar. Je nach Eigenschaft der Kernschicht können unter Dauerbeanspruchungen, hervorgerufen durch Langzeiteinwirkungen wie z.B. Eigengewicht, die Verformungen ohne weitere Laststeigerung zunehmen, das Material „kriecht“. Dadurch können Umlagerungen der Beanspruchungen auftreten, welche bei der Bemessung der Sandwichbauteile berücksichtigt werden müssen.

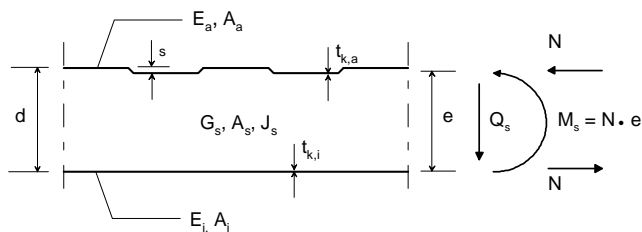
Naturalia non sunt turpia
Natürliches ist keine Schande.

2 Systemidealisierung

2.1 Sandwichelement mit beidseitig quasi-ebenen Deckschichten

Die Deckschichten sind eben, leicht liniert oder leicht gesickt, wobei die Sickenhöhe nach [7] 3 mm bzw. nach [11] 5 mm nicht überschreiten sollte. Die Beanspruchungen können dann unter Vernachlässigung der Eigenbiegesteifigkeit der Deckschichten ermittelt werden.

Zur Ermittlung der Schnitt- und Verformungsgrößen mit einem Stabwerkprogramm ist für einen Sandwichelementträger mit quasi-ebenen Deckschichten die Annahme eines einfachen Biegeträgers unter Berücksichtigung der Schubverformungen ausreichend. Bild 3 zeigt ein Balkenelement mit den wesentlichen Querschnittsabmessungen und Schnittgrößen.



d, e : Bauteildicke und Schwerpunktabstand der Deckschalen

s : Sickenhöhe

$t_{k,a} = t_{N,a}$ - Zinkauflage : Kernblechdicke der äußeren Deckschale

$t_{k,i} = t_{N,i}$ - Zinkauflage : Kernblechdicke der inneren Deckschale

$t_{N,a}, t_{N,i}$: Nennblechdicke der äußeren bzw. inneren Deckschale

E_a, A_a : E-Modul und Fläche der äußeren Deckschicht

E_i, A_i : E-Modul und Fläche der inneren Deckschicht

G_s, A_s : Schubmodul und Fläche der Kernschicht

J_s : Verbundträgheitsmoment

Q_s : Querkraft im Kern

M_s : Biegemoment aus Membranspannungszustand der Deckschichten (Sandwichmoment)

N : Normalkraft in den Deckschichten infolge Biegung

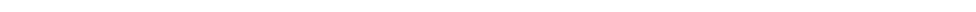
Ad meliorem
Auf bessere Zeiten.

Bild 3 Element mit quasi-ebenen Deckschichten

Zur Berechnung des Trägheitsmomentes J_s und der Fläche A_s des Verbundquerschnittes kann nach [2, 2.2] aufgrund der dünnen Deckschichten die Kernschichtdicke h mit dem Abstand der Deckschichtenschwerlinien e gleich gesetzt werden, somit ergibt sich:

$$J_s = \frac{e^2 \cdot A_{k,a} \cdot A_{k,i}}{A_{k,a} + A_{k,i}} \quad A_s = e \cdot b^* \quad \text{mit } b^*: 1 \text{ Meter Bauteilbreite} \quad (1)$$

Ut sementem feceris, ita metes
Was du gesät hast, wirst du ernten.



2.1.1 Berechnungsbeispiele zur Ermittlung der Beanspruchungen

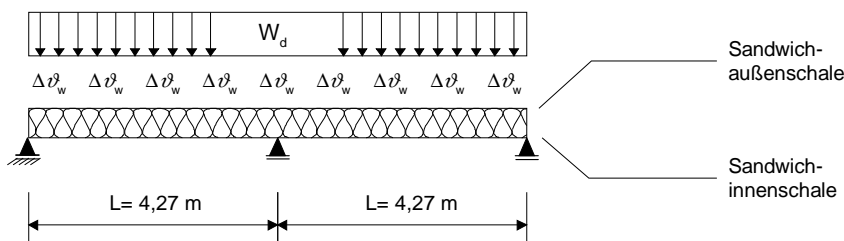
Um die große Übereinstimmung mit anderen Berechnungsverfahren zu zeigen, werden ausschließlich schon veröffentlichte Zahlenbeispiele namhafter Autoren der „Sandwich-Problematik“ herangezogen.

2.1.1.1 Beispiel 1 - Sandwichwand mit linierten Deckschichten, vgl.[1, 5.1.4]

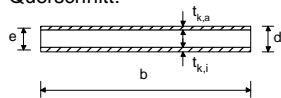
Als Zahlenbeispiel für die Eingabe der RSTAB-Strukturdaten sowie der Schnittgrößenermittlung wird eine Sandwichplatte mit linierten Deckschichten und einer Feldweite von $L = 4,27\text{ m}$ gemäß Bild 4 herangezogen.

Einwirkungen: Winddruck $w_d = 0,50\text{ kN/m}^2$

Temperaturdifferenz, Winter $\Delta\vartheta_w = \vartheta_{\text{außen}} - \vartheta_{\text{innen}} = -20^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = -40^\circ\text{C}$



Querschnitt:



$$\begin{aligned} d &= 60\text{ mm} & t_{k,a} &= t_{k,i} = 0,50\text{ mm} \\ e &= 59,5\text{ mm} & A_{k,a} &= A_{k,i} = 0,05 \cdot 100 = 5\text{ cm}^2/\text{m} \\ b &= 1,0\text{ m} \end{aligned}$$

$$J_s = \frac{5,95^2 \cdot 5,0 \cdot 5,0}{5,0 + 5,0} = 88,5\text{ cm}^4/\text{m} \quad \text{gemäß (1)}$$

$$A_s = 5,95 \cdot 100 = 595\text{ cm}^2/\text{m}$$

Kernmaterial: $G_s = 4,0\text{ N/mm}^2$

Bild 4 Berechnungsbeispiel 1

Mehr Angaben werden für die Schnittgrößenberechnung mit RSTAB nicht benötigt, die entsprechenden Eingabedaten werden auf den nächsten Seiten detailliert dargestellt.

2.1.1.1.1 Struktur- und Einwirkungsdaten

Knoten- und Materialdaten

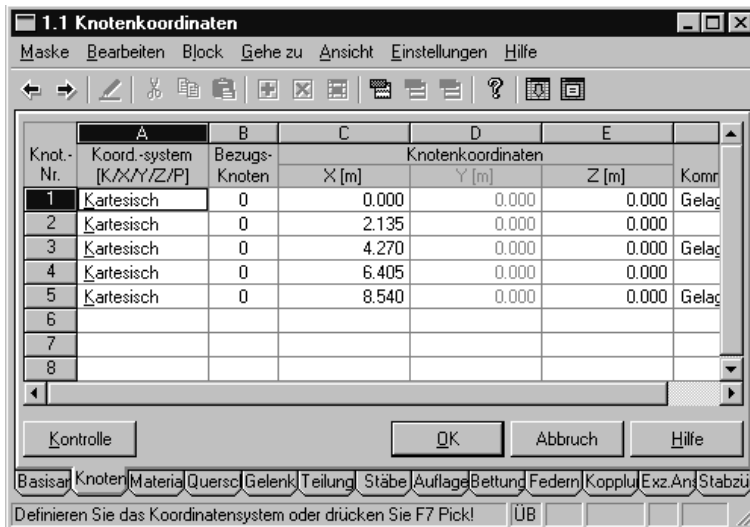


Bild 5 Beispiel 1 - Knotenkoordinaten

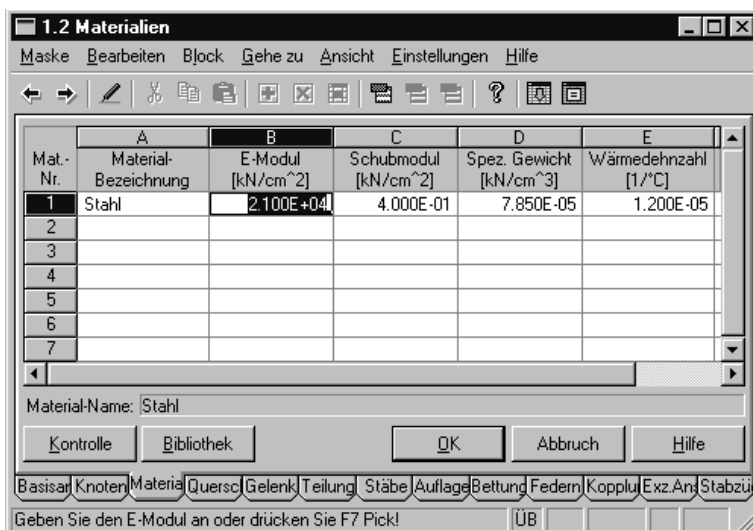


Bild 6 Beispiel 1 - Materialdaten

Querschnitts- und Stabdaten

1.3 Querschnitte

Maske Bearbeiten Block Gehe zu Ansicht Einstellungen Hilfe

Quer- Nr.	Querschnitt- zeichnung	Trägheitsmomente [cm ⁴]			Querschnittsflächen [cm ²]		
		I-1 Torsion	I-2 Biegung	I-3 Biegung	A-1 Gesamt	A-2 Schub	A-3 Schu
1	Hoesch LL		88.50		10.000		595.01
2							
3							
4							
5							
6							
7							

Querschnitt-Name: _____

Kontrolle Material Bibliothek OK Abbruch Hilfe

Basisan Knoten Material Quersch Gelenke Teilung Stäbe Auflage Bettung Federn Kopplur Exz. Ans Stabzug

Geben Sie das Torsionsträgheitsmoment I-1 ein oder drücken Sie F7 Pick! INS

Bild 7 Beispiel 1 - Querschnittsdaten

1.6 Stäbe

Maske Bearbeiten Block Gehe zu Ansicht Einstellungen Hilfe

Stab- Nr.	Stabtyp [F7 Pick]	Knoten		Drehung [°]	Querschnitt		Gelenk		Teil- Nr.	Länge [m]
		Anf.	Ende		Anf.	Ende	Anf.	Ende		
1	Balken	1	2	0.0	1	1	0	0	0	2.13
2	Balken	2	3	0.0	1	1	0	0	0	2.13
3	Balken	3	4	0.0	1	1	0	0	0	2.13
4	Balken	4	5	0.0	1	1	0	0	0	2.13
5										
6										
7										
8										

Kontrolle OK Abbruch Hilfe

Basisan Knoten Material Quersch Gelenke Teilung Stäbe Auflage Bettung Federn Kopplur Exz. Ans Stabzug

Wählen Sie den Stabtyp oder drücken Sie F7 Pick! ÜB

Bild 8 Beispiel 1 - Stabdaten

Nulla fere causa est, in qua non femina litem moverit.
Es gibt wohl keinen Streit, den nicht eine Frau begonnen hätte.

Auflagerdaten

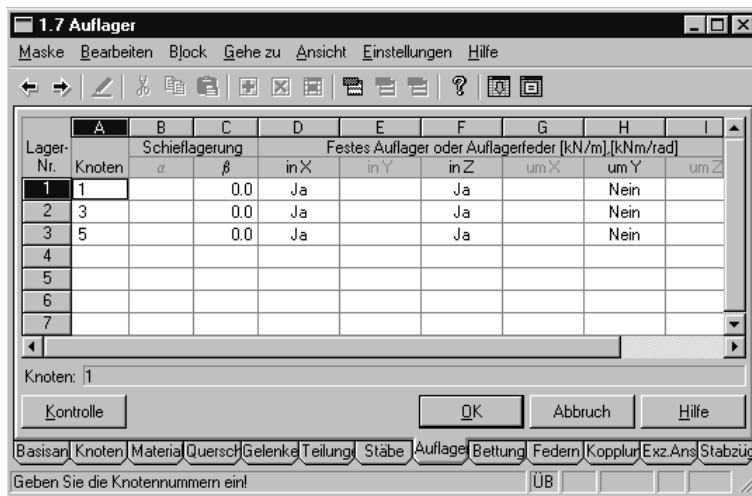


Bild 9 Beispiel 1 - Auflagerdaten

Cuiusvis hominis est errare, nullius nisi insipientis in errore perseverare
Jeder Mensch kann sich irren, aber nur der Tor wird auf seinem Irrtum bestehen.

Einwirkungsdaten

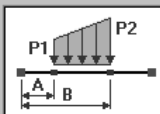
2.3 Stablasten

Maske Bearbeiten Block Gehe zu Ansicht Einstellungen Hilfe

LF1 - Winddruck

Nr.	Stäbe	Lasttyp		Belastungsparameter		
		Nr.	Richt.	P-1 [kN/m]	P-2 [kN/m]	A [m]
1	1-4	4	Z	0.500	0.500	0.000
2						

Stäbe: 1-4
Knoten: 1-2; 2-3; 3-4; 4-5
Min/Max-Länge: 2.135 ... 2.135 [m]
Richtung: Global in Z, Länge, gemessen in Projektion auf die XY-Ebene



Kontrolle OK Abbruch Hilfe

Basisangaben Knotenkräfte Knotenmomente Stablasten Zwangsverschieb Zwangsverdreh Imperfektionen

Geben Sie die Stabnummern ein! ÜB

Bild 10 Beispiel 1 - Gleichlast über gesamten Träger

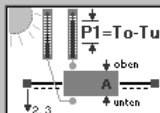
2.3 Stablasten

Maske Bearbeiten Block Gehe zu Ansicht Einstellungen Hilfe

LF4 - Temperatur, v

Nr.	Stäbe	Lasttyp		Belastungsparameter		
		Nr.	Richt.	P-1 [°C]	P-2	A [m]
1	1-4	5	3	-40.000		5.95000E-02
2						

Stäbe: 1-4
Knoten: 1-2; 2-3; 3-4; 4-5
Min/Max-Länge: 2.135 ... 2.135 [m]
Richtung: Lokal in 3



Kontrolle OK Abbruch Hilfe

Basisangaben Knotenkräfte Knotenmomente Stablasten Zwangsverschieb Zwangsverdreh Imperfektionen

Geben Sie die Stabnummern ein! ÜB

Bild 11 Beispiel 1 - Temperaturlasten über den gesamten Träger

Quid sit futurum cras, fuge quaerere
Was morgen sein wird, meide zu fragen!

2.1.1.1.2 Schnittgrößen, grafische Darstellung

In [1, 5.1.4] berechnete der Autor die Schnittgrößen mittels Kraftgrößenverfahren. Die grafische Darstellung der RSTAB-Schnittgrößenberechnung zeigt, dass die Biegemomente identisch mit den dort veröffentlichten Berechnungsergebnissen sind.

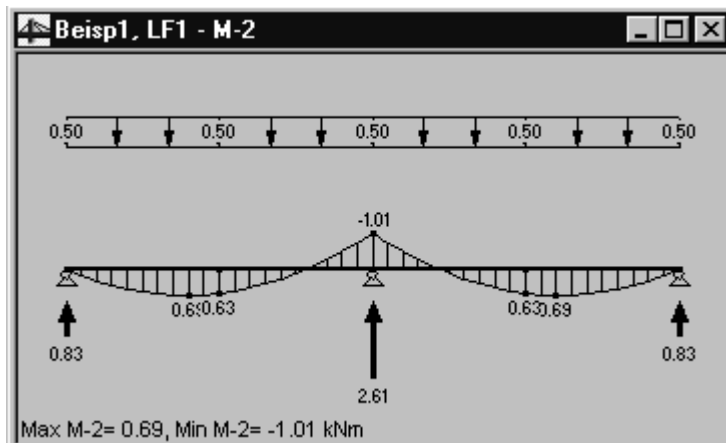


Bild 12 Beispiel 1 - Biegemomentenlinie infolge Winddruck

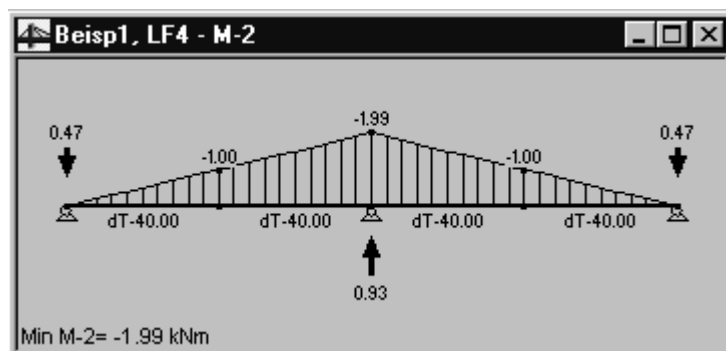


Bild 13 Beispiel 1 - Biegemomentenlinie infolge Temperatur Winter

Diem perdidi
Ich habe den Tag verloren.

Anzumerken bleibt, dass mit dem Programm RSTAB eine korrekte Berechnung unter Berücksichtigung der Schubverformungen nur erfolgt, wenn zwischen zwei Widerlagern mindestens ein Knotenpunkt angeordnet ist. Aus dem gleichen Grund müssen eventuell vorhandene Einzellasten an einem Knotenpunkt angeordnet sein und Gleichlasten dürfen auf Stäben keinen Lastsprung haben. Ein Hinweis in der ansonsten ausführlichen RSTAB-Dokumentation auf diese mögliche Fehlerquelle wäre wünschenswert.

Longum iter est per praecepta, breve et efficax per exempla
Lang ist der Weg durch Lehren, kurz und wirkungsvoll durch Beispiele.

Avaritia omnia vitia habet
Der Geiz ist die Wurzel allen Übels.

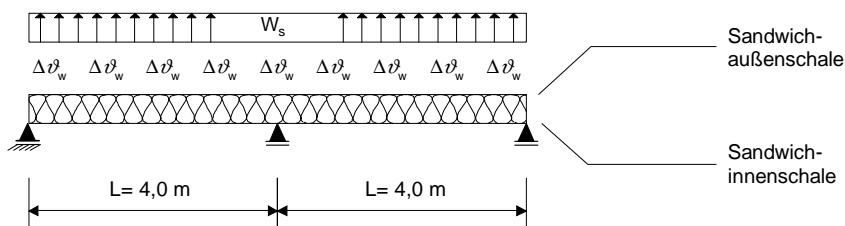
2.1.1.2 Beispiel 2 – Sandwichwand mit beidseitig quasi-ebenen Deckschichten, vgl. [3, 7.1]

Als zweites Beispiel wird eine Sandwichplatte, wie in Beispiel 1 mit linierten Deckschichten, aber mit einer Feldweite von $L = 4,00$ m gemäß Bild 14 berechnet.

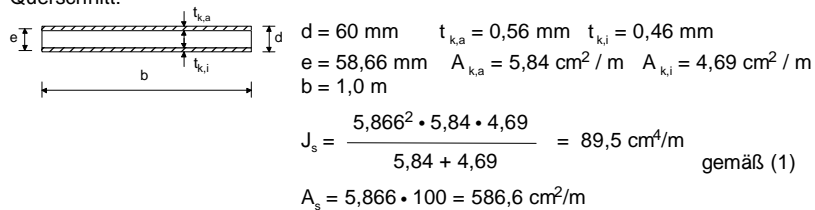
Die Beanspruchungen werden diesmal für die Einwirkungen Windsog und Temperatur Sommer ermittelt.

Einwirkungen: Windsog $w_s = 0,25$ kN/m²

Temperaturdifferenz, Sommer $\Delta t_w = t_{\text{außen}} - t_{\text{innen}} = 55^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = +30^\circ\text{C}$



Querschnitt:



Kernmaterial: $G_s = 3,1$ N/mm²

Bild 14 Berechnungsbeispiel 2

Quicumque turpi fraude semel innotuit, etiamsi verum dicit, amittit fidem
Wer einmal durch schändlichen Betrug bekannt wurde, der verliert seine Glaubwürdigkeit.

2.1.1.2.1 Struktur- und Einwirkungsdaten

Knoten- und Materialdaten

Knot.-Nr.	A Koord.-system [K/X/Y/Z/P]	B Bezugs- Knoten	Knotenkoordinaten			Kompl.
			C X [m]	D Y [m]	E Z [m]	
1	Kartesisch	0	0.000	0.000	0.000	Gelac
2	Kartesisch	0	2.000	0.000	0.000	
3	Kartesisch	0	4.000	0.000	0.000	Gelac
4	Kartesisch	0	6.000	0.000	0.000	
5	Kartesisch	0	8.000	0.000	0.000	Gelac
6						
7						
8						

Bild 15 Beispiel 2 - Knotenkoordinaten

Mat.-Nr.	A Material- Bezeichnung	B E-Modul [kN/cm ²]	C Schubmodul [kN/cm ²]	D Spez. Gewicht [kN/cm ³]	E Wärmedehnzahl [1/°C]
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Material-Name: CCahl

Wählen Sie eine Materialbezeichnung oder drücken Sie F7 Pick!

Bild 16 Beispiel 2 - Materialdaten

Querschnitts- und Stabdaten

1.3 Querschnitte

Masken Bearbeiten Block Gehe zu Ansicht Einstellungen Hilfe

Quer.-Nr.	Querschnittszeichnung	Trägheitsmomente [cm ⁴]			Querschnittsflächen [cm ²]		
		I-1 Torsion	I-2 Biegung	I-3 Biegung	A-1 Gesamt	A-2 Schub	A-3 Schutz
1	Bier58		89.50		10.530		586.60
2							
3							
4							
5							
6							
7							

Querschnitt-Name: _____

Kontrolle Material Bibliothek OK Abbruch Hilfe

Basisan Knoten Material Quersch Gelenke Teilung Stäbe Auflage Bettung Federn Kopplun Exz. Ans Stabzüg

Geben Sie das Torsionsträgheitsmoment I-1 ein oder drücken Sie F7 Pick! ÜB

Bild 17 Beispiel 2 - Querschnittsdaten

1.6 Stäbe

Masken Bearbeiten Block Gehe zu Ansicht Einstellungen Hilfe

Stab-Nr.	Stabtyp [F7 Pick]	Knoten		Drehung [°]	Querschnitt		Gelenk		Teil-Nr.	Länge [m]
		Anf.	Ende		Anf.	Ende	Anf.	Ende		
1	Balken	1	2	0.0	1	1	0	0	0	2.00
2	Balken	2	3	0.0	1	1	0	0	0	2.00
3	Balken	3	4	0.0	1	1	0	0	0	2.00
4	Balken	4	5	0.0	1	1	0	0	0	2.00
5										
6										
7										
8										

Kontrolle OK Abbruch Hilfe

Basisan Knoten Material Quersch Gelenke Teilung Stäbe Auflage Bettung Federn Kopplun Exz. Ans Stabzüg

Wählen Sie den Stabtyp oder drücken Sie F7 Pick! ÜB

Bild 18 Beispiel 2 - Stabdaten

Auflagerdaten

Lager-Nr.	A Knoten	B Schieflagerung		C Festes Auflager oder Auflagerfeder [kN/m],[kNm/rad]					
		α	β	D in X	E in Y	F in Z	G um X	H um Y	I um Z
1	1		0.0	Ja		Ja		Nein	
2	3		0.0	Ja		Ja		Nein	
3	5		0.0	Ja		Ja		Nein	
4									
5									
6									
7									

Knoten: 1

Kontrolle OK Abbruch Hilfe

Basisan Knoten Material Quersch Gelenke Teilung Stäbe Auflager Bettung Federn Kopplun Exz.Ans Stabzüg

Geben Sie die Knotennummern ein! ÜB

Bild 19 Beispiel 2 - Auflagerdaten

Amicus certus in re incerta cernitur

Den wahren Freund erkennt man in der Not.

Beatus ille, qui procul negotiis

Glücklich ist jener, der fern von Geschäften ist.

