

**Bernd Meier**

# Sandwichelemente für Dach und Wand

**Statische Bemessung nach EN 14509, bauaufsichtlichen  
Zulassungen, ECCS - mit Beispielen**

**Motivierende Mischung  
von Theorie und Praxis**

**Statische Berechnungen  
- einfach und schnell -**



**Meier58**

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>7</b>
<b>1 Tragwirkung - Sandwichelement</b>	<b>9</b>
<b>2 Systemidealisierung</b>	<b>10</b>
<b>2.1 Sandwichelement mit beidseitig quasi-ebenen Deckschichten</b>	<b>10</b>
2.1.1 Berechnungsbeispiele zur Ermittlung der Beanspruchungen	12
2.1.1.1 Beispiel 1 – Sandwichwand mit beidseitig quasi-ebenen Deckschichten, Schnittgrößenermittlung für $w_d$ und $t_{wi}$	12
2.1.1.2 Beispiel 2 – Sandwichwand mit beidseitig quasi-ebenen Deckschichten, Schnittgrößenermittlung für $w_s$ und $t_{so}$	19
<b>2.2 Sandwichelement mit einer trapezprofilierten und einer quasi-ebenen Deckschicht</b>	<b>25</b>
2.2.1 Berechnungsbeispiele zur Ermittlung der Beanspruchungen	30
2.2.1.1 Beispiel 3 – Sandwichwand mit einer trapezprofilierten äußeren- und einer quasi-ebenen inneren Deckschicht, Schnittgrößenermittlung für $w_d$ und $t_{wi}$	30
2.2.1.2 Beispiel 4 – Sandwichprofil mit einer trapezprofilierten äußeren und einer quasi-ebenen inneren Deckschicht, Schnittgrößenermittlung für Einzel- und beliebige Trapezlasten	39
<b>2.3 Berücksichtigung des Schubkriechens unter Dauerbeanspruchung</b>	<b>47</b>
2.3.1 Berechnungsbeispiel zur Ermittlung der Beanspruchungen	49
2.3.1.1 Beispiel 5 – Sandwichdach	49
<b>3 Statische Bemessung von Sandwichelementen</b>	<b>53</b>
<b>3.1 Nachweise für tragende Sandwichbauteile</b>	<b>55</b>
<b>3.2 Nachweise für Sandwichwandbauteile</b>	<b>56</b>
3.2.1 Tragsicherheitsnachweise	56
3.2.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweise	57
<b>3.3 Nachweise für Verbindungen in der Sandwichbauweise - Wandbauteil</b>	<b>59</b>
3.3.1 Tragsicherheitsnachweise	59
3.3.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweise	60