Einwirkungsdaten



Bild 20 Beispiel 2 - Gleichlast über gesamten Träger

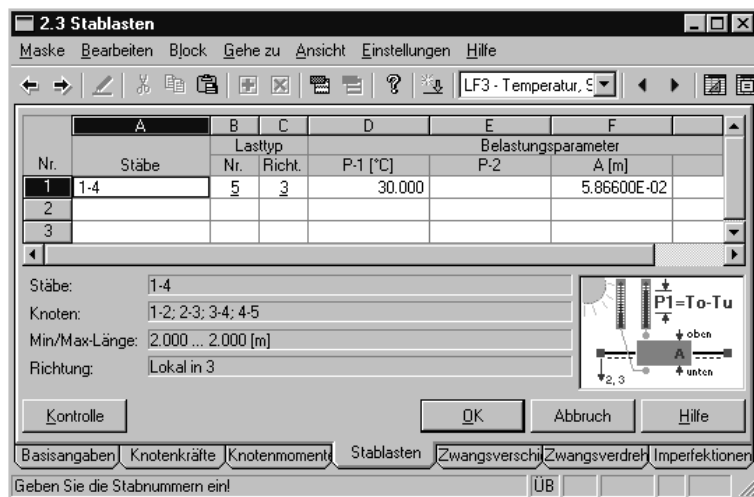
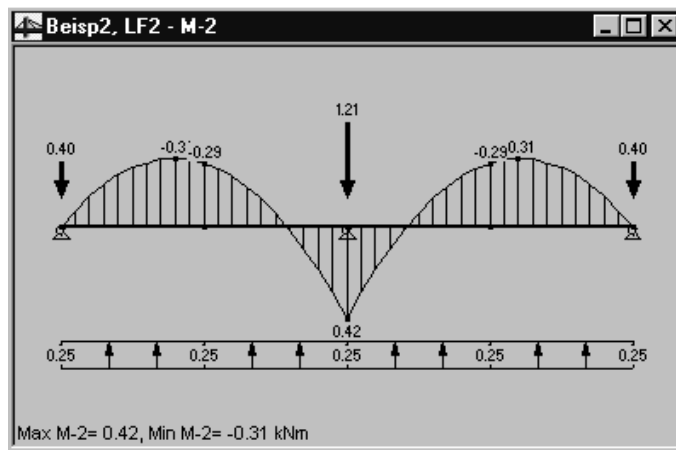


Bild 21 Beispiel 2 - Temperaturlasten über den gesamten Träger

Qui tacet, consentire videtur
Wer schweigt, scheint zuzustimmen.

2.1.1.2.2 Schnittgrößen, grafische Darstellung

Wiederum zeigt die grafische Darstellung der RSTAB-Schnittgrößenberechnung eine genaue Übereinstimmung mit den in [3, 7.1] aufgeführten Berechnungsergebnissen, wobei der Autor dort die Schnittgrößen mit dem Differenzenverfahren ermittelte.



O tempora, o mores!
O Zeiten, o Sitten!

Bild 22 Beispiel 2 - Biegemomentenlinie infolge Windsog

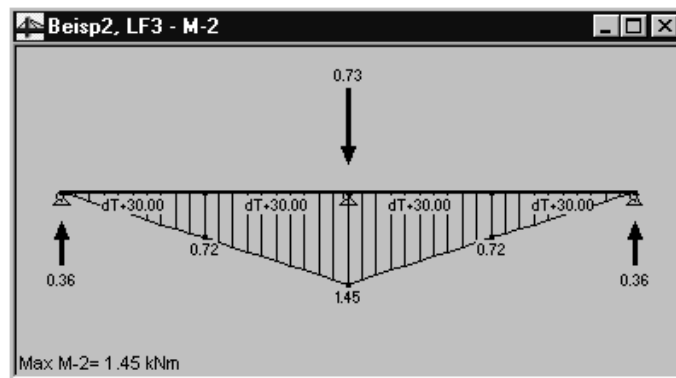
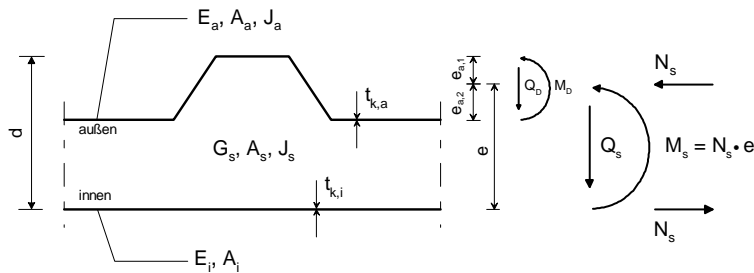


Bild 23 Beispiel 2 - Biegemomentenlinie infolge Temperatur Sommer

2.2 Sandwichelement mit einer trapezprofilierten und einer quasi-ebenen Deckschicht

Die Beanspruchungen müssen im Gegensatz zu Abschnitt 2.1 unter Berücksichtigung der Eigenbiegesteifigkeit der trapezprofilierten Deckschicht ermittelt werden. Hierbei wird das Sandwichmoment noch um das Deckschichtmoment ergänzt. Bild 24 zeigt ein solches Sandwichelement mit den wesentlichen Querschnittsabmessungen und Schnittgrößen.



d, e : Bauteildicke und Schwerpunktabstand der Deckschalen

$e_{a,1}, e_{a,2}$: Randfaserabstände der trapezprofilierten Deckschale

$t_{k,a} = t_{N,a}$ - Zinkauflage : Kernblechdicke der äußeren Deckschale

$t_{k,i} = t_{N,i}$ - Zinkauflage : Kernblechdicke der inneren Deckschale

$t_{N,a}, t_{N,i}$: Nennblechdicke der äußeren bzw. inneren Deckschale

E_a, A_a, J_a : E-Modul, Fläche und Trägheitsmoment
 der äußeren Deckschicht

E_i, A_i : E-Modul und Fläche der inneren Deckschicht

G_s, A_s : Schubmodul und Fläche der Kernschicht

J_s : Verbundträgheitsmoment

Ad se atque suos mores redire
Zu sich und seinen Sitten zurückkehren.

Q_D : Querkraft in der trapezprofilierten Deckschale

M_D : Biegemoment in der trapezprofilierten Deckschicht
 (Deckschichtmoment)

Q_s : Querkraft im Kern

M_s : Biegemoment im Verbundquerschnitt (Sandwichmoment)

N_s : Normalkraft infolge Biegung

Bild 24 Element mit trapezprofilierter Außenschale und quasi-ebener Innenschale

Zur Ermittlung des Trägheitsmomentes J_a und der Fläche A_a der trapezprofilierten Deckschicht kann der Bruttoquerschnitt angesetzt werden. Ein Ausfall von druckbeanspruchten Teilflächen ist aufgrund der kontinuierlichen Bettung durch das Kernmaterial nicht zu befürchten.

Falls J_a , A_a , $e_{a,1}$ und $e_{a,2}$ nicht vorgegeben sind, wird als Hilfsmittel zur Berechnung der Kennwerte in den nachfolgenden Beispielen das EDV-Programm MIFLA eingesetzt. Hier handelt es sich um ein einfaches Programm zur Ermittlung von Querschnittswerten für offene, dünnwandige Bauteile. Die Berechnung erfolgt in Anlehnung der „Bornscheuer-Systematik“ über die Mittellinie. Weitere Informationen über das Programm MIFLA können meiner Homepage entnommen werden.

Für den Verbundquerschnitt kann vereinfachend ein über den Schwerpunktabstand der Deckschichten gemittelttes Rechteck angenommen werden. Die Berechnung des Trägheitsmomentes J_s und der Fläche A_s erfolgt dann nach Gleichung (1).

Bei der Aufteilung der Beanspruchung in einem Deckschicht- und in einem Sandwichteil handelt es sich um ein mehrdimensionales Problem. Das Verhältnis ist sowohl abhängig von der Biege- und Schubsteifigkeit als auch vom statischen System. Genaue Informationen hierzu können in [5] eingeholt werden.

Experto credite

Glaubt es (jemandem), der es ausprobiert hat!

Aufgrund der Eigenbiegesteifigkeit der trapezprofilierten Deckschicht ist ein einfacher Biegeträger zur Systemidealisation nicht mehr ausreichend. Zur Berücksichtigung der biegesteifen Deckschicht wird ein weiterer, diesmal schubstarrer Biegeträger hinzugezogen. Dieser wird über so genannte Scherengelenke mit dem schubverformbaren Biegeträger, der den Verbund- bzw. Sandwichquerschnitt idealisiert, verbunden. Scherengelenke kommen häufig bei Trägerkreuzungen zum Einsatz, in der Regel schließen vier Stäbe an einen Knoten an (Bild 25).

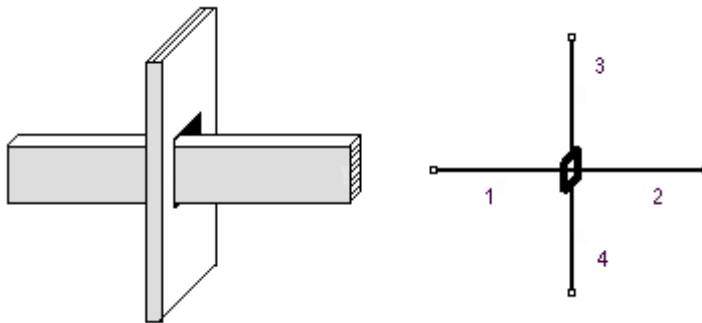


Bild 25 Scherengelenk

Beide Stabzüge laufen biegesteif durch, wobei der eine Stab in den Kreuzungspunkten mit dem anderen Stab über Scherengelenke verbunden ist (Bild 26). Im Kreuzungspunkt werden Normal- und Querkkräfte, aber keine Momente übertragen.

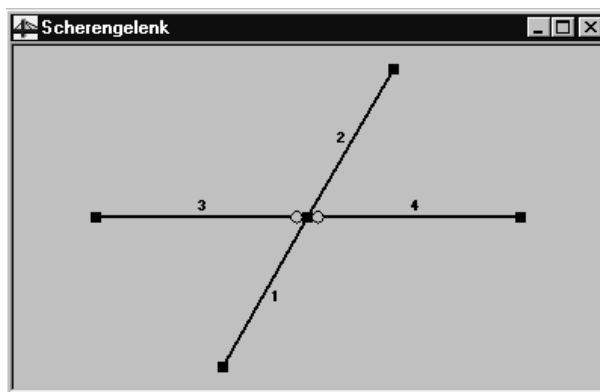


Bild 26 Scherengelenk, RSTAB-Systemidealisation

Wendet man einen Trick an und wählt für die trapezprofilerte Deckschicht und für den Verbundquerschnitt zwei Stabzüge mit identischen Knotenkoordinaten, ist ein trapezprofiliertes Sandwichenelement ausreichend idealisiert (Bild 27). Die Genauigkeit der Rechnung ist von dem Abstand der Knotenpunkte abhängig. In den nachfolgenden Beispielen wird ein Knotenabstand von $e \leq 0,1\text{m}$ gewählt.

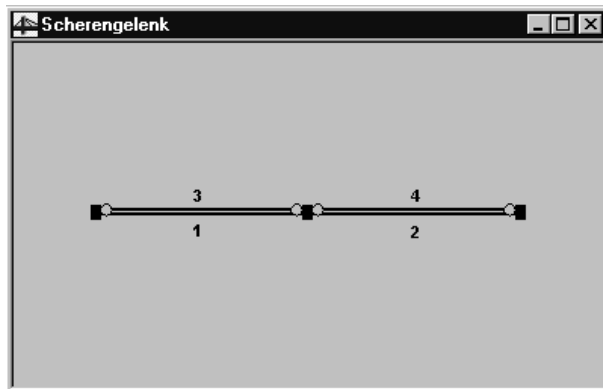


Bild 27 trapezprofiliertes Sandwichenelement - zwei identische Stabzüge, entzerrt dargestellt

Verfügt das eingesetzte Stabwerkprogramm nicht über die Möglichkeit der Scherengelenkdefinition, kann man den Sachverhalt mittels zusätzlicher Pendelstäbe simulieren (Bild 28). Werden die Normalkraftverformungen der Pendelstäbe mit ausreichend großen Flächenangaben bei den Strukturdaten ausgeschlossen, sind die Berechnungsergebnisse beider Systemidealisationen identisch.

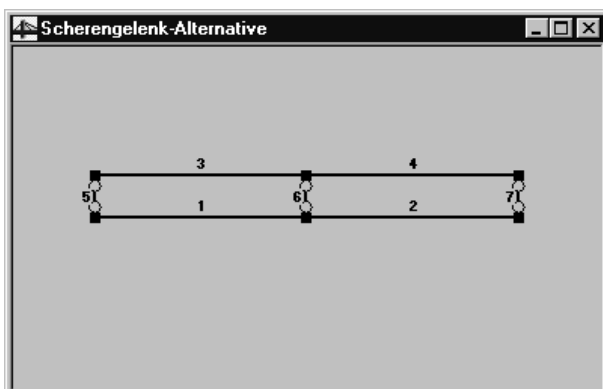


Bild 28 Scherengelenk-Alternative mit Pendelstäben

Kann das Stabwerkprogramm keine Schubverformungen berücksichtigen, besteht die Möglichkeit, das Sandwichelement durch einen Fachwerkträger zu simulieren. Ober- und Untergurt idealisieren die Deckschichten, die Füllstäbe berücksichtigen die Schubsteifigkeit S des Sandwichelementes (Bild 29).

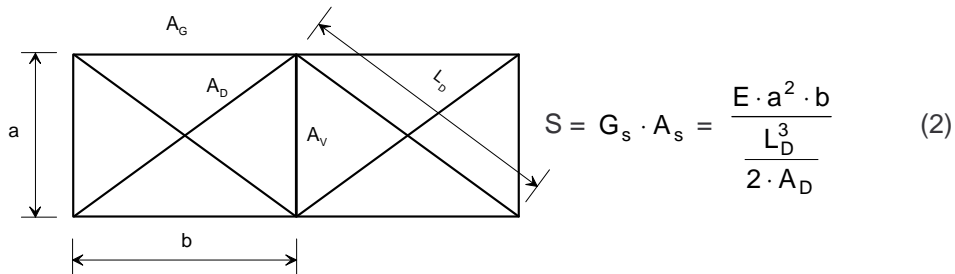


Bild 29 Sandwichelementidealisation mittels Fachwerkträger

Löst man (2) nach A_D auf, so ergibt sich für die Flächen der Diagonalen

$$A_D = \frac{L_D^3}{2 \cdot \frac{E \cdot a^2 \cdot b}{G_s \cdot A_s}} \quad (3)$$

Die Systemidealisation mittels Fachwerkträger kommt den tatsächlichen Gegebenheiten näher als die zuvor beschriebenen Strukturannahmen, bedeutet aber aufgrund der vielen Füllstäbe einen erheblichen Mehraufwand an Systemeingaben, Rechenleistung und Auswertung der Berechnungsergebnisse. Ein entsprechendes Beispiel kann kostenlos via e-Mail formlos bei mir angefordert werden.

Das „Fachwerkträgersystem“ kann übrigens gleichermaßen auch bei Schnittgrößenberechnungen für Sandwichbauteile mit beidseitig quasi-ebenen Deckschichten angewendet werden.

Deforme est de se ipsum praedicare
Schändlich ist es, sich selbst zu rühmen.

2.2.1 Berechnungsbeispiele zur Ermittlung der Beanspruchungen

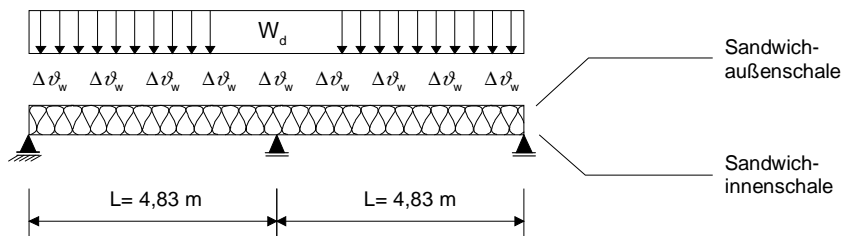
2.2.1.1 Beispiel 3 – Sandwichwand mit einer trapezprofilierten äußeren- und einer quasi-ebenen inneren Deckschicht, vgl. [1, 5.2.4]

Als Zahlenbeispiel wird eine zweifeldrige Sandwichwand mit einer trapezprofilierten, außenliegenden Deckschicht und einer linierten, innenliegenden Deckschicht gemäß Bild 30 herangezogen. Die Querschnittswerte $A_{k,a}$, $A_{k,i}$, J_a sowie der Schwerpunktabstand e der Deckschichten sind dem Beispiel in [1,5.2.4] entnommen. Der Schubmodul ist aus der Angabe der Schubsteifigkeit ermittelt worden.

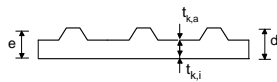
Abgeleitet aus Gleichung (2) ergibt sich $G_s = \frac{S}{A_s}$ (4)

Einwirkungen: Winddruck $w_d = 0,50 \text{ kN/m}^2$

Temperaturdifferenz, Winter $\Delta\vartheta_w = \vartheta_{\text{außen}} - \vartheta_{\text{innen}} = -20^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = -40^\circ\text{C}$



Querschnitt:



$$d = 66 \text{ mm} \quad t_{k,a} = 0,71 \text{ mm} \quad t_{k,i} = 0,51 \text{ mm}$$

$$e = 53,3 \text{ mm} \quad A_{k,a} = 8,45 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad A_{k,i} = 0,051 \cdot 100 = 5,1 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$b = 1,0 \text{ m} \quad J_a = 17,27 \text{ cm}^4 / \text{m}$$

$$J_s = \frac{5,33^2 \cdot 8,45 + 5,10}{8,45 + 5,10} = 90,35 \text{ cm}^4 / \text{m} \quad \text{gemäß (1)}$$

$$A_s = 5,33 \cdot 100 = 533 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$\text{Kernmaterial: } G_s = \frac{207,4 \cdot 10^3}{533,0 \cdot 10^2} = 3,89 \text{ N/mm}^2 \quad \text{gemäß (4)}$$

Bild 30 Berechnungsbeispiel 3

2.2.1.1.1 Struktur- und Einwirkungsdaten

Knotendaten

Knot.-Nr.	Koord.-system [K/X/Y/Z/P]	Bezugs-Knoten	Knotenkoordinaten			Komr
			X [m]	Y [m]	Z [m]	
1	Kartesisch	0	0.000	0.000	0.000	Gelag
2	Kartesisch	0	0.097	0.000	0.000	
3	Kartesisch	0	0.194	0.000	0.000	
4	Kartesisch	0	0.291	0.000	0.000	
5	Kartesisch	0	0.388	0.000	0.000	
6	Kartesisch	0	0.485	0.000	0.000	
7	Kartesisch	0	0.582	0.000	0.000	
8	Kartesisch	0	0.679	0.000	0.000	

Bild 31 Beispiel 3 - Knotenkoordinaten

Um eine hohe Berechnungsgenauigkeit zu erzielen, ist nur ein Knotenpunkt in Feldmitte, wie bei Elementen mit quasi-ebenen Deckschichten, nicht mehr ausreichend. Insbesondere im Auflagerbereich sollte der Knotenabstand nicht größer als 0,1 m sein.

Der Einfachheit halber wird für dieses Beispiel eine über die gesamte Feldlänge gleichmäßige Stabteilung gewählt. Bei 50 Teilungen ergibt sich daraus ein Knotenabstand von 0,097 m je Feld. Aus Platzgründen werden in Bild 31 nur die ersten Knotenkoordinaten dargestellt. Gleiches gilt für alle Stabdatenansichten.

Crescentem sequitur cura pecuniam
 Dem wachsenden Geld folgt die Sorge.

Material- und Querschnittsdaten

1.2 Materialien

Maske Bearbeiten Block Gehe zu Ansicht Einstellungen Hilfe

← → ↗ ✂ 📄 📁 📧 📧 📧 ? 🖨 🖨

Mat. Nr.	A Material-Bezeichnung	B E-Modul [kN/cm ²]	C Schubmodul [kN/cm ²]	D Spez. Gewicht [kN/cm ³]	E Wärmedehnzahl [1/°C]
1	Stahl	2.100E+04	3.891E-01	7.850E-05	1.200E-05
2					
3					
4					
5					
6					
7					

Material-Name: Stahl

Kontrolle Bibliothek OK Abbruch Hilfe

Basisanl Knoten Material Quersch Gelenk Teilung Stäbe Auflage Bettung Federn Kopplun Exz.Ans Stabzü

Wählen Sie eine Materialbezeichnung oder drücken Sie F7 Pick! ÜB

Bild 32 Beispiel 3 - Materialdaten

1.3 Querschnitte

Maske Bearbeiten Block Gehe zu Ansicht Einstellungen Hilfe

← → ↗ ✂ 📄 📁 📧 📧 📧 ? 🖨 🖨 IPE HE-A HE-B HE-M GPO PRO RO

Quer. Nr.	B Querschnitt-Bezeichnung	C D E Trägheitsmomente [cm ⁴]			F G H Querschnittsflächen [cm ²]		
		I-1 Torsion	I-2 Biegung	I-3 Biegung	A-1 Gesamt	A-2 Schub	A-3 Schu
1	Biegeträger		17.27		8.450		0.0
2	Verbundquersch		90.35		5.100		533.0
3							
4							
5							
6							
7							

Querschnitt-Name: Biegeträger

Kontrolle Material Bibliothek OK Abbruch Hilfe

Basisanl Knoten Material Quersch Gelenk Teilung Stäbe Auflage Bettung Federn Kopplun Exz.Ans Stabzü

Geben Sie das Torsionsträgheitsmoment I-1 ein oder drücken Sie F7 Pick! INS

Bild 33 Beispiel 3 - Querschnittsdaten

Stabendgelenke

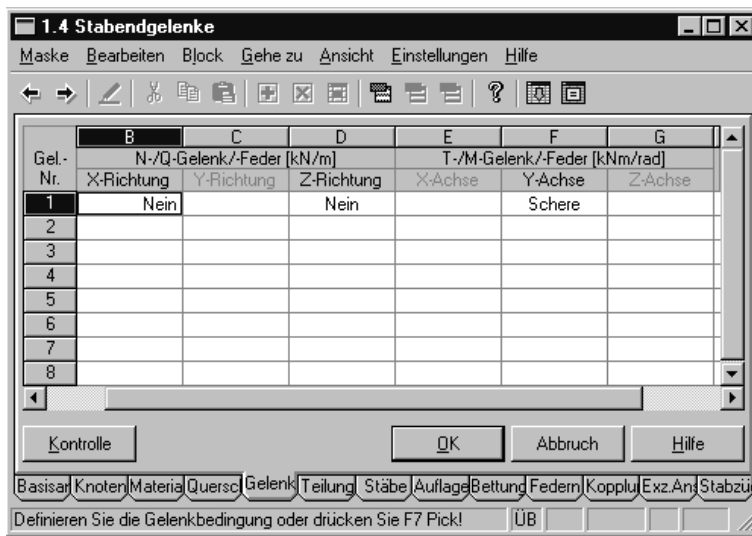


Bild 34 Beispiel 3 - Stabendgelenke

Homines, cum docent, discunt
Die Menschen lernen beim Lehren.

Stabdaten

Aus dem gewählten Knotenabstand ergeben sich für den Biegeträger (Deckschicht) und Verbundquerschnitt (Sandwichquerschnitt) jeweils 100 Stäbe. Zu beachten ist, dass an den Stabenden die Biegeträgerstäbe ein Scherengelenk und die Verbundquerschnittstäbe eine biegesteife Verbindung aufweisen!

Stab-Nr.	Stabtyp [F7 Pick]	Knoten		Drehung [°]	Querschnitt		Gelenk		Teil-Nr.	Länge [m]
		Anf.	Ende		Anf.	Ende	Anf.	Ende		
1	Stäben	1	2	0.0	1	1	1	1	0	0.097
2	Stäben	2	3	0.0	1	1	1	1	0	0.097
3	Stäben	3	4	0.0	1	1	1	1	0	0.097
4	Stäben	4	5	0.0	1	1	1	1	0	0.097
5	Stäben	5	6	0.0	1	1	1	1	0	0.097
6	Stäben	6	7	0.0	1	1	1	1	0	0.097
7	Stäben	7	8	0.0	1	1	1	1	0	0.097
8	Stäben	8	9	0.0	1	1	1	1	0	0.097

Bild 35 Beispiel 3 - Stabdaten: Stäbe 1-100 (Biegeträger)

Stab-Nr.	Stabtyp [F7 Pick]	Knoten		Drehung [°]	Querschnitt		Gelenk		Teil-Nr.	Länge [m]
		Anf.	Ende		Anf.	Ende	Anf.	Ende		
111	Stäben	1	2	0.0	2	2	0	0	0	0.097
112	Stäben	2	3	0.0	2	2	0	0	0	0.097
113	Stäben	3	4	0.0	2	2	0	0	0	0.097
114	Stäben	4	5	0.0	2	2	0	0	0	0.097
115	Stäben	5	6	0.0	2	2	0	0	0	0.097
116	Stäben	6	7	0.0	2	2	0	0	0	0.097
117	Stäben	7	8	0.0	2	2	0	0	0	0.097
118	Stäben	8	9	0.0	2	2	0	0	0	0.097

Summum ius, summa iniuria.

Das höchste Recht ist
höchstes Unrecht

Bild 36 Beispiel 3 - Stabdaten: Stäbe 111-210 (Verbundquerschnitt)

Auflagerdaten

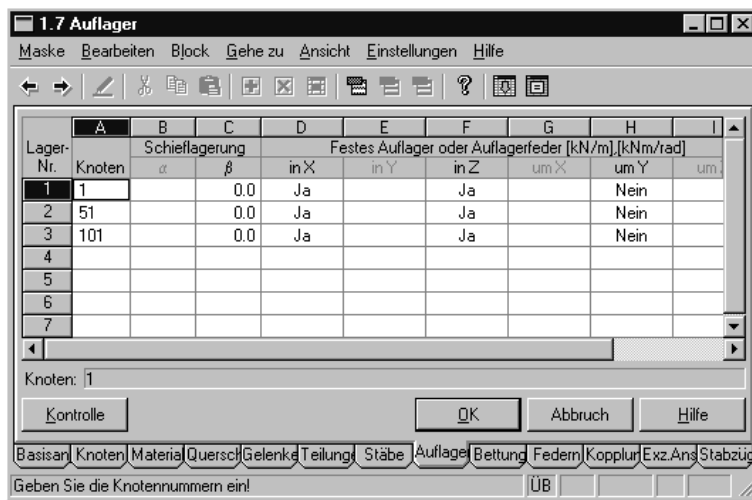


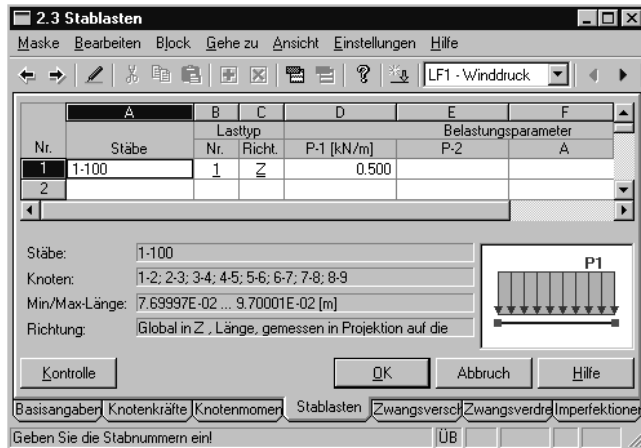
Bild 37 Beispiel 3 - Auflagerdaten

Beneficium senectutis

Wohltat des Alters. Auch das Alter hat seine guten Seiten.

Einwirkungsdaten

Die Windlasten können sowohl auf den Biegeträger als auch auf den Verbundquerschnitt gesetzt werden, die daraus resultierenden Berechnungsergebnisse sind identisch. Um ein korrektes Ergebnis zu erzielen, müssen jedoch die Temperaturlasten auf jeden Fall auf den Verbundquerschnitt gesetzt werden!



Rem tene, verba sequentur!

Halte die Sache fest, die Worte werden sich dann schon einstellen!

Bild 38 Beispiel 3 - Gleichlast über gesamten Biegeträger

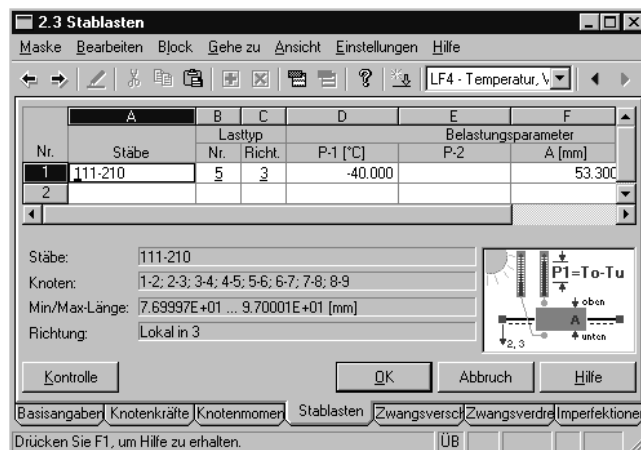
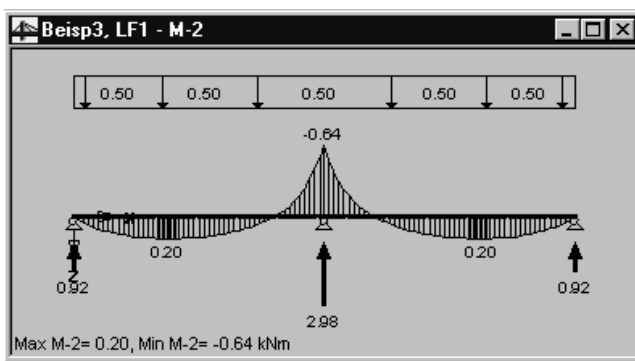


Bild 39 Beispiel 3 - Temperaturlast über gesamten Verbundträger

2.2.1.1.2 Schnittgrößen, grafische Darstellung

Dargestellt wird in Bild 40 die Momentenbeanspruchung des Biegeträgers und in Bild 41 die Beanspruchung des Verbundquerschnittes für den Einwirkung Winddruck. Auch diesmal zeigt die grafische Darstellung der RSTAB-Schnittgrößenberechnung eine genaue Übereinstimmung mit den in [1,5.2.4] aufgeführten Berechnungsergebnissen.

Charakteristisch für den Momentenverlauf beim Verbundquerschnitt ist die abgeflachte Momentenlinie im Bereich der Zwischenunterstützung infolge des Querkraftnullpunktes, es liegt im Verbundträger kein Querkraftsprung vor, sondern ausschließlich im Biegeträger. Die Genauigkeit des Momentenverlaufes ist übrigens direkt vom gewählten Knotenabstand abhängig ist.



**Et semel emissum
volat irrevocabile
verbum.**

*Und wenn es einmal
ausgesprochen ist, so fliegt
unwiderruflich das Wort hin*

Bild 40 Beispiel 3 - Biegemomentenlinie infolge Winddruck, Biegeträger

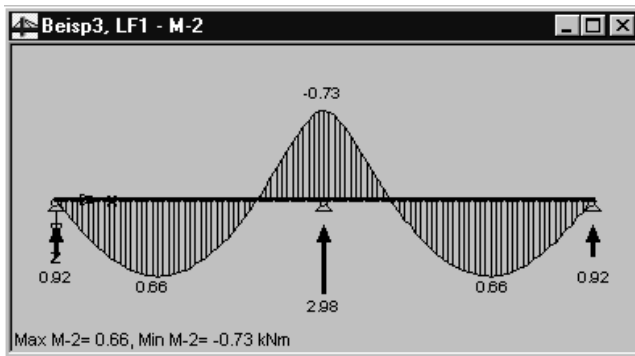


Bild 41 Beispiel 3 - Biegemomentenlinie infolge Winddruck, Verbundträger

In Bild 42 und in Bild 43 werden die Beanspruchungen des Biegeträgers und des Verbundquerschnittes infolge Temperatur Winter dargestellt. Auch hier zeigt sich eine genaue Übereinstimmung mit den in [1,5.2.4] ermittelten Berechnungsergebnissen.

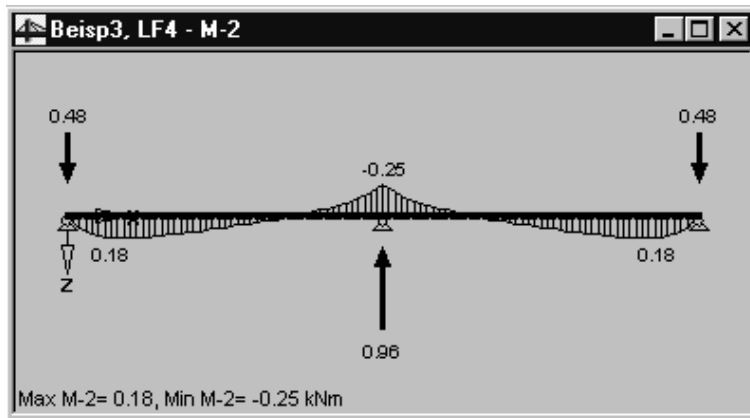


Bild 42 Beispiel 3 - Biegemomentenlinie infolge Temperatur, Biegeträger

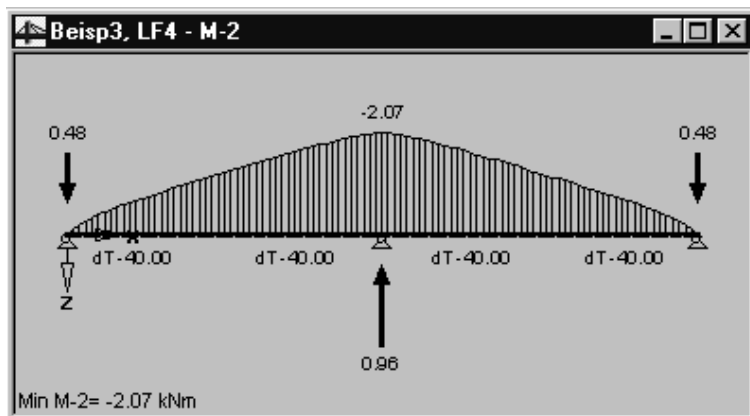


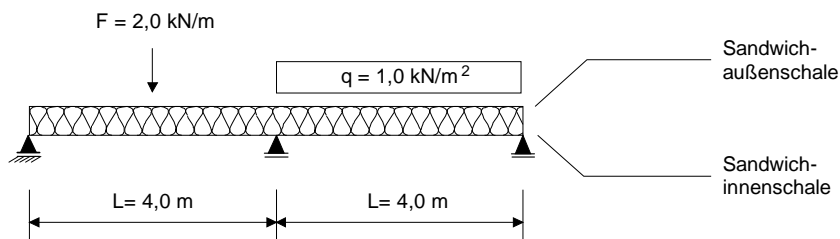
Bild 43 Beispiel 3 - Biegemomentenlinie infolge Temperatur, Verbundträger

2.2.1.2 Beispiel 4 – Sandwichprofil mit einer trapezprofilierten äußeren und einer quasi-ebenen inneren Deckschicht, vgl. [2, 7]

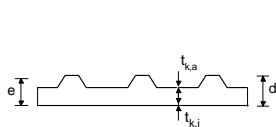
Einzel- bzw. beliebige Trapezlasten können ebenfalls problemlos ohne Mehraufwand berücksichtigt werden. Zur Verdeutlichung soll nachfolgendes Beispiel aus [2] dienen.

Das hierbei eingesetzte Sandwichelement ist übrigens identisch mit dem Profil des vorhergehenden Beispiels, die Daten können übernommen werden.

Statisches System und Einwirkungen:



Querschnitt:



$$d = 66 \text{ mm} \quad t_{k,a} = 0,71 \text{ mm} \quad t_{k,i} = 0,51 \text{ mm}$$

$$e = 53,3 \text{ mm} \quad A_{k,a} = 8,45 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad A_{k,i} = 0,051 \cdot 100 = 5,1 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$b = 1,0 \text{ m} \quad J_a = 17,27 \text{ cm}^4 / \text{m}$$

$$J_s = \frac{5,33^2 \cdot 8,45 \cdot 5,10}{8,45 + 5,10} = 90,35 \text{ cm}^4 / \text{m} \quad \text{gemäß (1)}$$

$$A_s = 5,33 \cdot 100 = 533 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$\text{Kernmaterial: } G_s = \frac{207,4 \cdot 10^3}{533,0 \cdot 10^2} = 3,89 \text{ N/mm}^2 \quad \text{gemäß (4)}$$

Bild 44 Berechnungsbeispiel 4

Male parta male dilabuntur
Was schlecht errungen ist, geht schlecht aus.

2.2.1.2.1 Struktur- und Einwirkungsdaten

Knoten- und Materialdaten

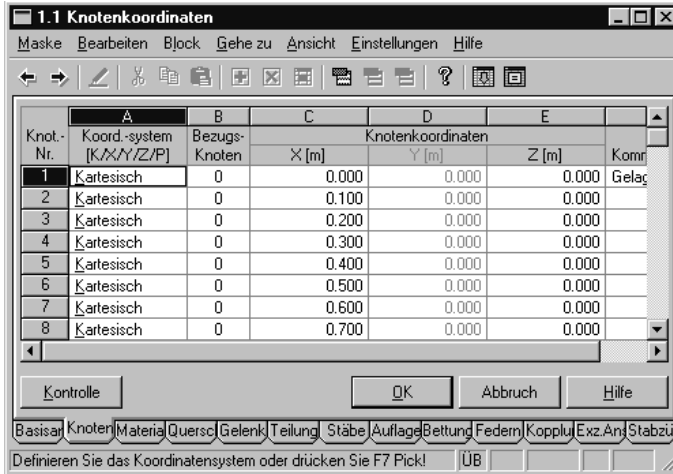


Bild 45 Beispiel 4 - Knotenkoordinaten

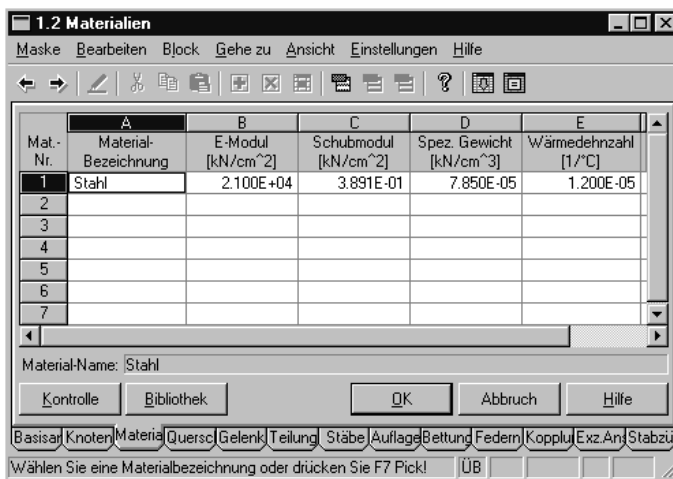


Bild 46 Beispiel 4 - Materialdaten

Querschnitts- und Stabendgelenkdaten

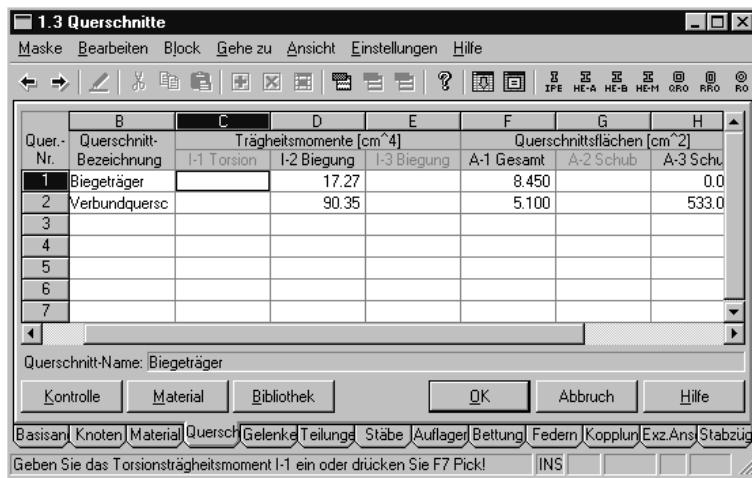


Bild 47 Beispiel 4 - Querschnittsdaten

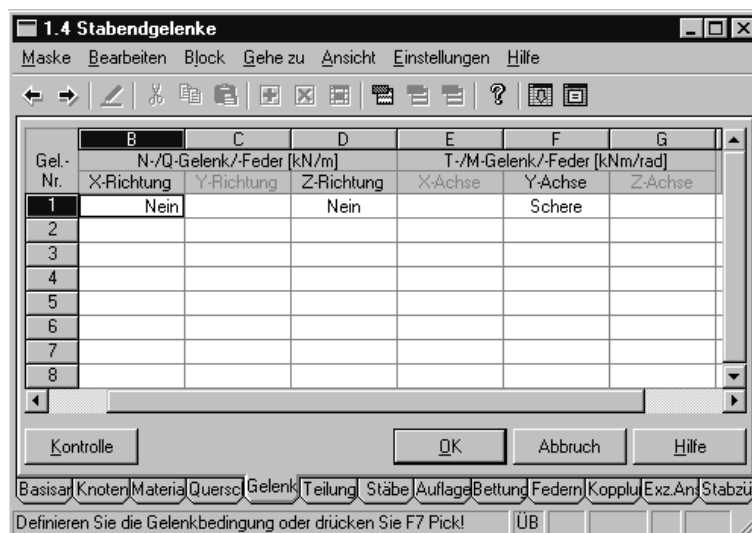


Bild 48 Beispiel 4 - Stabendgelenke

Stabdaten

Aus dem gewählten Knotenabstand ergeben sich für den Biegeträger und Verbundquerschnitt jeweils 80 Stäbe. Wie auch in Beispiel 3 ist zu beachten, dass an den Stabenden die Biegeträgerstäbe ein Scherengelenk und die Verbundquerschnittstäbe eine biegesteife Verbindung aufweisen!

Stab-Nr.	Stabtyp [F7 Pick]	Knoten		Drehung [°]	Querschnitt		Gelenk		Teil-Nr.	Länge [m]
		Anf.	Ende		Anf.	Ende	Anf.	Ende		
1	alken	1	2	0.0	1	1	1	1	0	0.100
2	alken	2	3	0.0	1	1	1	1	0	0.100
3	alken	3	4	0.0	1	1	1	1	0	0.100
4	alken	4	5	0.0	1	1	1	1	0	0.100
5	alken	5	6	0.0	1	1	1	1	0	0.100
6	alken	6	7	0.0	1	1	1	1	0	0.100
7	alken	7	8	0.0	1	1	1	1	0	0.100
8	alken	8	9	0.0	1	1	1	1	0	0.100

Bild 49 Beispiel 4 - Stabdaten: Stäbe 1-80 (Biegeträger)

Stab-Nr.	Stabtyp [F7 Pick]	Knoten		Drehung [°]	Querschnitt		Gelenk		Teil-Nr.	Länge [m]
		Anf.	Ende		Anf.	Ende	Anf.	Ende		
91	alken	1	2	0.0	2	2	0	0	0	0.100
92	alken	2	3	0.0	2	2	0	0	0	0.100
93	alken	3	4	0.0	2	2	0	0	0	0.100
94	alken	4	5	0.0	2	2	0	0	0	0.100
95	alken	5	6	0.0	2	2	0	0	0	0.100
96	alken	6	7	0.0	2	2	0	0	0	0.100
97	alken	7	8	0.0	2	2	0	0	0	0.100
98	alken	8	9	0.0	2	2	0	0	0	0.100

Bild 50 Beispiel 4 - Stabdaten: Stäbe 91-170 (Verbundquerschnitt)

Auflagerdaten

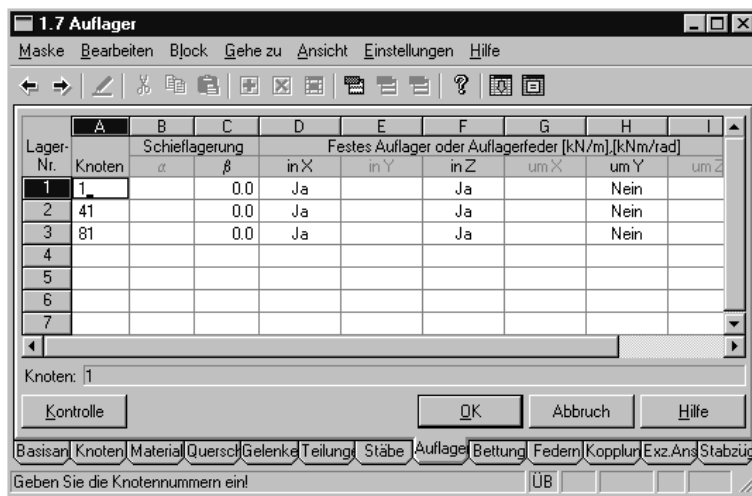
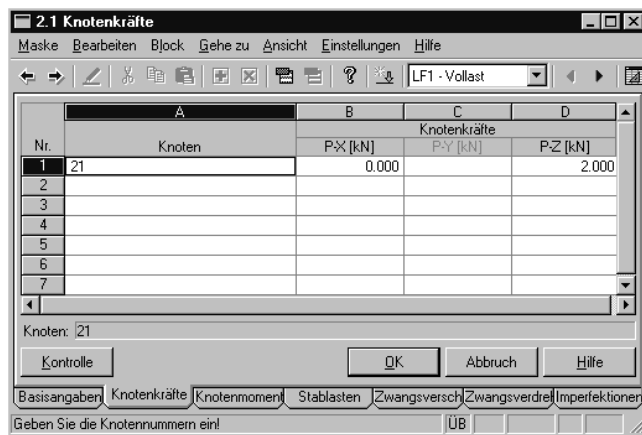


Bild 51 Beispiel 4 - Auflagerdaten

Cucullus non facit monachum
Die Kutte macht nicht den Mönch.

Einwirkungsdaten

Die Gleichlast kann als Stablast auf den Biegeträger oder auf den Verbundquerschnitt gesetzt werden, weitere Angaben hierzu siehe Beispiel 3. Da der Angriffspunkt der Einzellast mit einem Knotenpunkt zusammenfällt, gilt dies ebenso für die Einzellast. Ansonsten empfiehlt sich, Einzellasten als Knotenlast einzugeben, siehe Anmerkung Seite 20.



Ab ovo
vom Ei an
[von Anfang an]

Bild 52 Beispiel 4 - Einzellast

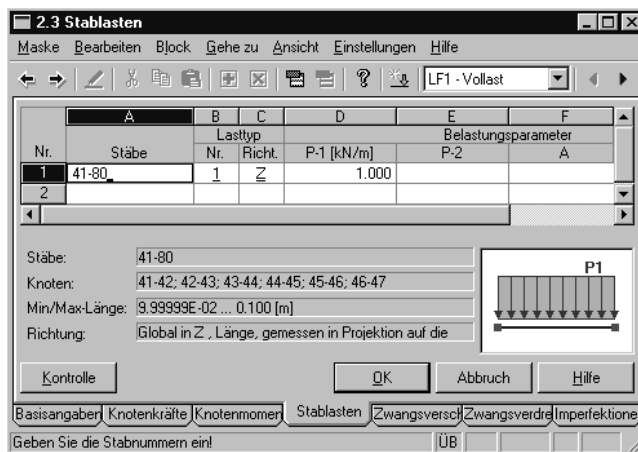


Bild 53 Beispiel 4 - Gleichlast auf den Biegeträger

2.2.1.2.2 Schnittgrößen, grafische Darstellung

Trotz unterschiedlichster Berechnungsverfahren, der Autor in [2] greift bei der Ermittlung der Beanspruchungen auf so genannte „Sechs-Momentengleichungen“ zurück, stimmen die Ergebnisse wieder in hohem Maße überein.

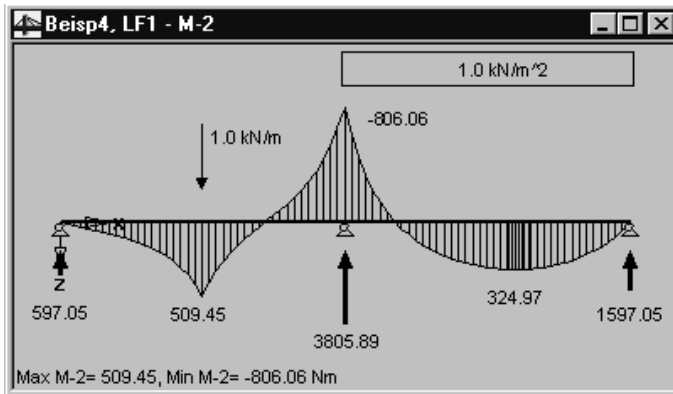
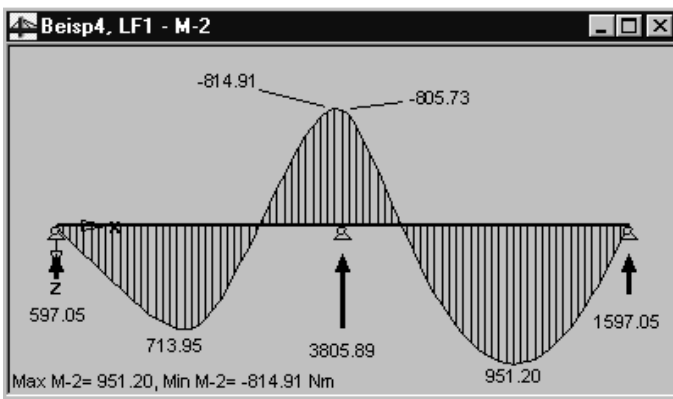


Bild 54 Beispiel 4 - Biegemomentenlinie, Biegeträger



**Abusus non tollit
usum.**

*Missbrauch hebt den
Gebrauch [Nutzen]
nicht auf.*

Bild 55 Beispiel 4 - Biegemomentenlinie, Verbundträger

Bei genauer Betrachtung der Momentenlinien fällt auf, dass die jeweiligen Extremwerte beim Biegeträger und Verbundträger an unterschiedlichen Stellen auftreten. So liegt das minimale Moment beim Biegeträger wie erwartet über der Stütze, beim Verbundträger jedoch seitlich versetzt, links neben dem Widerlager.

Bei Durchlaufträgern mit unterschiedlichen Stützweiten, bei Systemen mit Kragarmen, aber auch bei Systemen mit unsymmetrischen Einwirkungen tritt dieser Sachverhalt auf und ist somit keine Seltenheit.

Der Ort des minimalen Momentes ist beim derzeitigen gewählten Knotenabstand auf 10 cm genau bestimmt. Für eine genauere Bestimmung ist insbesondere im Stützenbereich ein kleinerer Knotenabstand empfehlenswert, auch im Hinblick auf die Querkraftbeurteilung (siehe Bild 56). Je mehr sich der Treppenverlauf einer Linie anpasst, desto genauer ist die Berechnung.

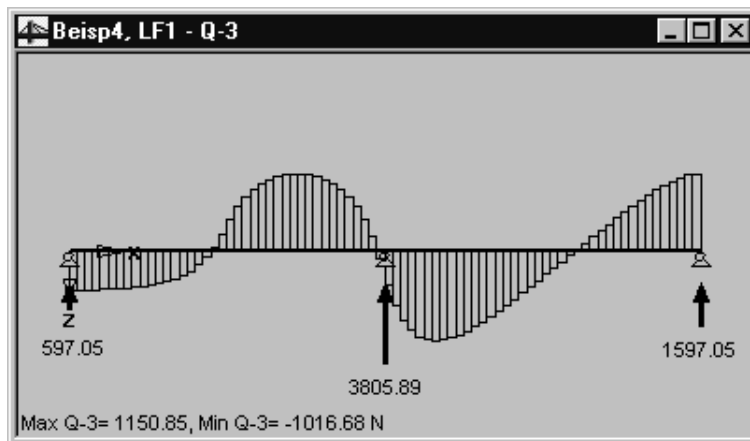


Bild 56 Beispiel 4 - Querkraftlinie, Verbundträger

Act labores iucundi oder Gaudium laboris acti
Nach getaner Arbeit ist gut ruhen.

3 Berücksichtigung des Schubkriechens unter Dauerbeanspruchung

Aufgrund länger wirkender, bleibender Beanspruchungen infolge Eigengewicht oder Schnee können bei einem Sandwichenelementsträger die Verformungen je nach Kerneigenschaft ohne weitere Beanspruchungssteigerung ständig zunehmen, das Material „kriecht“.

Bei Sandwichenelementen, verlegt als Mehrfeldträger, kommt es während des Kriechvorganges zu Umlagerungen der Gesamtschnittgrößen; die Beanspruchung im Feld nimmt zu, während sie gleichzeitig im Stützenbereich abfällt. Besitzt eine der Deckschichten des Sandwichenelementes eine im Vergleich zur Verbundbiegesteifigkeit nennenswerte Eigenbiegesteifigkeit, was i.d.R. bei einer trapez- oder wellprofilierten Deckschicht der Fall ist, kommt es sogar zu Umlagerungen der Schnittgrößen innerhalb des Sandwichquerschnittes vom Verbundquerschnitt hin zur biegesteifen Deckschicht.

Dies gilt übrigens nicht nur für den über mehrere Felder, sondern auch für den über ein Feld verlegten Sandwichträger. Die Schnittgrößenumlagerung kann für die biegesteife Deckschicht eine nicht unerhebliche Spannungserhöhung bedeuten und sollte von daher auf jeden Fall untersucht werden.

Nach [8] nimmt die Verformung beim Kriechvorgang zunächst rasch und dann immer langsamer werdend zu. Anschließend steigt nach einer stetigen Verformungszunahme wieder die Kriechgeschwindigkeit und der Sandwichträger wird zu einem bestimmten Zeitpunkt versagen. Die zeitabhängige Schubverformung des Kernmaterials bei konstanter Schubspannung ist beschrieben durch:

$$\gamma_t = \gamma_0 (1 + \phi_t) \quad (5)$$

mit γ_t = Schubverformungen zum Zeitpunkt t

γ_0 = elastische Schubverformungen zum Zeitpunkt t = 0

ϕ_t = zeitabhängiges Kriechmaß, auch Kriechmodul genannt

Ne sutor supra crepidam

Ein Schuster möge nicht über die Sandale hinaus (urteilen).

Das Kriechmaß wird durch Langzeitversuche bestimmt, wobei für ständige Einwirkungen 10^5 Stunden und für veränderliche Einwirkungen $2 \cdot 10^3$ Stunden Einwirkungsdauer berücksichtigt werden. Weiterhin wird bei der Bestimmung des Kriechmaßes für veränderliche Einwirkungen berücksichtigt, dass sich die Kriechverformungen der einzelnen Einwirkungsperioden, z.B. Schneebelastung im Winter, nicht aufaddieren. Nach [13] erfolgt ein so genanntes „Rückkriechen“, wobei höhere Temperaturen den Vorgang beschleunigen. In [11][12] werden für Einwirkungen aus Eigengewicht und Schnee zwei unterschiedliche Kriechmaße angegeben.

Für Hartschäume als Kern gilt: $\phi_t = 7,0$ für 10^5 Stunden
 $\phi_t = 1,5$ bis $2,5$ für $2 \cdot 10^3$ Stunden

Für Mineralwolle als Kernmaterial gilt: $\phi_t = 2,0$ für 10^5 Stunden
 $\phi_t = 1,0$ für $2 \cdot 10^3$ Stunden

Zur näherungsweisen Berechnung der zeitabhängigen Spannungsumlagerungen darf ein zeitabhängiger, fiktiver Schubmodul G_t eingesetzt werden:

$$G_t = \frac{G_0}{1 + \phi_t} \quad (6)$$

mit G_0 = Schubmodul zum Zeitpunkt $t = 0$
 G_t = Schubmodul zum Zeitpunkt t

Non faciunt meliorem equum aurei freni
Goldene Zügel machen ein Pferd nicht besser.

3.1 Berechnungsbeispiele zur Ermittlung der Beanspruchungen

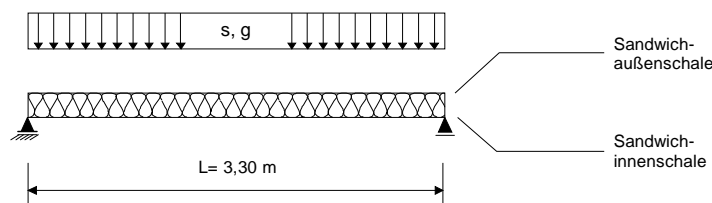
Mit dem fiktiven Schubmodul G_i , eingesetzt bei den Strukturdaten des Stabwerkprogrammes als Schubmodul G_s , können nun die entsprechenden Schnittgrößen- und Verformungsberechnungen analog der vorhergehenden Beispiele durchgeführt werden.

3.1.1 Beispiel 5 – Sandwichdach, vgl. [11, 14.3]

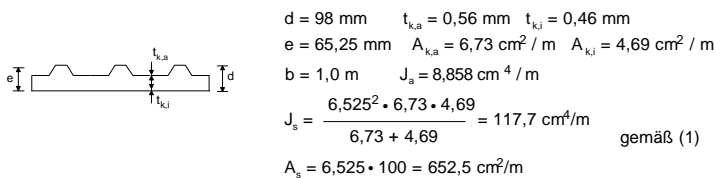
Zur Verdeutlichung dient das Beispiel aus [10], wobei hier nur der Tragsicherheitszustand untersucht werden soll. In diesem Zustand wird bei Mehrfeldträgern über der Stütze ein Momentengelenk angeordnet, sodass sich die Berechnung der Schnittgrößen auf einen Einfeldträger reduziert.

Die Querschnittswerte $A_{k,a}$, $A_{k,i}$, J_a , der Schwerpunktabstand e der Deckschichten, sowie der Schubmodul G_s sind dem Beispiel in [11,14.3] entnommen.

Einwirkungen: Schnee $s = 0,75 \text{ kN/m}^2$
 Eigengewicht $g = 0,116 \text{ kN/m}^2$



Querschnitt:



Kernmaterial: $G_0 = G_s = 3,89 \text{ N/mm}^2$

$$G_i (\phi t = 7,0) = \frac{3,02}{1 + 7,0} = 0,378 \text{ N/mm}^2 \quad \text{gemäß (5)}$$

$$G_i (\phi t = 2,4) = \frac{3,02}{1 + 2,4} = 0,888 \text{ N/mm}^2$$

Bild 57 Berechnungsbeispiel 5

3.1.1.1 Strukturdaten

Für jeden fiktiven Schubmodul ist eine eigene Berechnung notwendig, die Eingabe erfolgt jeweils im Registerblatt Materialien in der Spalte Schubmodul.

Mat.-Nr.	Material-ezeichnung	Elast.-Modul E [kN/cm ²]	Schubmodul G [kN/cm ²]	Rohdichte γ [kN/cm ³]	Wärmedehnzahl α [1/°C]
1	Stahl	2.100E+04	3.780E-02	7.850E-05	1.200E-05
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

Actum ne agas!
Was getan ist, tue nicht!

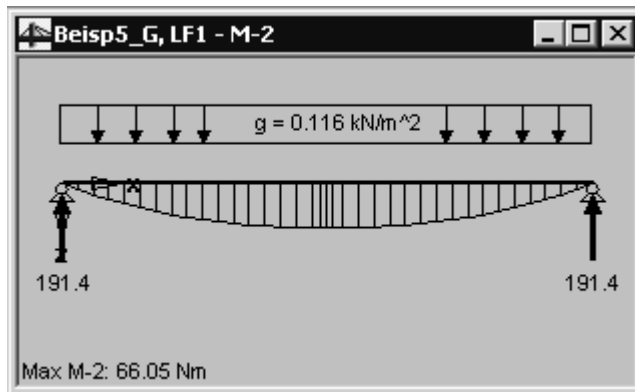
Bild 58 Beispiel 5 - Materialdaten, Einwirkung Eigengewicht

Mat.-Nr.	Material-ezeichnung	Elast.-Modul E [kN/cm ²]	Schubmodul G [kN/cm ²]	Rohdichte γ [kN/cm ³]	Wärmedehnzahl α [1/°C]
1	Stahl	2.100E+04	8.880E-02	7.850E-05	1.200E-05
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					

Bild 59 Beispiel 5 - Materialdaten, Einwirkung Schnee

Alle weiteren Struktur- und Einwirkungsdaten erfolgen analog der vorherigen Berechnungsbeispielen.

3.1.1.2 Schnittgrößen, grafische Darstellung



Consummatum est
Es ist vollbracht

Bild 60 Beispiel 5 - Biegemomentenlinie, Biegeträger
Einwirkung Eigengewicht

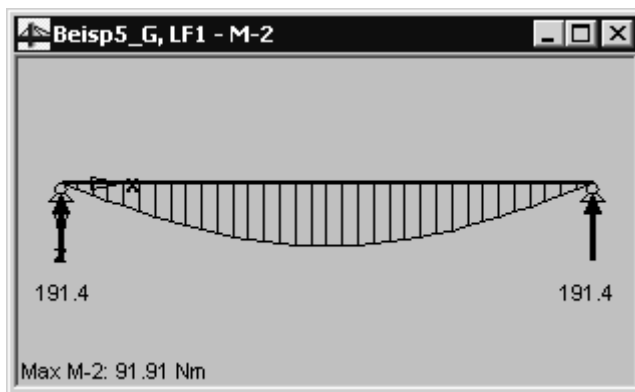
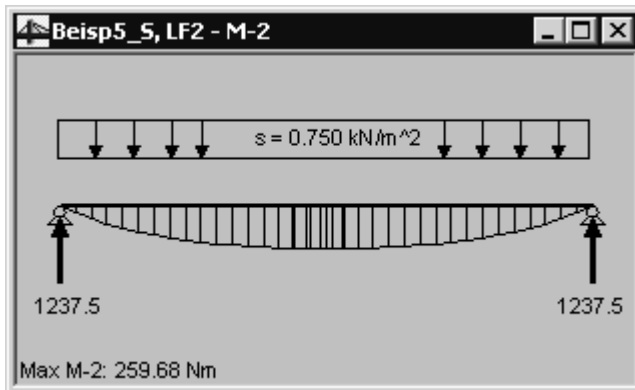


Bild 61 Beispiel 5 - Biegemomentenlinie, Verbundträger
Einwirkung Eigengewicht

Aeris alieni comes miseria
Elend ist der Begleiter fremden Geldes.



Iucundi sunt acti labores.
*Angenehm sind die getanen
Arbeiten.*

Bild 62 Beispiel 5 - Biegemomentenlinie, Biegeträger
Einwirkung Schnee

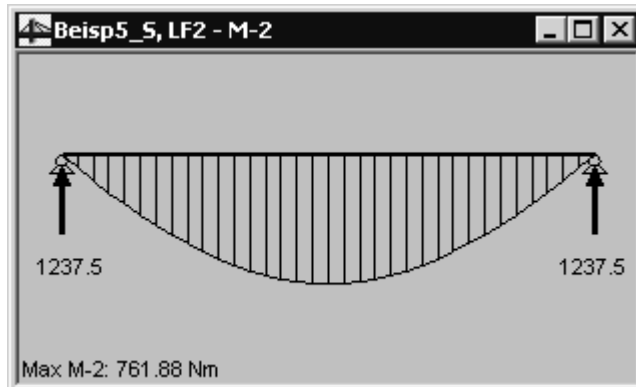


Bild 63 Beispiel 5 - Biegemomentenlinie, Verbundträger
Einwirkung Schnee

Diesmal treten zur Berechnung in [10] Unterschiede bis nahezu 4% auf. Identisch sind die Ergebnisse jedoch mit einer nach [14] erstellten Berechnung! Hierbei handelt es sich um ein MS-Excelformular, in dem der Rechenansatz von [3], [10] für Ein-, Zwei- und Dreifeldträger mit gleicher Stützweite formelmäßig hinterlegt ist.

Die entsprechende MS-Exceldatei und der dazugehörige komplette Bericht ist unter der Internet-Adresse www.fh-mainz.de/sandwich zugänglich (Freeware).

4 Statische Bemessung von Sandwichelementen

Tragende Sandwichbauteile für den Dach- und Wandeinsatz sind derzeit in keiner Norm geregelt und in der Bauregelliste A und C nicht erfasst. Für den Einsatz dieser Bauteile ist in Deutschland eine herstellerabhängige, allgemeine bauaufsichtliche Zulassung des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) erforderlich. Nachweisverfahren und die entsprechenden Rechenwerte sind hier genau geregelt.

Im europäischen Raum werden gegenwärtig meist die europäischen Empfehlungen ECCS/CIB [7] zur statischen Bemessung der Sandwichbauteile eingesetzt. Künftig soll jedoch eine europäische Norm diese Regelungen ablösen, welche derzeit auf Grundlage eben dieser ECCS/CIB-Empfehlungen erarbeitet wird und als Vornorm bereits vorliegt [11].

Sowohl in den bauaufsichtlichen Zulassungen, den ECCS/CIB-Empfehlungen als auch in der europäischen Norm wird zwischen Stand- bzw. Tragsicherheitsnachweisen und Gebrauchsfähigkeits- bzw. Gebrauchstauglichkeitsnachweisen unterschieden.

Bei den Tragsicherheitsnachweisen wird angenommen, dass sich über den Zwischenunterstützungen Gelenke bilden. Die Tragsicherheitsnachweise werden also an einer Kette von Einfeldträger geführt.

Die Gebrauchstauglichkeitsnachweise werden mit niedrigeren Teilsicherheitsbeiwerten am Durchlaufträgersystem geführt. Sie sollen sicherstellen, dass die beim Tragsicherheitsnachweis angenommenen Momentengelenke nicht entstehen.

Die Nachweise kann man wie üblich schreiben:

$$S_d \leq R_d \quad \text{oder} \quad \psi \cdot \gamma_F \cdot F_k \leq \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (7)$$

Abducat praedam, qui occurit prior.

Die Beute wird derjenige nehmen, der als erster kommt.

Die erforderlichen Untersuchungen für die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit werden nachfolgend aufgeführt. Untersucht werden muss:

a) bei zugbeanspruchten Deckschichten die Zugfestigkeit / Fließgrenze



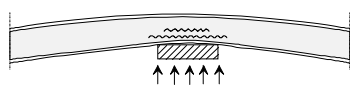
b) bei druckbeanspruchten Deckschichten die Druckfestigkeit / Knitterspannung (Beulspannung)



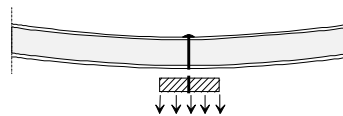
c) die Schubbeanspruchung des Kernmaterials



d) die Auflagerpressung



f) die Tragfähigkeit der Verbindungsmittel



g) das Tragverhalten der äußeren Deckschicht im Bereich der Verbindungsmittel

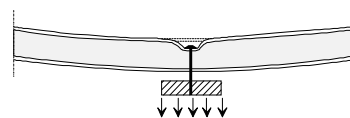
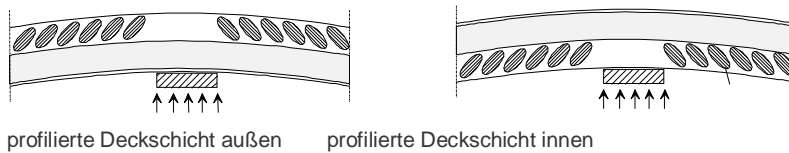


Bild 64 Erforderliche Untersuchungen für Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Bei Sandwichbauteilen mit einer profilierten Deckschicht muss noch zusätzlich untersucht werden:

f) die Schubbeanspruchung der profilierten Deckschicht



g) die Auflagerkräfte bei innenliegender profilierter Deckschicht

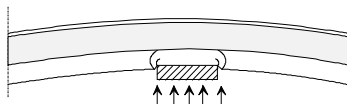


Bild 65 Zusätzliche Untersuchungen bei Sandwichbauteilen mit einer profilierten Deckschicht.

4.1 Nachweise für tragende Sandwichbauteile

Bezüglich der Nachweise der ECCS/CIB-Empfehlungen bzw. der europäischen Norm ist anzumerken, dass die dort aufgeführten Tragsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise in gleicher Weise durchzuführen sind, wie bei den bauaufsichtlichen Zulassungen. Unterschiede treten lediglich bei den Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerten auf.

Die erforderlichen Einzelnachweise werden zusammenfassend mit typisch auftretenden Einwirkungskombinationen in den nachfolgenden Tabellen jeweils für Sandwichelemente als Wand- und Dachbauteile dargestellt.

Anzumerken bleibt, dass die entsprechenden Nachweise im Rahmen der Untersuchungen nach Bild 65 in der Regel für die Bemessung nicht maßgebend werden.

4.2 Nachweise für Sandwichwandbauteile

4.2.1 Tragsicherheitsnachweise

Tragsicherheitsnachweise ¹⁾ für Sandwichelemente als Wandbauteil						
Nachweise	Ort	Bauaufsichtliche Zulassung		ECCS, Europäische Norm		
Knitterspannung bzw. Zugfestigkeit der äußeren und inneren Deckschicht	Feld	$1,85 \cdot w_d + 1,3 \cdot t_{wi}$	$\leq a_{trag} \cdot \sigma_{k, Feld}$	$1,5 \cdot (w_d + 0,6 \cdot t_{wi})$		
			$\leq \beta_s$	$1,5 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_{wi})$		
					ECCS	
			$1,85 \cdot w_s + 1,3 \cdot t_{wi}$	$\leq a_{trag} \cdot \sigma_{k, Feld}$	$1,5 \cdot (w_s + 0,6 \cdot t_{wi})$	$\leq \sigma_w / 1,25$
				$\leq \beta_s$	$1,5 \cdot (0,6 \cdot w_s + t_{wi})$	$\leq f_{ty} / 1,1$
						prEN 14509
			$1,85 \cdot 0,6 \cdot w_d + 1,3 \cdot t_{so}$	$\leq a_{trag} \cdot a_{temp} \cdot \sigma_{k, Feld}$	$1,5 \cdot (w_d + 0,6 \cdot t_{so})$	$\leq \sigma_w / 1,25$
				$\leq \beta_s$	$1,5 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_{so})$	$\leq f_{ty} / 1,1$
			$1,85 \cdot 0,6 \cdot w_s + 1,3 \cdot t_{so}$	$\leq a_{trag} \cdot a_{temp} \cdot \sigma_{k, Feld}$	$1,5 \cdot (w_s + 0,6 \cdot t_{so})$	
			$\leq \beta_s$	$1,5 \cdot (0,6 \cdot w_s + t_{so})$		
Schubfestigkeit	Stütze	$1,85 \cdot w_d + 1,3 \cdot t_{wi}$		$1,5 \cdot (w_d + 0,6 \cdot t_{wi})$		
				$1,5 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_{wi})$	ECCS	
			$1,85 \cdot w_s + 1,3 \cdot t_{wi}$		$1,5 \cdot (w_s + 0,6 \cdot t_{wi})$	$\leq f_{cv} / 1,25$
				$\leq \beta_t / \eta_t$	$1,5 \cdot (0,6 \cdot w_s + t_{wi})$	
			$1,85 \cdot 0,6 \cdot w_d + 1,3 \cdot t_{so}$		$1,5 \cdot (w_d + 0,6 \cdot t_{so})$	prEN 14509
					$1,5 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_{so})$	$\leq f_{cv} / 1,50$
		$1,85 \cdot 0,6 \cdot w_s + 1,3 \cdot t_{so}$		$1,5 \cdot (w_s + 0,6 \cdot t_{so})$		
				$1,5 \cdot (0,6 \cdot w_s + t_{so})$		
					ECCS	
					$\leq f_{cv} / 1,25$	
Auflagerdruck	Stütze	$1,85 \cdot w_d$	$\leq \beta_d / \eta_d$	$1,5 \cdot (w_d + 0,6 \cdot t_{wi})$		
					prEN 14509	
					$\leq f_{cv} / 1,40$	

¹⁾ Bei Mehrfeldträgern werden die Tragsicherheitsnachweise an einer Kette von Einfeldträgern geführt.

Tabelle 1 Tragsicherheitsnachweise für Sandwichelemente als Wandbauteil

Actum ne agas !
Was getan ist, tue nicht !

4.2.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweise

Gebrauchstauglichkeitsnachweise ¹⁾ für Sandwichelemente als Wandbauteil					
Nachweise	Ort	Bauaufsichtliche Zulassung		ECCS, Europäische Norm	
Knitterspannung bzw. Zugfestigkeit der äußeren und inneren Deckschicht	Feld	$1,1 \cdot (w_d + 0,9^3 \cdot t_w)$	$\leq \sigma_{k, \text{Feld}}$	$1,0 \cdot (w_d + 0,6 \cdot t_w)$	
			$\leq \beta_s$	$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_w)$	ECCS
				$\leq \sigma_w / 1,0$	
		$1,1 \cdot (w_s + 0,9 \cdot t_w)$	$\leq \sigma_{k, \text{Feld}}$	$1,0 \cdot (w_s + 0,6 \cdot t_w)$	$\leq f_{ty} / 1,0$
			$\leq \beta_s$	$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_s + t_w)$	
		$1,1 \cdot (0,6 \cdot w_d + 0,9^3 \cdot t_{so})$	$\leq a_{\text{temp}} \cdot \sigma_{k, \text{Feld}}$	$1,0 \cdot (w_d + 0,6 \cdot t_{so})$	prEN 14509
		$\leq \beta_s$	$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_{so})$	$\leq \sigma_w / 1,1$	
			$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_s + t_{so})$	$\leq f_{ty} / 1,0$	
		$1,1 \cdot (0,6 \cdot w_s + 0,9 \cdot t_{so})$	$\leq a_{\text{temp}} \cdot \sigma_{k, \text{Feld}}$	$1,0 \cdot (w_s + 0,6 \cdot t_{so})$	
			$\leq \beta_s$	$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_s + t_{so})$	
Beanspruchung andrückend					
Knitterspannung bzw. Zugfestigkeit der äußeren und inneren Deckschicht	Stütze	$1,1 \cdot (w_d + 0,9^3 \cdot t_w)$	$\leq \sigma_{k, \text{Stütze, and}}$	$1,0 \cdot (w_d + 0,6 \cdot t_w)$	
			$\leq \beta_s$	$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_w)$	
				$1,0 \cdot (w_s + 0,6 \cdot t_w)$	
		$1,1 \cdot (w_s + 0,9 \cdot t_w)$	$\leq \sigma_{k, \text{Stütze, and}}$	$1,0 \cdot (w_s + 0,6 \cdot t_w)$	
			$\leq \beta_s$	$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_s + t_w)$	$\leq 0,9^2 \cdot \sigma_w / 1,1$
				$\leq f_{ty} / 1,0$	
		$1,1 \cdot (0,6 \cdot w_d + 0,9^3 \cdot t_{so})$	$\leq a_{\text{temp}} \cdot \sigma_{k, \text{Stütze, and}}$	$1,0 \cdot (w_d + 0,6 \cdot t_{so})$	
			$\leq \beta_s$	$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_{so})$	
		$1,1 \cdot (0,6 \cdot w_s + 0,9 \cdot t_{so})$	$\leq a_{\text{temp}} \cdot \sigma_{k, \text{Stütze, and}}$	$1,0 \cdot (w_s + 0,6 \cdot t_{so})$	
			$\leq \beta_s$	$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_s + t_{so})$	
Beanspruchung abhebend					
		wie vor, jedoch....	$\leq \sigma_{k, \text{Stütze, abh}}$	wie vor, jedoch....	$\leq 0,8^2 \cdot \sigma_w / 1,1$
			$\leq \beta_s$		$\leq \beta_{ty} / 1,0$
		Anmerkung: für $n > 3$ Schrauben ist bei quasi-ebenen Deckschichten $\sigma_{k, \text{Stütze, abh}}$ mit dem Faktor $(11-n)/8$ abzumindern.		Anmerkung: für $n > 3$ Schrauben ist bei quasi-ebenen Deckschichten $0,8 \cdot \sigma_{k, \text{Feld}}$ mit dem Faktor $(11-n)/8$ abzumindern.	
Schubfestigkeit	Stütze	$1,4 \cdot (w_d + t_w)$		$1,0 \cdot (w_d + 0,6 \cdot t_w)$	
				$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_w)$	ECCS
		$1,4 \cdot (w_s + t_w)$		$1,0 \cdot (w_s + 0,6 \cdot t_w)$	$\leq f_{cv} / 1,0$
			$\leq \beta_t$	$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_s + t_w)$	
		$1,4 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_{so})$		$1,0 \cdot (w_d + 0,6 \cdot t_{so})$	prEN 14509
				$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_{so})$	$\leq f_{cv} / 1,1$
		$1,4 \cdot (0,6 \cdot w_s + t_{so})$		$1,0 \cdot (w_s + 0,6 \cdot t_{so})$	
				$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_s + t_{so})$	

Gebrauchstauglichkeitsnachweise ¹⁾ für Sandwichelemente als Wandbauteil Fortsetzung					
Nachweise	Ort	Bauaufsichtliche Zulassung		ECCS, Europäische Norm	
Auflagerdruck	Stütze	$1,4 \cdot (w_d + t_w)$		$1,0 \cdot (w_d + 0,6 \cdot t_w)$	
				$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_w)$	
		$1,4 \cdot (w_s + t_w)$		$1,0 \cdot (w_s + 0,6 \cdot t_w)$	
			$\leq \beta_d$	$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_s + t_w)$	$\leq 0,71 \cdot f_{CC} / 1,0$
		$1,4 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_{so})$		$1,0 \cdot (w_d + 0,6 \cdot t_{so})$	
				$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_d + t_{so})$	
Verformungen	Feld	Eine Verformungsbegrenzung wird nicht gefordert.		$1,0 \cdot w_d$	
				$1,0 \cdot w_s$	
				$1,0 \cdot (0,75 \cdot w_d + 0,6 \cdot t_w)$	
		Empfehlung:		$1,0 \cdot (0,6 \cdot 0,75 \cdot w_d + t_w)$	
		$1,0 \cdot w_d$	$\leq L/150$	$1,0 \cdot (0,75 \cdot w_s + 0,6 \cdot t_{so})$	$\leq L/100$
		$1,0 \cdot w_s$	$\leq L/150$	$1,0 \cdot (0,6 \cdot 0,75 \cdot w_s + t_{so})$	
		$1,0 \cdot t_w$	$\leq L/150$		
		$1,0 \cdot t_{so}$	$\leq L/150$		
		$1,0 \cdot (w_d + 0,9^3 \cdot t_w)$	$\leq L/100$		
		$1,0 \cdot (w_s + 0,9 \cdot t_w)$	$\leq L/100$		
		$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_d + 0,9^3 \cdot t_{so})$	$\leq L/100$		
$1,0 \cdot (0,6 \cdot w_s + 0,9 \cdot t_{so})$	$\leq L/100$				
¹⁾ Gebrauchstauglichkeitsnachweise stellen sicher, daß die im Tragsicherheitsnachweis angenommenen Momentengelenke nicht entstehen.					
²⁾ Abminderung nur für quasi-ebene Deckschichten notwendig.					
³⁾ Kühnhäuser : $\psi = 1,0$!					

Tabelle 2 Gebrauchstauglichkeitsnachweise für Sandwichelemente als Wandbauteil

Manus manum lavat.
Eine Hand wäscht die andere.

4.3 Nachweise für Verbindungen in der Sandwichbauweise - Wandbauteil

4.3.1 Tragsicherheitsnachweise

Tragsicherheitsnachweise ¹⁾ für Verbindungen in der Sandwichbauweise, Wandbauteil					
Nachweise		Bauaufsichtliche Zulassung		ECCS, Europäische Norm	
Zugkraft ²⁾		$2,0 \cdot w_s$	$\leq 2,0 \cdot \text{zul } F_Z$	$1,5 \cdot w_s$	$\leq F_{Z,k}/1,33$
Querkraft ²⁾		$2,0 \cdot F_Q$	$\leq 2,0 \cdot \text{zul } F_Q$	$1,5 \cdot F_Q$	$\leq F_{Q,k}/1,33$
Schraubenkopfauslenkung		$u_T = 1/2 \cdot \alpha_T \cdot \Delta T \cdot L$	$\leq \text{zul } u$	$u_T = 1/2 \cdot \alpha_T \cdot \Delta T \cdot L$	$\leq \text{zul } u$
¹⁾ Tragsicherheitsnachweise werden auch bei Mehrfeldträgern für Einfeldträger geführt.					
²⁾ Interaktion erforderlich, wenn für mindestens eine Wirkung das Versagen in der Schraube oder der Unterkonstruktion maßgebend ist.					

Tabelle 3 Tragsicherheitsnachweise für Verbindungen in der Sandwichbauweise, Wandbauteil

Miseria est magni custodia census.

Ein Unglück ist es, ein großes Vermögen zu bewachen.

Obsequium amicos, veritas odium parit.

Gefälligkeit schafft Freunde, Wahrhaftigkeit Hass.

4.3.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweise

Gebrauchstauglichkeitsnachweise ¹⁾ für Verbindungen in der Sandwichbauweise, Wandbauteil				
Nachweise		Bauaufsichtliche Zulassung	ECCS, Europäische Norm	
Zugkraft ¹⁾		2,0·w _d		1,0·w _d + 0,6·t _{wi}
		2,0·w _d + 1,3·t _{wi}		0,6·w _d + 1,0·t _{wi}
		2,0·0,6·w _d + 1,3·t _{so}		1,0·w _d + 0,6·t _{so}
		2,0·w _s	≤ 2,0-zul F _Z	0,6·w _d + 1,0·t _{so}
		2,0·w _s + 1,3·t _{wi}		≤ F _{Z,k} /1,0
		2,0·0,6·w _s + 1,3·t _{so}		1,0·w _s + 0,6·t _{wi}
		2,0·t _{wi}		0,6·w _s + 1,0·t _{wi}
		2,0·t _{so}		1,0·w _s + 0,6·t _{so}
		Anmerkung: Im Sinne der DIN 18800 ein Tragsicherheitsnachweis!	Achtung: Siehe Anmerkung zur Tabelle 4!	
Querkraft ¹⁾		2,0·F _Q	≤ 2,0-zul F _Q	1,0·F _Q ≤ F _{Q,k} /1,0
		Anmerkung: Im Sinne der DIN 18800 ein Tragsicherheitsnachweis!		

¹⁾ Interaktion erforderlich, wenn für mindestens eine Wirkung das Versagen in der Schraube oder der Unterkonstruktion maßgebend ist.

Tabelle 4 Gebrauchstauglichkeitsnachweise für Verbindungen in der Sandwichbauweise, Wandbauteil

Anmerkung zur Tabelle 4: Das Sicherheitsniveau der ECCS bzw. europäischen Norm weicht bei den Gebrauchstauglichkeitsnachweisen für die Verbindungen von den bauaufsichtlichen Zulassungen ab. Bei Verbindungsmittelnachweisen mit geringerem Sicherheitsniveau zu rechnen, ist sehr fragwürdig, handelt es sich doch hierbei generell um Tragsicherheitsnachweise.

In Analogie der in der Tabelle 4 aufgeführten Nachweise wird mit $\gamma_F = 1,5$ und $\gamma_M = 1,33$ empfohlen:

$$\begin{aligned}
 F_Z(1,5 \cdot [w_d + 0,6 \cdot t_{wi}]) &\leq F_{Z,k}/1,33 & F_Z(1,5 \cdot [0,6 \cdot w_d + t_{wi}]) &\leq F_{Z,k}/1,33 \\
 F_Z(1,5 \cdot [w_d + 0,6 \cdot t_{so}]) &\leq F_{Z,k}/1,33 & F_Z(1,5 \cdot [0,6 \cdot w_d + t_{so}]) &\leq F_{Z,k}/1,33 \\
 F_Z(1,5 \cdot [w_s + 0,6 \cdot t_{wi}]) &\leq F_{Z,k}/1,33 & F_Z(1,5 \cdot [0,6 \cdot w_s + t_{wi}]) &\leq F_{Z,k}/1,33 \\
 F_Z(1,5 \cdot [w_s + 0,6 \cdot t_{so}]) &\leq F_{Z,k}/1,33 & F_Z(1,5 \cdot [0,6 \cdot w_s + t_{so}]) &\leq F_{Z,k}/1,33 \\
 1,5 \cdot F_Q &\leq F_{Q,k}/1,33
 \end{aligned}$$

Bene qui latuit, bene vixit.

Wer sich gut im Verborgenen gehalten hat, hat gut gelebt.

4.4 Nachweise für Sandwichdachbauteile

4.4.1 Tragsicherheitsnachweise

Tragsicherheitsnachweise ¹⁾ für Sandwichelemente als Dachbauteil					
Nachweise	Ort	Bauaufsichtliche Zulassung		ECCS, Europäische Norm	
Zeitpunkt t = 0 - ohne Berücksichtigung von Schubkriechen in der Kernschicht -					
Knitterspannung bzw. Zugfestigkeit der äußeren und inneren Deck-	Feld	1,85·(g + s)	$\leq a_{trag} \cdot \sigma_{k,Feld}$	1,35·g + 1,5·s	
			$\leq \beta_s$		
		1,85·(g + s) + 1,3·t _{wi,s}	$\leq a_{trag} \cdot \sigma_{k,Feld}$	1,35·g + 1,5·(s + t _{wi,s})	
			$\leq \beta_s$		
		1,85·(g + w _s)	$\leq a_{trag} \cdot \sigma_{k,Feld}$	1,0 ²⁾ ·g + 1,5·w _s	
			$\leq \beta_s$		
		1,85·(g + w _s) + 1,3·t _{wi}	$\leq a_{trag} \cdot \sigma_{k,Feld}$	1,0·g + 1,5·(w _s + 0,6·t _{wi})	
			$\leq \beta_s$		
				1,0·g + 1,5·(0,6·w _s + t _{wi})	$\leq \sigma_{w}/1,25$
					$\leq f_{ty}/1,1$
		1,85·(g + 0,6·w _s) + 1,3·t _{so}	$\leq a_{trag} \cdot a_{temp} \cdot \sigma_{k,Feld}$	1,0·g + 1,5·(w _s + 0,6·t _{so})	
			$\leq \beta_s$		
				1,0·g + 1,5·(0,6·w _s + t _{so})	
		1,85·g + 1,3·t _{wi}	$\leq a_{trag} \cdot \sigma_{k,Feld}$	1,0·g + 1,5·t _{wi}	
			$\leq \beta_s$		
		1,85·g + 1,3·t _{so}	$\leq a_{trag} \cdot a_{temp} \cdot \sigma_{k,Feld}$	1,0·g + 1,5·t _{so}	
			$\leq \beta_s$		
Schubfestigkeit	Stütze	1,85·(g + s)		1,35·g + 1,5·s	
		1,85·(g + s) + 1,3·t _{wi,s}		1,35·g + 1,5·(s + t _{wi,s})	
		1,85·(g + w _s)		1,0 ²⁾ ·g + 1,5·w _s	ECCS
		1,85·(g + w _s) + 1,3·t _{wi}		1,0·g + 1,5·(w _s + 0,6·t _{wi})	$\leq f_{cv}/1,25$
			$\leq \beta_t / \eta_t$	1,0·g + 1,5·(0,6·w _s + t _{wi})	
		1,85·(g + 0,6·w _s) + 1,3·t _{so}		1,0·g + 1,5·(w _s + 0,6·t _{so})	prEN 14509
				1,0·g + 1,5·(0,6·w _s + t _{so})	$\leq f_{cv}/1,50$
		1,85·g + 1,3·t _{wi}		1,0·g + 1,5·t _{wi}	
		1,85·g + 1,3·t _{so}		1,0·g + 1,5·t _{so}	
Auflagerdruck	Stütze	1,85·(g + s)	$\leq \beta_d / \eta_d$	1,35·g + 1,5·s	ECCS
					$\leq f_{cc}/1,25$
					prEN 14509
					$\leq f_{cc}/1,40$
Zeitpunkt t = xxx - mit Berücksichtigung von Schubkriechen in der Kernschicht -					
Knitterspannung der äußeren Deckschicht	Feld	1,85·(g+s)+1,3·(Δg+Δs)		1,35·g+1,5·s+1,0·(Δg+Δs)	
		1,85·(g+s)+1,3·(t _{wi,s} +Δg+Δs)	$\leq a_{trag} \cdot \sigma_{k,Feld}$	1,35·g+1,5·(s+t _{wi,s})+1,0·(Δg+Δs)	$\leq \sigma_w/1,25$
		1,85·g+1,3·(t _{wi} +Δg)		1,35·g+1,5·t _{wi} +1,0·Δg	
		1,85·(g+s)+1,3·(Δg+Δs)	$\leq \beta_{t,t}$	1,35·g+1,5·s+1,0·(Δg+Δs)	ECCS
Schubfestigkeit	Stütze	[1,85·(g+s)+1,3·(Δg+Δs)] / β _{t,t} + 1,3·t _{wi,s} / β _t ≤ 1,0		1,35·g+1,5·(s+t _{wi,s})+1,0·(Δg+Δs)	$\leq f_{cv}/1,25$
		[1,85·g+1,3·Δg] / β _{t,t} + 1,3·t _{wi} / β _t ≤ 1,0		1,35·g+1,5·t _{wi} +1,0·Δg	prEN 14509
					$\leq f_{cv}/1,50$

¹⁾ Bei Mehrfeldträger werden die Tragsicherheitsnachweise an einer Kette von Einfeldträgern geführt.

²⁾ γ_F = 1,0 nur bei entlastender Beanspruchung, ansonsten ist γ_F = 1,35 zu setzen. Gültig für alle weiteren Lastfallkombinationen!

Tabelle 5 Tragsicherheitsnachweise für Sandwichelemente als Dachbauteil

4.4.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweise

Gebrauchstauglichkeitsnachweise ¹⁾ für Sandwichelemente als Dachbauteil					
Nachweise	Ort	Bauaufsichtliche Zulassung		ECCS, Europäische Norm	
Zeitpunkt t = 0 - ohne Berücksichtigung von Schubkriechen in der Kernschicht -					
Knitterspannung bzw. Zugfestigkeit der äußeren und inneren Deck- schicht	Feld	1,1·(g + s)	$\leq \sigma_{k,Feld}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + s)	
		1,1·(g + s + 0,9 ³ ·t _{w,s})	$\leq \sigma_{k,Feld}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + s + t _{w,s})	
		1,1·(g + w _s)	$\leq \sigma_{k,Feld}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + w _s)	ECCS $\leq \sigma_{w}/1,0$
		1,1·(g + w _s + 0,9·t _{wi})	$\leq \sigma_{k,Feld}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + w _s + 0,6·t _{wi})	$\leq f_{ty}/1,0$
				1,0·(g + 0,6·w _s + t _{wi})	
					prEN 14509 $\leq \sigma_{w}/1,1$
		1,1·(g + 0,6·w _s + 0,9 ³ ·t _{so})	$\leq a_{temp} \cdot \sigma_{k,Feld}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + w _s + 0,6·t _{so})	$\leq f_{ty}/1,0$
				1,0·(g + 0,6·w _s + t _{so})	
		1,1·(g + t _{wi})	$\leq \sigma_{k,Feld}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + t _{wi})	
		1,1·(g + t _{so})	$\leq a_{temp} \cdot \sigma_{k,Feld}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + t _{so})	
Beanspruchung andrückend					
Knitterspannung bzw. Zugfestigkeit der äußeren und inneren Deck- schicht	Stütze	1,1·(g + s)	$\leq \sigma_{k,Stütze, and}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + s)	
		1,1·(g + s + 0,9 ³ ·t _{w,s})	$\leq \sigma_{k,Stütze, and}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + s + t _{w,s})	
		1,1·(g + w _s)	$\leq \sigma_{k,Stütze, and}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + w _s)	
		1,1·(g + w _s + 0,9·t _{wi})	$\leq \sigma_{k,Stütze, and}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + w _s + 0,6·t _{wi})	
				1,0·(g + 0,6·w _s + t _{wi})	$\leq 0,9^2 \cdot \sigma_{w}/1,1$ $\leq f_{ty}/1,0$
		1,1·(g + 0,6·w _s + 0,9 ³ ·t _{so})	$\leq a_{temp} \cdot \sigma_{k,Stütze, and}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + w _s + 0,6·t _{so})	
				1,0·(g + 0,6·w _s + t _{so})	
		1,1·(g + t _{wi})	$\leq \sigma_{k,Stütze, and}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + t _{wi})	
		1,1·(g + t _{so})	$\leq a_{temp} \cdot \sigma_{k,Stütze, and}$ $\leq \beta_s$	1,0·(g + t _{so})	
		Beanspruchung abhebend			
		wie vor, jedoch....	$\leq \sigma_{k,Stütze, abh}$ $\leq \beta_s$	wie vor, jedoch....	$\leq 0,8^2 \cdot \sigma_{w}/1,1$ $\leq f_{ty}/1,0$
Anmerkung: für n > 3 Schrauben ist bei quasi-ebenen Deckschichten $\sigma_{k,Stütze, abh}$ mit dem Faktor (11-n)/8 abzumindern.			Anmerkung: für n > 3 Schrauben ist bei quasi-ebenen Deckschichten $0,8 \cdot \sigma_{k,Feld}$ mit dem Faktor (11-n)/8 abzumindern.		

Gebrauchstauglichkeitsnachweise ¹⁾ für Sandwichelemente als Dachbauteil Fortsetzung					
Nachweise	Ort	Bauaufsichtliche Zulassung		ECCS, Europäische Norm	
Zeitpunkt t = 0 - ohne Berücksichtigung von Schubkriechen in der Kernschicht -					
Schubfestigkeit	Stütze	1,4·(g + s)		1,0·(g + s)	
		1,4·(g + s + t _{wi,s})		1,0·(g + s + t _{wi,s})	
		1,4·(g + w _s)		1,0·(g + w _s)	ECCS
		1,4·(g + w _s + t _{wi})		1,0·(g + w _s + 0,6·t _{wi})	≤ f _{Cv} /1,0
			≤ β _c	1,0·(g + 0,6·w _s + t _{wi})	
		1,4·(g + 0,6·w _s + t _{so})		1,0·(g + w _s + 0,6·t _{so})	prEN 14509
				1,0·(g + 0,6·w _s + t _{so})	≤ f _{Cv} /1,1
		1,4·(g + t _{wi})	1,0·(g + t _{wi})		
		1,4·(g + t _{so})	1,0·(g + t _{so})		
Auflagerdruck	Stütze	1,4·(g + s + t _{wi,s})		1,0·(g + s + t _{wi,s})	ECCS
		1,4·(g + 0,6·w _s + t _{so})		1,0·(g + w _s + 0,6·t _{so})	≤ 0,71·f _{Cc} /1,0
			≤ β _d	1,0·(g + 0,6·w _s + t _{so})	
		1,4·(g + t _{wi})		1,0·(g + t _{wi})	prEN 14509
		1,4·(g + t _{so})	1,0·(g + t _{so})	≤ 0,71·f _{Cc} /1,1	
Verformungen	Feld	Eine Verformungsbegrenzung wird nicht gefordert.		1,0·(g + s)	
				1,0·(g + t _{wi})	
				1,0·(g + t _{so})	
		Empfehlung:		1,0·(g + 0,75·s + t _{wi,s})	≤ L/200
		1,0·(g + s)	≤ L/150	1,0·(g + t _{so} + 0,6·0,75·w _s)	
		1,0·(g + t _{wi})	≤ L/150	1,0·(g + 0,6·t _{so} + 0,75·w _s)	
		1,0·(g + t _{so})	≤ L/150		
1,0·(g + s + 0,9 ³⁾ ·t _{wi,s})	≤ L/100				
1,0·(g + 0,6·w _s + 0,9 ³⁾ ·t _{so})	≤ L/100				
Zeitpunkt t = xxx - mit Berücksichtigung von Schubkriechen in der Kernschicht -					
Knitterspannung bzw. Zugfestigkeit der äußeren und inneren Deckschicht	Feld	Nachfolgende Nachweise werden gefordert, aber nicht definiert!			
		Empfehlung: analog ECCS			ECCS
		1,0·(g + s + Δg + Δs)	≤ σ _{k,Feld}	1,0·(g + s + Δg + Δs)	≤ σ _w /1,0
			≤ β _s		≤ f _{ty} /1,0
		1,0·(g + s + t _{wi,s} + Δg + Δs)	≤ σ _{k,Feld}	1,0·(g + s + t _{wi,s} + Δg + Δs)	
			≤ β _s		prEN 14509
		1,0·(g + t _{wi} + Δg)	≤ σ _{k,Feld}	1,0·(g + t _{wi} + Δg)	≤ σ _w /1,1
	≤ β _s		≤ f _{ty} /1,0		
		1,0·(g + t _{so} + Δg)	1,0·(g + t _{so} + Δg)		
			≤ α _{temp} ·σ _{k,Feld}		
			≤ β _s		
Knitterspannung bzw. Zugfestigkeit der äußeren und inneren Deckschicht	Stütze	1,0·(g + s + Δg + Δs)	≤ σ _{k,Stütze, and}	1,0·(g + s + Δg + Δs)	
			≤ β _s		ECCS
		1,0·(g + s + t _{wi,s} + Δg + Δs)	≤ σ _{k,Stütze, and}	1,0·(g + s + t _{wi,s} + Δg + Δs)	≤ 0,9 ²⁾ ·σ _w /1,0
			≤ β _s		≤ f _{ty} /1,0
		1,0·(g + t _{wi} + Δg)	≤ σ _{k,Stütze, and}	1,0·(g + t _{wi} + Δg)	
	≤ β _s		prEN 14509		
		1,0·(g + t _{so} + Δg)	1,0·(g + t _{so} + Δg)	≤ 0,9 ²⁾ ·σ _w /1,1	
			≤ β _s	≤ f _{ty} /1,0	

Gebrauchstauglichkeitsnachweise ¹⁾ für Sandwichelemente als Dachbauteil Fortsetzung					
Nachweise	Ort	Bauaufsichtliche Zulassung		ECCS, Europäische Norm	
Zeitpunkt $t = xxx$ - mit Berücksichtigung von Schubkriechen in der Kernschicht -					
Schubfestigkeit	Stütze	$1,0 \cdot (g + s + \Delta g + \Delta s)$		$1,0 \cdot (g + s + \Delta g + \Delta s)$	ECCS
		$1,0 \cdot (g + s + t_{w,s} + \Delta g + \Delta s)$	$\leq \beta_{\tau,1} / 1,0$	$1,0 \cdot (g + s + t_{w,s} + \Delta g + \Delta s)$	$\leq f_{cV} / 1,0$
		$1,0 \cdot (g + t_w + \Delta g)$		$1,0 \cdot (g + t_w + \Delta g)$	prEN 14509
		$1,0 \cdot (g + t_{so} + \Delta g)$		$1,0 \cdot (g + t_{so} + \Delta g)$	$\leq f_{cV} / 1,1$
Verformungen	Feld	$1,0 \cdot (g + s + \Delta g + \Delta s)$		$1,0 \cdot (g + s + \Delta g + \Delta s)$	$\leq L / 100$
				$1,0 \cdot (g + 0,75 \cdot s + t_{w,s} + \Delta g + 0,75 \cdot \Delta s)$	

¹⁾ Gebrauchstauglichkeitsnachweise stellen sicher, daß die im Tragsicherheitsnachweis angenommenen Momentengelenke nicht entstehen.
²⁾ Abminderung nur für quasi-ebene Deckschichten notwendig.
³⁾ Kühnhäuser : $\psi = 1,0!$

Tabelle 6 Gebrauchstauglichkeitsnachweise für Sandwichelemente als Dachbauteil

4.5 Nachweise für Verbindungen in der Sandwichbauweise - Dachbauteil

4.5.1 Tragsicherheitsnachweise

Tragsicherheitsnachweise ¹⁾ für Verbindungen in der Sandwichbauweise, Dachbauteil					
Nachweise		Bauaufsichtliche Zulassung		ECCS, Europäische Norm	
Zugkraft ²⁾		$2,0 \cdot (0,666 \cdot g + w_s)$	$\leq 2,0 \cdot \text{zul } F_Z$	$1,0 \cdot g + 1,5 \cdot w_s$	$\leq F_{Z,k} / 1,33$
Querkraft ²⁾		$2,0 \cdot F_Q$	$\leq 2,0 \cdot \text{zul } F_Q$	$1,5 \cdot F_Q$	$\leq F_{Q,k} / 1,33$
Schraubenkopfauslenkung		$u_T = 1/2 \cdot \alpha_T \cdot \Delta T \cdot L$	$\leq \text{zul } u$	$u_T = 1/2 \cdot \alpha_T \cdot \Delta T \cdot L$	$\leq \text{zul } u$

¹⁾ Tragsicherheitsnachweise werden auch bei Mehrfeldträgern für Einfeldträger geführt.
²⁾ Interaktion erforderlich, wenn für mindestens eine Wirkung das Versagen in der Schraube oder der Unterkonstruktion maßgebend ist.

Tabelle 7 Tragsicherheitsnachweise für Verbindungen in der Sandwichbauweise, Dachbauteil

Pacta sunt servanda.

Verträge müssen eingehalten werden.

4.5.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweise

Gebrauchstauglichkeitsnachweise ¹⁾ für Verbindungen in der Sandwichbauweise, Dachbauteil					
Nachweise		Bauaufsichtliche Zulassung		ECCS, Europäische Norm	
Zugkraft ¹⁾		$2,0 \cdot (g + s)$		$g + s$	
		$2,0 \cdot (g + s) + 1,3 \cdot t_{wi,s}$		$g + s + t_{wi,s}$	
		$2,0 \cdot (0,666 \cdot g + w_s)$		$g + w_s$	
		$2,0 \cdot (0,666 \cdot g + w_s) + 1,3 \cdot t_{wi}$		$g + w_s + 0,6 \cdot t_{wi}$	
			$\leq 2,0 \cdot \text{zul } F_Z$	$g + 0,6 \cdot w_s + t_{wi}$	$\leq F_{Z,k}/1,0$
		$2,0 \cdot (0,666 \cdot g + w_s) + 1,3 \cdot t_{so}$		$g + w_s + 0,6 \cdot t_{so}$	
				$g + 0,6 \cdot w_s + t_{so}$	
				$g + t_{wi}$	
			$g + t_{so}$		
		Anmerkung: Im Sinne der DIN 18800 ein Tragsicherheitsnachweis!		Achtung: Siehe Anmerkung zur Tabelle 8!	
Querkraft ¹⁾		$2,0 \cdot F_Q$	$\leq 2,0 \cdot \text{zul } F_Q$	$1,0 \cdot F_Q$	$\leq F_{Q,k}/1,0$
		Anmerkung: Im Sinne der DIN 18800 ein Tragsicherheitsnachweis!			
¹⁾ Interaktion erforderlich, wenn für mindestens eine Wirkung das Versagen in der Schraube oder der Unterkonstruktion maßgebend ist.					

Tabelle 8 Gebrauchstauglichkeitsnachweise für Verbindungen in der Sandwichbauweise, Dachbauteil

Anmerkung zur Tabelle 8: Das Sicherheitsniveau der ECCS bzw. europäischen Norm weicht bei den Gebrauchstauglichkeitsnachweisen für die Verbindungen von den bauaufsichtlichen Zulassungen ab. Bei Verbindungsmittelnachweisen mit geringerem Sicherheitsniveau zu rechnen, ist sehr fragwürdig, handelt es sich doch hierbei generell um Tragsicherheitsnachweise, von daher wird empfohlen:

$$\gamma_F = 1,5 \quad \text{und} \quad \gamma_M = 1,33!$$

Siehe hierzu auch Anmerkung zur Tabelle 4, Seite 62.

Satius est enim otiosum esse quam nihil agere.
Es ist nämlich besser, Freizeit zu haben, als nichts zu tun.

In den Tabellen 1 bis 8 bedeuten:

g	Eigengewicht
s	Schneelast
w_d	Winddruck
w_s	Windsog
t_{wi}	Temperatur Winter
$t_{wi,s}$	Temperatur Winter, bei gleichzeitiger Schneelast
t_{so}	Temperatur Sommer
$\sigma_{k,Stütze}, \sigma_W$	Knitterspannung
β_s, f_{ty}	Stahlstreckgrenze des Deckbleches
β_r, f_{Cv}	Schubfestigkeit der Kernschicht
β_d, f_{Cc}	Druckfestigkeit der Kernschicht
a_{trag}	Abminderungsfaktor Knitterspannung, Tragfähigkeitsnachweis
a_{temp}	Abminderungsfaktor Knitterspannung, erhöhte Temperatur
η_t	Abminderungsfaktor Schubbeanspruchung
η_d	Abminderungsfaktor Druckfestigkeit
$F_{Z,k}$	charakteristische Schraubenzugkraft
zul F_Z	zulässige Schraubenzugkraft
$F_{Q,k}$	charakteristische Schraubenquerkraft
zul F_Q	zulässige Schraubenquerkraft
u_T	vorhandene Schraubenkopfauslenkung
zul u_T	zulässige Schraubenkopfauslenkung nach [12] oder [16]
α_T	linearer Wärmeausdehnungskoeffizient
$\Delta T \cdot L$	Produkt von Temperaturdifferenz und Stützweite des größten Feldes
Δg	Anteile infolge Kriechen unter Eigengewicht
Δs	Anteile infolge Kriechen unter Schneebeanspruchung
$\beta_{r,t}$	Schubfestigkeit nach Langzeitbeanspruchung

4.6 Bemessungsbeispiel 1, Sandwichwandbauteil mit quasi-ebenen Deckschichten, Bemessung nach bauaufsichtlicher Zulassung

Das Bemessungsbeispiel ist [15, 9.1.3, S.342-350] entnommen, hierbei handelt es sich um eine vertikal, als Dreifeldträger, verlegte Hoesch isowand LL 60.

Die Tragsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise werden nur für die bemessungsmaßgebenden Beanspruchungen dargestellt. Die für die Sandwichwandbauteilbemessung ungünstigste andrückende Beanspruchung resultiert häufig aus der Einwirkungskombination „Winddruck und Wintertemperatur“, die ungünstigste abhebende Beanspruchung häufig aus der Einwirkungskombination „Windsog und Sommertemperatur“.

Es können aber je nach statischem System, anzusetzenden Einwirkungen und vorhandenen Beanspruchbarkeiten auch andere Einwirkungskombinationen maßgebend werden. Weitere Angaben über denkbare, sinnvolle Einwirkungskombinationen können der im Anhang A.2 beigefügten EDV-Statik zu diesem Beispiel entnommen werden und sollten bei jeder „Sandwich-Statik für Wandbauteile“ ebenfalls untersucht werden.

Die für die Nachweise notwendigen Zulassungen für das Sandwichelement [17] und für die Verbindungsmittel [16] können von meiner Homepage heruntergeladen werden. Die Adresse lautet <http://www.statik-meier.de>.

Tempora labuntur tacitisque senescimus annis et fugiunt freno non remorante dies.

Die Zeit gleitet dahin, wir altern unmerklich in der Jahren und die Tage entfliehen, da kein Zügel sie zurückhält.

4.9 Bemessungsbeispiel - Dachbauteil nach ECCS/Euronorm



Difficile est longum subito deponere amorem.
Schwer ist es, eine langdauernde Liebe plötzlich abzulegen.

Modo liceat vivere, est spes.
Wenn man nur leben darf, gibt es Hoffnung.

Anhang

A.1 Einstufung der Farbtöne in Farbgruppen

Farbton	Farbgruppe
reinw eiß	I
w eiß	
cremew eiß	
hellelfenbein	
lichtgrau	
beige	II
kieselgrau	
w eißaluminium	
silbermetallic	
ockergelb	
sandbraun	
gelbgrün	
lichtblau	
rotorange	
meerblau	III
blutorange	
grasgrün	
blaugrün	
lila	
nussbraun	
olivgrün	
sepiabraun	
braungrün	
graualuminium	
schwarz	

Facias amicum, basiare quem nolis !
Mach dir jemanden zum Freund, den du nicht küssen willst !

Habet suum venenum blanda oratio.
Einschmeichelnde Worte haben ihr eigenes Gift.

A.2 Bemessungsbeispiel 1 als EDV-Statik, erstellt mit dem Programm SAN_WA

Zur Info:

Kleinere Unterschiede zur Buchdarstellung erklären sich wie folgt:

1. Das Programm SAN_WA setzt bei der Ermittlung des Schwerpunktabstandes der Deckschalen nicht die Nennblechdicke, sondern die Kernblechdicke ein:

Gesamtdicke $d = 6,0$ cm

Schwerpunktabstand der Deckschalen $e = 6,0 - 0,051 = 5,949$ cm

Fläche $A_s = 5,949 \cdot 100 = 594,9$ cm²/m

Trägheitsmoment $J_s = \frac{5,949^2 \cdot 5,1 \cdot 5,1}{5,1 + 5,1} = 90,25$ cm⁴/m

Widerstandsmoment, außen $W_{s,a} = \frac{90,25}{5,949 \cdot 1/2} = 30,34$ cm³/m

Widerstandsmoment, innen $W_{s,i} = \frac{90,25}{5,949 \cdot 1/2} = 30,34$ cm³/m

2. Die Stabhöhe A bei der Eingabe der Temperaturbeanspruchung wird von SAN_WA mit der Bauteildicke $d = 6,0$ cm gleich gesetzt.

Sed modo dilectam scelus est odisse puellam.

Ein Mädchen aber zu hassen, das man gerade noch geliebt hat, ist ein Verbrechen.

Sera nimis vita est crastina, vive hodie!

Allzu spät kommt ein Leben im "Morgen", lebe heute!

Pos 1 Hoesch isowand LL 60

1 Elementkenndaten isowand LL 60

gemäß bauaufsichtlicher Zulassung Z-10.4-232 der Fa. Hoesch Siegerlandwerke GmbH

Querschnittswerte je Meter Wandbreite

Linierte Deckschicht außen

Nennblechdicke = 0.55 mm
Kernblechdicke = 0.51 mm
Kernquerschnittsfläche = 5.10 cm²/m

Linierte Deckschicht innen

Nennblechdicke = 0.55 mm
Kernblechdicke = 0.51 mm
Kernquerschnittsfläche = 5.10 cm²/m

Sandwichplatte

Gesamtdicke = 60.0 mm

Widerstandsmoment außen = 30.34 cm³/m
innen = 30.34 cm³/m
Trägheitsmoment = 90.2 cm⁴/m
Biegesteifigkeit = 189.5 kNm²/m
Schubsteifigkeit T ≤ 20°C = 283.1 kN/m
T > 20°C = 235.9 kN/m

Materialkennwerte

Stahldeckschichten

E-Modul = 210000 N/mm²
Streckgrenze = 320 N/mm²
Bruchdehnung = 17 %

Schaumstoffkern

	T ≤ 20°C	T > 20°C
E-Modul	= 5.10 N/mm ²	4.20 N/mm ²
G-Modul	= 4.80 N/mm ²	4.00 N/mm ²
Schubfestigkeit	= 0.13 N/mm ²	0.11 N/mm ²

Druckfestigkeit = 0.13 N/mm²

Bemessungswerte - Knitterspannung

Linierte Deckschicht außen

Gebrauchsfähigkeitsnachweise
T ≤ 20°C T > 20°C
Sigma-K, Feld 132.0 N/mm² 109.6 N/mm²
Sigma-K, Stütze 106.0 N/mm² 88.0 N/mm²

Standortsicherheitsnachweise

T ≤ 20°C T > 20°C
Sigma-K, Feld 124.1 N/mm² 103.0 N/mm²
Sigma-K, Stütze 99.6 N/mm² 82.7 N/mm²

Linierte Deckschicht innen

Gebrauchsfähigkeitsnachweise
T ≤ 20°C T > 20°C
Sigma-K, Feld 132.0 N/mm² 109.6 N/mm²
Sigma-K, Stütze 119.0 N/mm² 98.8 N/mm²

Standortsicherheitsnachweise

T ≤ 20°C T > 20°C
Sigma-K, Feld 124.1 N/mm² 103.0 N/mm²
Sigma-K, Stütze 111.9 N/mm² 92.8 N/mm²

Angabe "Sigma-K" für n=3 Schrauben

2 Statisches System

3-Feldträger, vertikal verlegt

System	Länge	Verbundquerschnitt	obere Deckschale
Feld	L[m]	Js[cm ⁴]	J1[cm ⁴]
1	4.000	90.2	0.00
2	4.000	90.2	0.00
3	4.000	90.2	0.00

3 Lastannahmen

Belastung Last-Art: 1 = Trapezlast von a bis a+b
 2 = Einzellast bei a
 3 = Temperaturdifferenz über gesamte Trägerlänge

Wind	Last-Art	q1	Abstand	q2	Länge
		[kN/m ²]	[m]	[kN/m ²]	[m]
Wd,a	Winddruck, außen	1	0.500	0.000	0.500
Wd,a	Winddruck, außen	1	0.800	8.000	0.800
Ws,a	Windsog, außen	1	-0.250	0.000	-0.250
Ws,a	Windsog, außen	1	-0.400	8.000	-0.400

Temperatur Tragfähigkeit	dT1		
	[°C]		
Tso,t	Temperatur, Sommer	3	55.000
Twi,t	Temperatur, Winter	3	-40.000

Temperatur Gebrauchsfähigkeit	dT1		
	[°C]		
Tso,g	Temperatur, Sommer	3	55.000
Twi,g	Temperatur, Winter	3	-40.000

4 Schnittgrößen**4.1 Im rechnerischen Bruchzustand, Kette von Einfeldträgern****4.1.1 Wd, Winddruck**

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf	Xmf	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	1.000	2.00	1.230	2.00
2	1.000	2.00	1.230	2.00
3	1.600	2.00	1.968	2.00

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst	Qli	Qre	V
[-]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	1.000	1.000
2	0.000	-1.000	1.000	2.000
3	0.000	-1.000	1.600	2.600
4	0.000	-1.600	0.000	1.600

4.1.2 Ws, Windsog

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf	Xmf	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	-0.500	2.00	-0.615	2.00
2	-0.500	2.00	-0.615	2.00
3	-0.800	2.00	-0.984	2.00

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst	Qli	Qre	V
[-]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	-0.500	-0.500
2	0.000	0.500	-0.500	-1.000
3	0.000	0.500	-0.800	-1.300
4	0.000	0.800	0.000	-0.800

4.1.3 Tso, Temperatur Sommer

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf	Xmf	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.000	0.00	-2.200	2.00
2	0.000	0.00	-2.200	2.00
3	0.000	0.00	-2.200	2.00

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst	Qli	Qre	V
[-]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000

4.1.4 Twi, Temperatur Winter

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf	Xmf	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.000	0.00	1.600	2.00
2	0.000	0.00	1.600	2.00
3	0.000	0.00	1.600	2.00

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst	Qli	Qre	V
[-]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000

4.2 Im Gebrauchszustand, Durchlaufträger

4.2.1 Wd, Winddruck - normale Temperatur -

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf	Xmf	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.674	1.60	0.852	2.00
2	0.130	1.80	0.305	2.00
3	1.121	2.40	1.421	2.00

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst	Qli	Qre	V
[-]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.821	0.821
2	-0.716	-1.179	0.920	2.099
3	-1.037	-1.080	1.859	2.939
4	0.000	-1.341	0.000	1.341

4.2.2 Wd, Winddruck - erhöhte Temperatur

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf	Xmf	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.674	1.60	0.923	2.00
2	0.137	1.80	0.383	2.00
3	1.127	2.40	1.541	2.00

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst	Qli	Qre	V
[-]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.821	0.821
2	-0.714	-1.179	0.923	2.102
3	-1.022	-1.077	1.856	2.933
4	0.000	-1.344	0.000	1.344

4.2.3 Ws, Windsog - normale Temperatur -

Feldmomente / Durchbiegungen				
Feld	Mf	Xmf	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	-0.337	1.60	-0.426	2.00
2	-0.065	1.80	-0.152	2.00
3	-0.561	2.40	-0.710	2.00
Stützmomente / Auflagerkräfte				
Stütze	Mst	Qli	Qre	V
[-]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	-0.410	-0.410
2	0.358	0.590	-0.460	-1.049
3	0.518	0.540	-0.930	-1.470
4	0.000	0.670	0.000	-0.670

4.2.4 Ws, Windsog - erhöhte Temperatur

Feldmomente / Durchbiegungen				
Feld	Mf	Xmf	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	-0.337	1.60	-0.462	2.00
2	-0.069	1.80	-0.192	2.00
3	-0.564	2.40	-0.770	2.00
Stützmomente / Auflagerkräfte				
Stütze	Mst	Qli	Qre	V
[-]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	-0.411	-0.411
2	0.357	0.589	-0.461	-1.051
3	0.511	0.539	-0.928	-1.466
4	0.000	0.672	0.000	-0.672

4.2.5 Tso, Temperatur Sommer

Feldmomente / Durchbiegungen				
Feld	Mf	Xmf	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	2.359	4.00	-0.996	1.60
2	2.359	0.00	0.291	2.00
3	2.359	0.00	-0.996	2.40
Stützmomente / Auflagerkräfte				
Stütze	Mst	Qli	Qre	V
[-]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.590	0.590
2	2.359	0.590	0.000	-0.590
3	2.359	0.000	-0.590	-0.590
4	0.000	-0.590	0.000	0.590

4.2.6 Twi, Temperatur Winter

Feldmomente / Durchbiegungen				
Feld	Mf	Xmf	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	-1.732	4.00	0.717	1.60
2	-1.732	0.00	-0.229	2.00
3	-1.732	0.00	0.717	2.40
Stützmomente / Auflagerkräfte				
Stütze	Mst	Qli	Qre	V
[-]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	-0.433	-0.433
2	-1.732	-0.433	0.000	0.433
3	-1.732	0.000	0.433	0.433
4	0.000	0.433	0.000	-0.433

5 Sandwichprofilbemessung

5.1 Tragfähigkeitsnachweise

5.1.1 Grenz-Normalspannungen Deckschichten: Feld - $\gamma_{m1}=1.85$ $\gamma_{m2}=1.30$

Lastfallkombination [-]	Feld [-]	Sigma,a [N/mm ²]	Sigmak,a [N/mm ²]	Ausl. [-]	Sigma,i [N/mm ²]	Sigmak,i [N/mm ²]	Ausl. [-]
1.85*Wd	1	-61.0 <	124.1	0.491	61.0 <	320.0	0.191
	2	-61.0 <	124.1	0.491	61.0 <	320.0	0.191
	3	-97.6 <	124.1	0.786	97.6 <	320.0	0.305
1.85*Ws	1	30.5 <	320.0	0.095	-30.5 <	124.1	0.246
	2	30.5 <	320.0	0.095	-30.5 <	124.1	0.246
	3	48.8 <	320.0	0.152	-48.8 <	124.1	0.393

5.1.2 Grenz-Schubspannungen Kernmaterial: $\gamma_{m1}=1.85$ $\gamma_{m2}=1.30$ $\eta_{m2}=1.20$

Lastfallkombination [-]	Stütze [-]	Tau [N/mm ²]	betaTau [N/mm ²]	Ausl. [-]
1.85*Wd	1	0.031 <	0.092	0.342
	2	0.031 <	0.092	0.342
	3	0.050 <	0.092	0.548
	4	0.050 <	0.092	0.548
1.85*Ws	1	0.016 <	0.092	0.171
	2	0.016 <	0.092	0.171
	3	0.025 <	0.092	0.274
	4	0.025 <	0.092	0.274

5.1.3 Auflagerdrücke, Auflagerbreiten: $\gamma_{m1}=1.85$ $\eta_{m2}=1.20$

Lastfallkombination [-]	Stütze [-]	Al [kN/m]	erf b [mm]	vorh b [mm]	Ausl. [-]
1.85*Wd	1	1.850	17.1 <	40.0	0.427
	2	3.700	34.2 <	60.0	0.569
	3	4.810	44.4 <	60.0	0.740
	4	2.960	27.3 <	40.0	0.683

5.2 Gebrauchsfähigkeitsnachweise

5.2.1 Grenz-Normalspannungen Deckschichten: Feld - $\gamma_{m1}=1.10$ $\gamma_{m2}=1.10$

Lastfallkombination [-]	Feld [-]	Sigma,a [N/mm ²]	Sigmak,a [N/mm ²]	Ausl. [-]	Sigma,i [N/mm ²]	Sigmak,i [N/mm ²]	Ausl. [-]
1.10*(1.0*Wd+0.90*Tw)	1	-6.7 <	132.0	0.051	6.7 <	320.0	0.021
	2	ohne Bemessung					
	3	-20.5 <	132.0	0.155	20.5 <	320.0	0.064
1.10*(0.60*Ws+0.90*Ts)	1	ohne Bemessung					
	2	ohne Bemessung					
	3	ohne Bemessung					
1.10*(0.60*Wd+0.90*Ts)	1	-63.3 <	109.6	0.578	63.3 <	320.0	0.198
	2	-80.0 <	109.6	0.730	80.0 <	320.0	0.250
	3	-67.6 <	109.6	0.617	67.6 <	320.0	0.211
1.10*(1.0*Ws+0.90*Tw)	1	46.4 <	320.0	0.145	-46.4 <	132.0	0.352
	2	58.9 <	320.0	0.184	-58.9 <	132.0	0.446
	3	50.9 <	320.0	0.159	-50.9 <	132.0	0.386

5.2.2 Grenz-Normalspannungen Deckschichten: Stütze - $\gamma_{m1}=1.10$ $\gamma_{m2}=1.10$

Lastfallkombination [-]	Stütze [-]	Sigma,a [N/mm ²]	Sigmak,a [N/mm ²]	Ausl. [-]	Sigma,i [N/mm ²]	Sigmak,i [N/mm ²]	Ausl. [-]
1.10*(Wd+0.90*Tw)	2	82.5 <	320.0	0.258	-82.5 <	119.0	0.693
	3	94.1 <	320.0	0.294	-94.1 <	119.0	0.791
	2	-84.8 <	88.0	0.963	84.8 <	320.0	0.265
1.10*(0.60*Ws+0.90*Ts)	3	-88.1 <	88.0	1.001	88.1 <	320.0	0.275
	2	-61.5 <	88.0	0.699	61.5 <	320.0	0.192
	3	-54.8 <	88.0	0.622	54.8 <	320.0	0.171
1.10*(Ws+0.90*Tw)	2	43.5 <	320.0	0.136	-43.5 <	119.0	0.366
	3	37.7 <	320.0	0.118	-37.7 <	119.0	0.317

5.2.3 Grenz-Schubspannungen Kernmaterial: $\gamma_{\text{m-l}}=1.40$ $\gamma_{\text{m-t}}=1.40$ $\eta_{\text{m-t}}=1.00$

Lastfallkombination [-]	Stütze [-]	Tau [N/mm ²]		betaTau [N/mm ²]	Ausl. [-]
1.40*(Wd+Twi)	1	0.009	<	0.130	0.071
	2	0.038	<	0.130	0.294
	3	0.054	<	0.130	0.419
	4	0.022	<	0.130	0.166
1.40*(0.60*Ws+Tso)	1	0.008	<	0.110	0.074
	2	0.022	<	0.110	0.204
	3	0.027	<	0.110	0.247
	4	0.004	<	0.110	0.040
1.40*(0.60*Wd+Tso)	1	0.026	<	0.110	0.234
	2	0.013	<	0.110	0.120
	3	0.015	<	0.110	0.139
	4	0.033	<	0.110	0.301
1.40*(Ws+Twi)	1	0.020	<	0.130	0.154
	2	0.011	<	0.130	0.084
	3	0.013	<	0.130	0.099
	4	0.026	<	0.130	0.201

5.2.4 Auflagerdrücke, Auflagerbreiten: $\gamma_{\text{m-l}}=1.40$ $\gamma_{\text{m-t}}=1.40$ $\eta_{\text{m-d}}=1.00$

Lastfallkombination [-]	Stütze [-]	Al [kN/m]	erf b [mm]		vorh b [mm]	Ausl. [-]
1.40*(Wd+Twi)	1	0.543	4.2	<	40.0	0.104
	2	3.545	27.3	<	60.0	0.454
	3	4.721	36.3	<	60.0	0.605
	4	1.271	9.8	<	40.0	0.244
1.40*(0.60*Ws+Tso)	1	0.481	3.7	<	40.0	0.092
	4	0.261	2.0	<	40.0	0.050
1.40*(0.60*Wd+Tso)	1	1.516	11.7	<	40.0	0.292
	2	0.939	7.2	<	60.0	0.120
	3	1.638	12.6	<	60.0	0.210
	4	1.955	15.0	<	40.0	0.376

5.2.5 Durchbiegungen: $\gamma_{\text{m-l}}=1.00$ $\gamma_{\text{m-t}}=1.00$

Lastfallkombination [-]	Feld [-]	vorh f [cm]		zul f [cm]	Ausl. [-]
Wd+0.90*Twi	1	1.469	<	4.000	0.367
	2	0.099	<	4.000	0.025
	3	2.038	<	4.000	0.509
0.60*Ws+0.90*Tso	1	-1.153	<	4.000	0.288
	2	0.169	<	4.000	0.042
	3	-1.331	<	4.000	0.333
0.60*Wd+0.90*Tso	1	-0.431	<	4.000	0.108
	2	0.492	<	4.000	0.123
	3	-0.196	<	4.000	0.049
Ws+0.90*Twi	1	0.285	<	4.000	0.071
	2	-0.358	<	4.000	0.090
	3	0.112	<	4.000	0.028

6 Verbindung mit der Unterkonstruktion

6.1 Normalbereich der Wand

Versagenslast je Schraube: Endauflager Fz,k= 2,50 kN/Schraube
 Zwischenaflager Fz,k= 2,50 kN/Schraube

Auflagerkräfte, Einzellastfälle

Stütze	V(ws,t)	V(wd,g)	V(ws,g)	V(tso,g)	V(twi,g)
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	-0.500	0.821	-0.410	0.590	-0.433
2	-1.000	2.099	-1.049	-0.590	0.433
3	-1.300	2.939	-1.470	-0.590	0.433
4	-0.800	1.341	-0.670	0.590	-0.433

Auflagerkräfte, gamma-fache Lastfallkombinationen - erforderliche Schraubenzahl je Bauteilbreite, Bauteilbreite = 1.000 m

Lastfallkombination	Stütze	Vlfk	erf nVerb	gew nVerb
	[-]	[kN/m]	[-]	[-]
2.00*Ws,g+1.30*Tw	1	-1.384	2	2
2.00*Ws,g	2	-2.099	2	2
2.00*Ws,g	3	-2.939	2	2
2.00*Ws,g+1.30*Tw	4	-1.904	2	2

6.2 2m-Randbereich der Wand

Belastung Last-Art: 1 = Trapezlast von a bis a+b
 2 = Einzellast bei a
 3 = Temperaturdifferenz über gesamte Trägerlänge

Wind	Last-Art	q1	Abstand	q2	Länge
		[kN/m ²]	[m]	[kN/m ²]	[m]
Ws,a Windsog Randbereich	1	-1.000	0.000	-1.000	8.000
Ws,a Windsog Randbereich	1	-1.600	8.000	-1.600	4.000

Temperatur	Gebrauchsfähigkeit	dTl
		[°C]
Tso,g Temperatur, Sommer	3	55.000
Twi,g Temperatur, Winter	3	-40.000

Versagenslast je Schraube: Endauflager Fz,k= 2,50 kN/Schraube
 Zwischenaflager Fz,k= 2,50 kN/Schraube

Auflagerkräfte, Einzellastfälle

Stütze	V(ws,t)	V(wd,g)	V(ws,g)	V(tso,g)	V(twi,g)
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	-2.000	0.821	-1.642	0.590	-0.433
2	-4.000	2.099	-4.198	-0.590	0.433
3	-5.200	2.939	-5.878	-0.590	0.433
4	-3.200	1.341	-2.682	0.590	-0.433

Auflagerkräfte, gamma-fache Lastfallkombinationen - erforderliche Schraubenzahl je Bauteilbreite, Bauteilbreite = 1.000 m

Lastfallkombination	Stütze	Vlfk	erf nVerb	gew nVerb
	[-]	[kN/m]	[-]	[-]
2.00*Ws,t	1	-4.000	2	2
2.00*Ws,g	2	-8.396	4	4
2.00*Ws,g	3	-11.757	5	5
2.00*Ws,t	4	-6.400	3	3

Für die Zwischenstütze 3 sind 5 Schrauben pro Meter erforderlich. Die Knitterspannung ist an dieser Stelle: $\sigma_k = (11-5)/8 \cdot 88,0 = 66,0 < \text{vorh } \sigma = 88,9 \text{ N/mm}^2$

Die Sandwichwand ist somit im Randbereich nicht mit den vorgegebenen Stützweiten ausführbar, es müssen Zwischenriegel eingebaut werden!

A.3 Bemessungsbeispiel 2 als EDV-Statik, erstellt mit dem Programm SAN_DA

Zur Info:

Kleinere Unterschiede zur Buchdarstellung erklären sich wie folgt:

1. Das Programm SAN_DA rechnet bei der Ermittlung der Beanspruchungen mit einer höheren Genauigkeit. Um identische Schnittgrößen mit RSTAB zu erzielen, müssen die Berechnungsparameter für die Einheiten bei den Ergebnissen für Kräfte auf „N“ und für Momente auf „Nm“ eingestellt sein.
2. Das Programm SAN_DA berücksichtigt beim Gebrauchstauglichkeitsnachweis für langfristig wirkende Beanspruchungen bei der Ermittlung der Normalspannungen den „ECCS-Ansatz“. Berücksichtigt man wie im Buch ein $\gamma_L = 1,1$, dann beträgt die Normalspannung $1,1 \cdot 324,5 = 356,9 \text{ N/mm}^2$, dies bedeutet eine Auslastung von $356,9/350,0 \cdot 10^2 = 102,0 \%$

Tempora labuntur tacitisque senescimus annis et fugiunt freno non remorante dies.

Die Zeit gleitet dahin, wir altern unmerklich in den Jahren und die Tage entfliehen, da kein Zügel sie zurück hält.

Pos 1 Dachprofil FischerTherm DL 100

Elementkenndaten FischerTherm DL 100

gemäß bauaufsichtlicher Zulassung Z-10.4-179 der Firma Fischer Profil GmbH

Querschnittswerte je Meter Dachbreite

Trapezprofilierete Deckschicht außen

hT= 4.00 cm, e1= 3.08 cm

Nennblechdicke = 0.63 mm
Kernblechdicke = 0.59 mm
Kernquerschnittsfläche = 6.68 cm²/m
Widerstandsmoment = 4.7 cm³/m
Trägheitsmoment = 14.5 cm⁴/m
Biegesteifigkeit = 30.5 kNm²/m

Linierte Deckschicht innen

Nennblechdicke = 0.55 mm
Kernblechdicke = 0.51 mm
Kernquerschnittsfläche = 5.10 cm²/m

Sandwichplatte

d=10.00 cm a= 6.87 cm a1= 2.97 cm a2= 3.89 cm

Widerstandsmoment außen = 45.89 cm³/m
innen = 35.01 cm³/m
Trägheitsmoment = 136.3 cm⁴/m
Biegesteifigkeit = 286.3 kNm²/m
Schubsteifigkeit T <= 20°C = 247.1 kN/m
T > 20°C = 219.7 kN/m

Materialkennwerte

Stahldeckschichten

E-Modul = 210000 N/mm²
Streckgrenze = 350 N/mm²
Bruchdehnung = 17 %

Schaumstoffkern

T <= 20°C T > 20°C
E-Modul = 3.60 N/mm² 3.20 N/mm²
G-Modul = 3.60 N/mm² 3.20 N/mm²
Schubfestigkeit = 0.12 N/mm² 0.11 N/mm²

Druckfestigkeit = 0.10 N/mm²

Bemessungswerte - Knitterspannung

Trapezprofilierete Deckschicht außen

Gebrauchsfähigkeitsnachweise
T <= 20°C T > 20°C
Sigma-K, Feld 350.0 N/mm² 350.0 N/mm²
Sigma-K, Stütze 350.0 N/mm² 350.0 N/mm²

Standsicherheitsnachweise

T <= 20°C T > 20°C
Sigma-K, Feld 350.0 N/mm² 350.0 N/mm²
Sigma-K, Stütze 350.0 N/mm² 350.0 N/mm²

Linierte Deckschicht innen

Gebrauchsfähigkeitsnachweise
T <= 20°C T > 20°C
Sigma-K, Feld 111.0 N/mm² 104.3 N/mm²
Sigma-K, Stütze 100.0 N/mm² 94.0 N/mm²

Standsicherheitsnachweise

T <= 20°C T > 20°C
Sigma-K, Feld 104.3 N/mm² 98.1 N/mm²
Sigma-K, Stütze 94.0 N/mm² 88.4 N/mm²

2 Statisches System**2-Feldträger**

System	Länge	Verbundquerschnitt	obere Deckschale
Feld	L[m]	Js[cm ⁴]	J1[cm ⁴]
1	4.470	136.3	14.54
2	4.470	136.3	14.54

3 Lastannahmen

Belastung Last-Art: 1 = Trapezlast von a bis a+b
2 = Einzellast bei a
3 = Temperaturdifferenz über gesamte Trägerlänge

Äußere Lasten	Last-Art	q1	Abstand	q2	Länge
		[kN/m ²]	[m]	[kN/m ²]	[m]
G Eigengewicht	1	0.128	0.000	0.128	8.940
S Schneeregellast	1	0.750	0.000	0.750	8.940
Ws,a Windsog, außen	1	-0.660	0.000	-0.660	8.940
Temperatur Tragfähigkeit		dT1			
		[°C]			
Tso,t Sommer	3	55.000			
Twis,t Winter -mit Schnee-	3	-20.000			
Twit,t Winter	3	-40.000			
Temperatur Gebrauchsfähigkeit		dT1			
		[°C]			
Tso,g Sommer	3	55.000			
Twis,g Winter -mit Schnee-	3	-20.000			
Twig,g Winter	3	-40.000			

4 Schnittgrößen**4.1 Im rechnerischen Bruchzustand, Kette von Einfeldträgern****4.1.1 - zum Zeitpunkt t = 0 -****4.1.1.1 G, Eigengewicht**

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.046	2.30	0.289	2.30	0.326	2.30
2	0.046	2.30	0.289	2.30	0.326	2.30

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.070	0.230	0.299
2	0.000	0.000	-0.070	-0.230	0.070	0.230	0.599
3	0.000	0.000	-0.070	-0.230	0.000	0.000	0.299

4.1.1.2 S, Schneeregellast

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.255	2.30	1.618	2.30	1.822	2.30
2	0.255	2.30	1.618	2.30	1.822	2.30

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.390	1.286	1.676
2	0.000	0.000	-0.391	-1.286	0.390	1.286	3.353
3	0.000	0.000	-0.391	-1.286	0.000	0.000	1.676

4.1.1.3 Ws, Windsog

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	-0.164	2.30	-1.035	2.30	-1.166	2.30
2	-0.164	2.30	-1.035	2.30	-1.166	2.30

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.250	-0.823	-1.073
2	0.000	0.000	0.250	0.823	-0.250	-0.823	-2.146
3	0.000	0.000	0.250	0.823	0.000	0.000	-1.073

4.1.1.4 Tso, Temperatur Sommer

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	-0.265	2.30	0.265	2.30	-2.073	2.30
2	-0.265	2.30	0.265	2.30	-2.073	2.30

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.691	0.691	0.000
2	0.000	0.000	0.683	-0.683	-0.691	0.691	0.000
3	0.000	0.000	0.683	-0.683	0.000	0.000	0.000

4.1.1.5 TwiS, Temperatur Winter - mit Schnee -

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.096	2.30	-0.096	2.30	0.754	2.30
2	0.096	2.30	-0.096	2.30	0.754	2.30

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.251	-0.251	0.000
2	0.000	0.000	-0.249	0.249	0.251	-0.251	0.000
3	0.000	0.000	-0.249	0.249	0.000	0.000	0.000

4.1.1.6 Twi, Temperatur Winter - ohne Schnee -

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.192	2.30	-0.192	2.30	1.508	2.30
2	0.192	2.30	-0.192	2.30	1.508	2.30

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.503	-0.503	0.000
2	0.000	0.000	-0.497	0.497	0.503	-0.503	0.000
3	0.000	0.000	-0.497	0.497	0.000	0.000	0.000

4.1.2 - langfristig wirkende Belastung -

4.1.2.1 G, Eigengewicht

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.120	2.30	0.214	2.30	0.847	2.30
2	0.120	2.30	0.214	2.30	0.847	2.30

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.141	0.158	0.299
2	0.000	0.000	-0.141	-0.158	0.141	0.158	0.599
3	0.000	0.000	-0.141	-0.158	0.000	0.000	0.299

4.1.2.2 S, Schneeregellast

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.436	2.30	1.437	2.30	3.122	2.30
2	0.436	2.30	1.437	2.30	3.122	2.30

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.592	1.085	1.676
2	0.000	0.000	-0.592	-1.084	0.592	1.085	3.353
3	0.000	0.000	-0.592	-1.084	0.000	0.000	1.676

4.2 Im Gebrauchszustand, Durchlaufträger**4.2.1 - zum Zeitpunkt t = 0 -****4.2.1.1 G, Eigengewicht - normale Temperatur -**

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.033	1.80	0.167	1.80	0.191	2.00
2	0.033	2.80	0.167	2.80	0.191	2.60

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.063	0.168	0.232
2	-0.126	-0.177	-0.327	-0.041	0.329	0.038	0.735
3	0.000	0.000	-0.063	-0.168	0.000	0.000	0.232

4.2.1.2 G, Eigengewicht - erhöhte Temperatur -

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.034	1.80	0.167	1.80	0.202	2.10
2	0.034	2.80	0.167	2.80	0.202	2.60

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.066	0.166	0.232
2	-0.131	-0.170	-0.329	-0.038	0.331	0.036	0.734
3	0.000	0.000	-0.066	-0.166	0.000	0.000	0.232

4.2.1.3 S, Schneeregellast

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.182	1.80	0.937	1.80	1.070	2.00
2	0.182	2.80	0.937	2.80	1.070	2.60

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.354	0.942	1.296
2	-0.707	-0.993	-1.828	-0.229	1.843	0.214	4.113
3	0.000	0.000	-0.354	-0.942	0.000	0.000	1.296

4.2.1.4 Ws, Windsog - normale Temperatur -

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	-0.117	1.80	-0.600	1.80	-0.685	2.00
2	-0.117	2.80	-0.600	2.80	-0.685	2.60

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.226	-0.603	-0.829
2	0.453	0.636	1.170	0.146	-1.180	-0.137	-2.633
3	0.000	0.000	0.227	0.603	0.000	0.000	-0.829

4.2.1.5 Ws, Windsog - erhöhte Temperatur -

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	-0.123	1.80	-0.597	1.80	-0.722	2.10
2	-0.123	2.80	-0.597	2.80	-0.722	2.60

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.235	-0.596	-0.831
2	0.469	0.610	1.177	0.137	-1.186	-0.128	-2.629
3	0.000	0.000	0.235	0.596	0.000	0.000	-0.831

4.2.1.6 Tso, Temperatur Sommer

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	-0.177	0.80	3.183	4.47	-0.740	1.70
2	-0.177	3.80	3.183	0.00	-0.741	2.90

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.581	1.365	0.784
2	0.323	3.183	0.689	0.096	-0.695	-0.089	-1.569
3	0.000	0.000	0.574	-1.358	0.000	0.000	0.784

4.2.1.7 TwiS, Temperatur Winter - mit Schnee -

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.065	0.80	-1.180	4.47	0.267	1.70
2	0.065	3.80	-1.180	0.00	0.267	2.90

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.223	-0.513	-0.290
2	-0.116	-1.180	-0.253	-0.037	0.255	0.035	0.580
3	0.000	0.000	-0.221	0.511	0.000	0.000	-0.290

4.2.1.8 Twi, Temperatur Winter - ohne Schnee -

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.131	0.80	-2.361	4.47	0.534	1.70
2	0.131	3.80	-2.361	0.00	0.534	2.90

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.447	-1.027	-0.580
2	-0.231	-2.361	-0.505	-0.075	0.510	0.069	1.160
3	0.000	0.000	-0.441	1.021	0.000	0.000	-0.580

4.2.2 - langfristig wirkende Belastung -

4.2.2.1 G, Eigengewicht - normale Temperatur -

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.095	1.80	0.118	1.90	0.513	2.00
2	0.095	2.80	0.118	2.70	0.513	2.60

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.132	0.107	0.239
2	-0.228	-0.045	-0.349	-0.011	0.350	0.010	0.721
3	0.000	0.000	-0.132	-0.107	0.000	0.000	0.239

4.2.2.2 S, Schneeregellast

Feldmomente / Durchbiegungen

Feld	Mf,deck	Xmf,deck	Mf,verb	Xmf,verb	f	Xf
[-]	[kNm/m]	[m]	[kNm/m]	[m]	[cm]	[m]
1	0.352	1.80	0.825	1.80	2.000	2.00
2	0.352	2.80	0.825	2.80	2.001	2.60

Stützmomente / Auflagerkräfte

Stütze	Mst,deck	Mst,verb	Qli,deck	Qli,verb	Qre,deck	Qre,verb	V
[-]	[kNm/m]	[kNm/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.556	0.774	1.329
2	-1.036	-0.515	-1.915	-0.108	1.923	0.100	4.046
3	0.000	0.000	-0.556	-0.773	0.000	0.000	1.329

5 Sandwichprofilbemessung**5.1 Tragfähigkeitsnachweise für den Zeitpunkt t = 0****5.1.1 Grenz-Normalspannungen Deckschichten: Feld - $\gamma_l=1.85$ $\gamma_t=1.30$**

Lastfallkombination	Feld	Sigma,a	Sigmak,a	Ausl.	Sigma,i	Sigmak,i	Ausl.
[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]
1.85*(G+S)	1	-194.6	< 350.0	0.556	100.8	< 350.0	0.288
	2	-194.6	< 350.0	0.556	100.8	< 350.0	0.288
1.85*(G+S)+1.30*Twis	1	-218.4	< 350.0	0.624	97.2	< 350.0	0.278
	2	-218.4	< 350.0	0.624	97.2	< 350.0	0.278
1.85*G+1.30*Twis	1	-76.9	< 350.0	0.220	8.1	< 350.0	0.023
	2	-76.9	< 350.0	0.220	8.1	< 350.0	0.023
1.85*G+1.30*Tso	1	36.8	< 350.0	0.105	25.1	< 350.0	0.072
	2	36.8	< 350.0	0.105	25.1	< 350.0	0.072
1.85*(G+Ws)+1.30*Twis	1	17.7	< 350.0	0.051	-46.6	< 104.3	0.446
	2	17.7	< 350.0	0.051	-46.6	< 104.3	0.446
1.85*(G+0.60*Ws)+1.30*Tso	1	99.1	< 350.0	0.283	-7.7	< 98.1	0.079
	2	99.1	< 350.0	0.283	-7.7	< 98.1	0.079

5.1.2 Grenz-Schubspannungen Kernmaterial: $\gamma_l=1.85$ $\gamma_t=1.30$ $\eta_t=1.10$

Lastfallkombination	Stütze	Tau	betaTau	Ausl.
[-]	[-]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[-]
1.85*(G+S)	1	0.041	< 0.100	0.409
	2	0.041	< 0.100	0.409
	3	0.041	< 0.100	0.408
1.85*(G+S)+1.30*Twis	1	0.036	< 0.100	0.361
	2	0.036	< 0.100	0.361
	3	0.036	< 0.100	0.361
1.85*G+1.30*Twis	1	0.003	< 0.100	0.033
	2	0.003	< 0.100	0.033
	3	0.003	< 0.100	0.032
1.85*G+1.30*Tso	1	0.019	< 0.100	0.193
	2	0.019	< 0.100	0.193
	3	0.019	< 0.100	0.191
1.85*(G+Ws)+1.30*Twis	1	0.026	< 0.100	0.255
	2	0.026	< 0.100	0.255
	3	0.025	< 0.100	0.254
1.85*(G+0.60*Ws)+1.30*Tso	1	0.006	< 0.100	0.060
	2	0.006	< 0.100	0.060
	3	0.006	< 0.100	0.058

5.1.3 Auflagerdrücke, Auflagerbreiten: $\gamma_l=1.85$ $\eta_d=1.10$

Lastfallkombination	Stütze	Al	erf b	vorh b	Ausl.
[-]	[-]	[kN/m]	[mm]	[mm]	[-]
1.85*(G+S)	1	3.655	40.2	= 40.2	1.000
	2	7.310	80.4	= 80.4	1.000
	3	3.655	40.2	= 40.2	1.000

5.2 Tragfähigkeitsnachweise bei langfristig wirkender Belastung

5.2.1 Grenz-Normalspannungen Deckschichten: Feld - gamma-l= 1.85 gamma-t= 1.30

Lastfallkombination [-]	Feld [-]	Sigma,a [N/mm ²]	Sigmak,a [N/mm ²]	Ausl. [-]	Sigma,i [N/mm ²]	Sigmak,i [N/mm ²]	Ausl. [-]
1.85*(G+S)	1	-257.6	< 350.0	0.736	91.3	< 350.0	0.261
	2	-257.6	< 350.0	0.736	91.3	< 350.0	0.261
1.85*(G+S)+1.30*Twis	1	-281.4	< 350.0	0.804	87.7	< 350.0	0.251
	2	-281.4	< 350.0	0.804	87.7	< 350.0	0.251
1.85*G+1.30*Twis	1	-95.3	< 350.0	0.272	5.4	< 350.0	0.015
	2	-95.3	< 350.0	0.272	5.4	< 350.0	0.015
1.85*G+1.30*Tso	1	17.3	< 350.0	0.050	22.3	< 350.0	0.064
	2	17.3	< 350.0	0.050	22.3	< 350.0	0.064

5.2.2 Grenz-Schubspannungen Kernmaterial: gamma-l= 1.85 gamma-t= 1.30 eta-t= 1.00

Lastfallkombination [-]	Stütze [-]	Tau/betaTau,kriech [-]	Tau,temp/betaTau [-]	Ausl. [-]
1.85*(G+S)	1	0.714	+ 0.000	0.714
	2	0.714	+ 0.000	0.714
	3	0.713	+ 0.000	0.713
1.85*(G+S)+1.30*Twis	1	0.714	+ -0.040	0.674
	2	0.714	+ -0.040	0.674
	3	0.713	+ -0.039	0.674
1.85*G+1.30*Twis	1	0.097	+ -0.079	0.017
	2	0.097	+ -0.079	0.017
	3	0.097	+ -0.078	0.018
1.85*G+1.30*Tso	1	0.097	+ 0.109	0.206
	2	0.097	+ 0.109	0.206
	3	0.097	+ 0.108	0.204
1.85*(G+Ws)+1.30*Twis	1	-0.298	+ -0.079	0.377
	2	-0.298	+ -0.079	0.377
	3	-0.298	+ -0.078	0.376

5.3 Gebrauchsfähigkeitsnachweise für den Zeitpunkt t = 0

5.3.1 Grenz-Normalspannungen Deckschichten: Feld - gamma-l= 1.10 gamma-t= 1.10

Lastfallkombination [-]	Feld [-]	Sigma,a [N/mm ²]	Sigmak,a [N/mm ²]	Ausl. [-]	Sigma,i [N/mm ²]	Sigmak,i [N/mm ²]	Ausl. [-]
1.10*(G+S+0.90*Twis)	1	-76.1	< 350.0	0.217	20.3	< 350.0	0.058
	2	-76.1	< 350.0	0.217	20.3	< 350.0	0.058
1.10*(G+Twis)	1	ohne Bemessung					
	2	ohne Bemessung					
1.10*(G+Tso)	1	ohne Bemessung					
	2	ohne Bemessung					
1.10*(G+Ws+0.90*Twis)	1	29.1	< 350.0	0.083	-55.9	< 111.0	0.504
	2	29.1	< 350.0	0.083	-55.9	< 111.0	0.504
1.10*(G+0.60*Ws+0.90*Tso)	1	ohne Bemessung					
	2	ohne Bemessung					

5.3.2 Grenz-Normalspannungen Deckschichten: Stütze - gamma-l= 1.10 gamma-t= 1.10

Lastfallkombination [-]	Stütze [-]	Sigma,a [N/mm ²]	Sigmak,a [N/mm ²]	Ausl. [-]	Sigma,i [N/mm ²]	Sigmak,i [N/mm ²]	Ausl. [-]
1.10*(G+S+0.90*Twis)	2	271.7	< 350.0	0.776	-70.2	< 100.0	0.702
1.10*(G+Twis)	2	144.0	< 350.0	0.412	-79.7	< 100.0	0.797
1.10*(G+Tso)	2	-116.8	< 350.0	0.334	94.7	< 350.0	0.270
1.10*(G+Ws+0.90*Twis)	2	12.5	< 350.0	0.036	-52.4	< 100.0	0.524
1.10*(G+0.60*Ws+0.90*Tso)	2	-176.0	< 350.0	0.503	96.2	< 350.0	0.275

5.3.3 Grenz-Schubspannungen Kernmaterial: $\gamma_{s1} = 1.40$ $\gamma_{s2} = 1.40$ $\eta_{s2} = 1.00$

Lastfallkombination [-]	Stütze [-]	Tau [N/mm ²]		betaTau [N/mm ²]	Ausl. [-]
1.40*(G+S)	1	0.023	<	0.120	0.189
	2	0.006	<	0.120	0.046
	3	0.023	<	0.120	0.189
1.40*(G+S+TwiS)	1	0.012	<	0.120	0.101
	2	0.006	<	0.120	0.052
	3	0.012	<	0.120	0.102
1.40*(G+Twi)	1	0.018	<	0.120	0.146
	2	0.002	<	0.120	0.020
	3	0.017	<	0.120	0.145
1.40*(G+Tso)	1	0.031	<	0.110	0.284
	2	0.001	<	0.110	0.011
	3	0.031	<	0.110	0.283
1.40*(G+Ws+Twi)	1	0.030	<	0.120	0.248
	2	0.001	<	0.120	0.005
	3	0.030	<	0.120	0.247
1.40*(G+0.60*Ws+Tso)	1	0.024	<	0.110	0.218
	2	0.003	<	0.110	0.026
	3	0.024	<	0.110	0.216

5.3.4 Auflagerdrücke, Auflagerbreiten: $\gamma_{s1} = 1.40$ $\gamma_{s2} = 1.40$ $\eta_{s2} = 1.00$

Lastfallkombination [-]	Stütze [-]	A1 [kN/m]	erf b [mm]		vorh b [mm]	Ausl. [-]
1.40*(G+S+TwiS)	1	1.732	17.3	<	40.2	0.431
	2	7.599	76.0	<	80.4	0.945
	3	1.732	17.3	<	40.2	0.431
1.40*(G+Twi)	2	2.653	26.5	<	80.4	0.330
	3	1.423	14.2	<	40.2	0.354
1.40*(G+Tso)	1	1.423	14.2	<	40.2	0.354
	2	0.725	7.2	<	40.2	0.180
	3	0.725	7.2	<	40.2	0.180

5.3.5 Durchbiegungen: $\gamma_{s1} = 1.00$ $\gamma_{s2} = 1.00$

Lastfallkombination [-]	Feld [-]	vorh f [cm]		zul f [cm]	Ausl. [-]
1.00*(G+S+0.90*TwiS)	1	1.497	<	2.980	0.502
	2	1.497	<	2.980	0.502
1.00*(G+Twi)	1	0.721	<	2.980	0.242
	2	0.721	<	2.980	0.242
1.00*(G+Tso)	1	-0.545	<	2.980	0.183
	2	-0.545	<	2.980	0.183
1.00*(G+Ws+0.90*Twi)	1	-0.074	<	2.980	0.025
	2	-0.074	<	2.980	0.025
1.00*(G+0.60Ws+0.90*Tso)	1	-0.894	<	2.980	0.300
	2	-0.894	<	2.980	0.300

5.4 Gebrauchsfähigkeitsnachweise bei langfristig wirkender Belastung**5.4.1 Grenz-Normalspannungen Deckschichten: Feld - $\gamma_{s1} = 1.00$ $\gamma_{s2} = 1.00$**

Lastfallkombination [-]	Feld [-]	Sigma,a [N/mm ²]		Sigmak,a [N/mm ²]	Ausl. [-]	Sigma,i [N/mm ²]		Sigmak,i [N/mm ²]	Ausl. [-]	
1.00*(G+S+0.90*TwiS)	1	-114.1	<	350.0	0.326	13.7	<	350.0	0.039	
	2	-114.1	<	350.0	0.326	13.7	<	350.0	0.039	
1.00*(G+Twi)	1	ohne Bemessung								
	2	ohne Bemessung								
1.00*(G+Tso)	1	ohne Bemessung								
	2	ohne Bemessung								

5.4.2 Grenz-Normalspannungen Deckschichten: Stütze - gamma-l= 1.00 gamma-t= 1.00

Lastfallkombination [-]	Stütze [-]	Sigma,a [N/mm ²]	Sigmak,a [N/mm ²]	Ausl. [-]	Sigma,i [N/mm ²]	Sigmak,i [N/mm ²]	Ausl. [-]
1.00*(G+S+0.90*Twis)	2	324.5	< 350.0	0.927	-46.3	< 100.0	0.463
1.00*(G+Twi)	2	149.5	< 350.0	0.427	-68.7	< 100.0	0.687
1.00*(G+Tso)	2	-88.5	< 350.0	0.253	89.6	< 350.0	0.256

5.4.3 Grenz-Schubspannungen Kernmaterial: gamma-l= 1.40 gamma-t= 1.40 eta-t= 1.00

Lastfallkombination [-]	Stütze [-]	Tau/betaTau,kriech [-]	Tau,temp/betaTau [-]	Ausl. [-]
1.40*(G+S)	1	0.359	+	0.000
	2	0.049	+	0.000
	3	0.359	+	0.000
1.40*(G+S+Twis)	1	0.359	+	-0.087
	2	0.049	+	0.006
	3	0.359	+	-0.087
1.40*(G+Twi)	1	0.044	+	-0.174
	2	0.005	+	0.013
	3	0.044	+	-0.174
1.40*(G+Tso)	1	0.044	+	0.232
	2	0.005	+	-0.016
	3	0.044	+	0.231

5.4.4 Durchbiegungen: gamma-l= 1.00 gamma-t= 1.00

Lastfallkombination [-]	Feld [-]	vorh f [cm]	zul f [cm]	Ausl. [-]
1.00*(G+S)	1	2.509	< 2.980	0.842
	2	2.509	< 2.980	0.842

6 Verbindung mit der Unterkonstruktion**6.1 Normalbereich des Daches**

Versagenslast je Schraube: Endauflager Fz,k= 2,8 kN/Schraube
Zwischenaflager Fz,k= 2,8 kN/Schraube

Auflagerkräfte, Einzellastfälle

Stütze	V(g,t)	V(ws,t)	V(g,g)	V(s,g)	V(ws,g)	V(tso,g)	V(twi40,g)
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.299	-1.073	0.232	1.296	-0.830	0.781	-0.578
2	0.599	-2.146	0.735	4.112	-2.632	-1.563	1.156
3	0.299	-1.073	0.232	1.296	-0.830	0.781	-0.578

Auflagerkräfte, gamma-fache Lastfallkombinationen - erforderliche Schraubenzahl

Lastfallkombination	Stütze	Vlfk	erf nVerb	gew nVerb
	[-]	[kN/m]	[-]	[-]
2.00*(0.9*G,g+Ws,g)+1.30*TwI40	1	-1.993	2	2
2.00*(0.9*G,g+Ws,g)	2	-3.941	2	2
2.00*(0.9*G,g+Ws,g)+1.30*TwI40	3	-1.993	2	2

6.2 Rand/Normalbereich des Daches

Belastung Last-Art: 1 = Trapezlast von a bis a+b
2 = Einzellast bei a
3 = Temperaturdifferenz über gesamte Trägerlänge

Äußere Lasten	Last-Art	q1	Abstand	q2	Länge
		[kN/m ²]	[m]	[kN/m ²]	[m]
Ws,a Windsog Randbereich	1	-1.980	0.000	-1.980	2.000
Ws,a Windsog Normalbereich	1	-0.660	0.000	-0.660	2.470
Ws,a Windsog Normalbereich	1	-0.660	4.470	-0.660	4.470

Temperatur Gebrauchsfähigkeit

	dT1
	[°C]
Tso,g Sommer	3 55.000
TwI5,g Winter	3 -20.000
TwI,g Winter	3 -40.000

Versagenslast je Schraube: Endauflager Fz,k= 2,8 kN/Schraube
Zwischenaflager Fz,k= 2,8 kN/Schraube

Auflagerkräfte, Einzellastfälle

Stütze	V(g,t)	V(ws,t)	V(g,g)	V(s,g)	V(ws,g)	V(tso,g)	V(twi40,g)
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.286	-4.254	0.221	1.296	-3.823	0.780	-0.576
2	0.572	-2.811	0.702	4.112	-3.673	-1.559	1.151
3	0.286	-1.475	0.221	1.296	-1.044	0.780	-0.576

Auflagerkräfte, gamma-fache Lastfallkombinationen - erforderliche Schraubenzahl

Lastfallkombination	Stütze	Vlfk	erf nVerb	gew nVerb
	[-]	[kN/m]	[-]	[-]
2.00*(0.9*G,g+Ws,g)+1.30*TwI40	1	-7.996	3	3
2.00*(0.9*G,g+Ws,g)	2	-6.083	3	3
2.00*(0.9*G,g+Ws,g)+1.30*TwI40	3	-2.438	2	2

6.3 Eck/Randbereich des Daches

Belastung Last-Art: 1 = Trapezlast von a bis a+b
 2 = Einzellast bei a
 3 = Temperaturdifferenz über gesamte Trägerlänge

Äußere Lasten	Last-Art	q1 [kN/m ²]	Abstand [m]	q2 [kN/m ²]	Länge [m]
Ws,a Windsog Eckbereich	1	-3.520	0.000	-3.520	2.000
Ws,a Windsog Randbereich	1	-1.980	0.000	-1.980	2.470
Ws,a Windsog Randbereich	1	-1.980	4.470	-1.980	4.470

Temperatur Gebrauchsfähigkeit	dT1 [°C]
Tso,g Sommer	3 55.000
Twis,g Winter	3 -20.000
Twil,g Winter	3 -40.000

Versagenslast je Schraube: Endauflager Fz,k= 2,8 kN/Schraube
 Zwischenaflager Fz,k= 2,8 kN/Schraube

Auflagerkräfte, Einzellastfälle

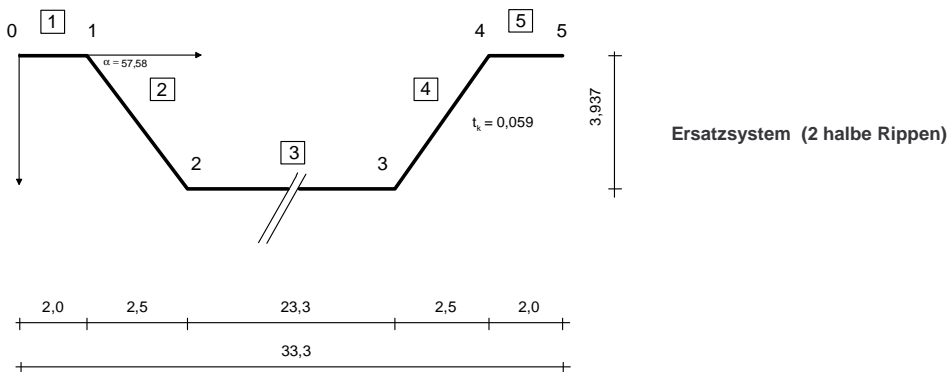
Stütze	V(g,t)	V(ws,t)	V(g,g)	V(s,g)	V(ws,g)	V(tso,g)	V(twi40,g)
[-]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]
1	0.286	-9.004	0.221	1.296	-7.929	0.780	-0.576
2	0.572	-7.351	0.702	4.112	-9.501	-1.559	1.151
3	0.286	-4.425	0.221	1.296	-3.350	0.780	-0.576

Auflagerkräfte, gamma-fache Lastfallkombinationen - erforderliche Schraubenanzahl

Lastfallkombination	Stütze	Vlfk	erf nVerb	gew nVerb
	[-]	[kN/m]	[-]	[-]
2.00*(0.9*G,t+Ws,t)	1	-17.494	7	6 ***
2.00*(0.9*G,g+Ws,g)	2	-17.739	7	6 ***
2.00*(0.9*G,t+Ws,t)	3	-8.336	3	3

Aufgrund der großen Schraubenanzahl an der 1. und 2. Stütze ist im Eck/Randbereich des Daches eine Stützweitenreduzierung erforderlich!

A.4 Querschnittswernermittlung Deckblech - FischerTherm DL 100 mit Programm MIFLA



Wiederholung der Eingabe:
=====

Anzahl der Flächenelemente : 5
Anfangspunktkoordinaten ya (cm) : .000
za (cm) : .000

Element Nr.	Länge (cm)	Dicke (cm)	Richtungswinkel (Grad)
1	2.000	.059	180.000
2	4.664	.059	57.580
3	23.300	.059	-57.580
4	4.664	.059	-57.580
5	2.000	.059	57.580

Querschnittswerte:
=====

A (cm ²)=	2.161	It (cm ⁴)=	.003
Iy (cm ⁴)=	4.627	alpha (Grad)=	.000
Iz (cm ⁴)=	208.316	Ieta (cm ⁴)=	4.627
Iyz (cm ⁴)=	.000	Izeta (cm ⁴)=	208.316
iy (cm)=	1.463	ieta (cm)=	1.463
iz (cm)=	9.818	izeta (cm)=	9.818
ys (cm)=	-16.150	Ys-M (cm)=	.000
zs (cm)=	3.006	Zs-M (cm)=	2.456
Cm (cm ⁶)=	317.582		

Querschnittswerte für Sandwichberechnung, bezogen auf 1 Meter Bauteilbreite:
=====

A (cm²/m) = 2.161 / 0.333 = 6.489
Iy (cm⁴/m) = 4.627 / 0.333 = 13.89
zs (cm) = 3.006

ea,1 (cm) = zs = 3.006
ea,2 (cm) = 4.0 - 3.006 = 0.994

Koordinaten:
 =====

Punkt Nr.	Yo [cm] (Grundsystem)	Zo [cm]	Ys [cm] (Einheitssystem)	Zs [cm]	Yh [cm] (Hauptsystem)	Zh [cm]
0	.000	.000	16.150	-3.006	16.150	-3.006
1	-2.000	.000	14.150	-3.006	14.150	-3.006
2	-4.500	3.937	11.650	.931	11.650	.931
3	-27.800	3.937	-11.650	.931	-11.650	.931
4	-30.301	.000	-14.150	-3.006	-14.150	-3.006
5	-32.301	.000	-16.150	-3.006	-16.150	-3.006

Waelbkoordinaten:
 =====

Nr.	Wo [cm**2] (Grundsystem)	Ws [cm**2] (Einheitssystem)	Wh [cm**2] (Hauptsystem)
0	.000	-53.033	-13.363
1	.000	-53.033	-24.287
2	-7.874	-60.907	17.767
3	83.859	30.826	-17.767
4	203.157	150.123	24.287
5	203.157	150.123	13.363

Widerstandsmomente:
 =====

Punkt Nr.	Wys[cm**3] (Einheitssystem)	Wzs[cm**3]	Wyh[cm**3] (Hauptsystem)	Wzh[cm**3]
0	-1.525	12.898	-1.525	12.898
	-1.540	12.898	-1.540	12.898
	-1.555	12.898	-1.555	12.898
1	-1.525	14.738	-1.525	14.738
	-1.540	14.721	-1.540	14.721
	-1.555	14.705	-1.555	14.705
2	5.132	17.906	5.132	17.906
	4.969	17.881	4.969	17.881
	4.816	17.856	4.816	17.856
3	5.132	-17.906	5.131	-17.906
	4.969	-17.881	4.969	-17.881
	4.816	-17.856	4.816	-17.856
4	-1.525	-14.738	-1.525	-14.738
	-1.540	-14.722	-1.540	-14.722
	-1.555	-14.705	-1.555	-14.705
5	-1.525	-12.898	-1.525	-12.898
	-1.540	-12.898	-1.540	-12.898
	-1.555	-12.898	-1.555	-12.898

Anmerkung: Das Programm MIFLA kann bei Interesse kostenlos über <http://www.statik-meier.de> angefordert werden.

Rückseite Mifla

Literatur

- [1] Stamm, K.: Sandwichwände mit metallischen Deckschichten als Wandbauelemente im Bauwesen. Der Stahlbau, Heft 5, S. 135-143, 1984.
- [2] Schwarze, K.: Numerische Methoden zur Berechnung von Sandwich-Elementen. Der Stahlbau, Heft 12, S. 363-370, 1984.
- [3] Berner, K.: Praxisgerechte Nachweise zur Trag- und Gebrauchsfähigkeit von Sandwichbauteilen. Der Stahlbau, Heft 12, S. 911-925, 1998.
- [4] Stamm, K.: Sandwichelemente mit metallischen Deckschichten als Dachbautafeln im Bauwesen. Der Stahlbau, Heft 8, S. 231-236, 1984.
- [5] Stamm, K. u. Witte, H.: Sandwichkonstruktionen – Berechnung, Fertigung, Ausführung, Springer Verlag, Wien – New York 1974.
- [6] Berner, K.: Erarbeitung vollständiger Bemessungsunterlagen im Rahmen bautechnischer Zulassungen für Sandwichbauteile, Forschungsvorhaben DIBt, Berlin 1995.
- [7] ECCS: European Recommendations for Sandwich Panels. TWG 7.9, 2000.
- [8] Burkhardt, S.: Kriechverhalten von Sandwichelementen. Der Stahlbau, Heft 8, S. 281-284, 1990.
- [9] Jungbluth, O., Berner, K.: Verbund- und Sandwichtragwerke, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg/New York/Tokyo 1986.
- [10] Davies, J. M.: Lightweight sandwich constructions, Blackwell Science Ltd 2001
- [11] prEN 14509: Selbsttragende Sandwich-Dämmelemente mit beidseitiger Metalldeckschicht, 2005.
- [12] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Sandwichelemente verschiedener Hersteller z.B. Fischer, ThyssenKrupp Hoesch Bausysteme usw.
- [13] Burkhardt, S.: Zeitabhängiges Verhalten von Sandwichelementen mit Metalldeckschichten und Stützkernen aus Polyurethanhartschaumstoffen, Dissertation TH Karlsruhe 1988.
- [14] Raabe, Oliver, Schnittgrößenermittlung bei Sandwichbauteilen mit Hilfe von MS-EXCEL, 2003.
- [15] Möller, R., Pöter, H., Schwarze, K.: Planen und Bauen mit Trapezprofilen und Sandwichelementen, Ernst & Sohn Verlag, Berlin 2004.
- [16] DIBt, Z-14.4-407 Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Verbindungselemente bei Konstruktionen mit Sandwichelementen vom 13.11.2001.
- [17] Hoesch isowand, isodach, isowelle, Zulassungs-Nr. Z-10.4-232 vom 26. April 2000
- [18] Fischer Isotherm-Wand und Dachelemente, Zulassungs-Nr. Z-10.4-179 vom 20. August 2001
- [19] FischerTherm Lieferprogramm/Belastungstabellen

Rückseite Literatur

Umschlag hinten, innen

Umschlag hinten, außen