<b>3.4</b>	<b>Nachweise für Sandwichdachbauteile .....</b>	<b>61</b>
3.4.1	Tragsicherheitsnachweise .....	61
3.4.2	Gebrauchstauglichkeitsnachweise .....	62
<b>3.5</b>	<b>Nachweise für Verbindungen in der Sandwichbauweise - Dachbauteil .....</b>	<b>64</b>
3.5.1	Tragsicherheitsnachweise .....	64
3.5.2	Gebrauchstauglichkeitsnachweise .....	65
<b>3.6</b>	<b>Bemessungsbeispiele für Wand- und Dachbauteile nach bau- aufsichtlicher Zulassung in der bisher üblichen Form.....</b>	<b>67</b>
3.6.1	Bemessungsbeispiel 1, Sandwichwandbauteil mit quasi-ebenen Deckschichten, Hoesch isowand LL60 nach Z-10.4-232 .....	67
3.6.2	Bemessungsbeispiel 2, Sandwichdachbauteil mit einer trapezprofi- lierten äußeren und einer quasi-ebenen inneren Deckschicht, FischerTherm DL100 nach Z-10.4-179 .....	87
<b>3.7</b>	<b>Bemessungsbeispiele für Wand- und Dachbauteile nach bau- aufsichtlicher Zulassung gemäß EN14509 bzw. Verwendungs- zulassung .....</b>	<b>120</b>
3.7.1	Bemessungsbeispiel 3, Sandwichwandbauteil mit quasi-ebenen Deckschichten, Hoesch Thermowand LL60 nach Z-10.49-533 .....	120
3.7.2	Bemessungsbeispiel 4, Sandwichdachbauteil mit einer trapezprofi- lierten äußeren und einer quasi-ebenen inneren Deckschicht, Kingspan KS1000 RW100 nach Z-10.49-536 .....	136
<b>Anhang</b>	<b>.....</b>	<b>141</b>
A.1	Einstufung der Farbtöne in Farbgruppen .....	141
A.2	Bemessungsbeispiel 1 als EDV-Statik, erstellt mit dem Programm STAU58 – Modul Sandwichwandelemente (nach Z-10.4-232) .....	142
A.3	Querschnittswertermittlung Deckblech - FischerTherm DL 100 mit Programm MIFLA .....	151
A.4	Bemessungsbeispiel 2 als EDV-Statik, erstellt mit dem Programm STAU58 – Modul Sandwichdachelemente (nach Z-10.4-179) .....	153
A.5	Bemessungsbeispiel 3 als EDV-Statik, erstellt mit dem Programm STAU58 – Modul Sandwichwandelemente (nach Z-10.49-533) .....	165
A.6	Bemessungsbeispiel 3 als EDV-Statik, erstellt mit dem Programm STAU58 – Modul Sandwichwandelemente (nach Z-10.4-345) .....	175
A.7	Querschnittswertermittlung Deckblech – Kingspan KS1000 RW100 mit Programm MIFLA .....	185
A.8	Bemessungsbeispiel 4 als EDV-Statik, erstellt mit dem Programm STAU58 – Modul Sandwichdachelemente (nach Z-10.49-536) .....	187

## 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.

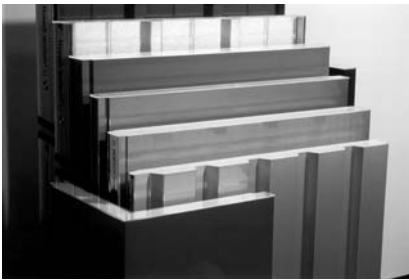


Bild 1 Sandwichelemente

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.

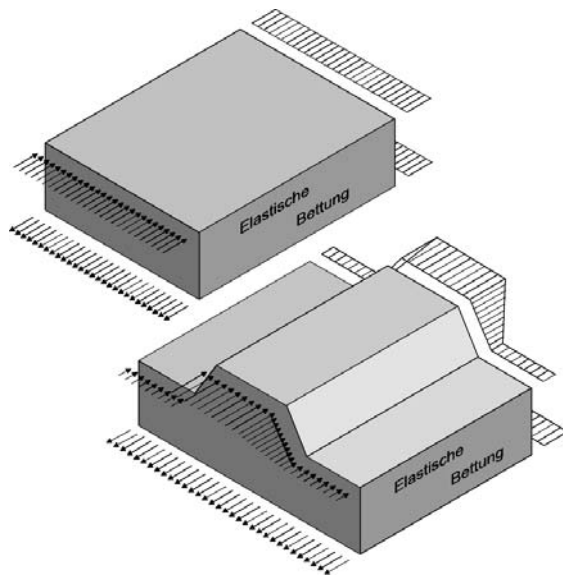
Ohne größeren Zeitaufwand können Einwirkungsarten wie Trapezlasten, Linienlasten, Temperaturlasten, Zwangsverformungen etc. berücksichtigt werden. Selbst eine große Feldanzahl, unterschiedliche Stützweiten, Kragarme, Stützensenkungen und Stützenfedern stellen je nach Ausstattung des Programms kein Problem 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 grafisch dargestellten Schnittgrößen- und Verformungsberechnungen wurden mit dem Stabwerkprogramm RSTAB 5.xxx der Fa. Ing. Software Dlubal GmbH ermittelt, die restlichen Berechnungen sind mit dem Programm STAU58 Modul Sandwichwandelemente bzw. Sandwichdachelemente erstellt worden. STAU58 setzt bei der Schnittgrößenermittlung einen integrierten „Stabwerk-Rechenkern“ ein, selbstverständlich können aber auch alle Beispiele mit Stabwerkprogrammen anderer Hersteller nachvollzogen werden.

**Cum tempore invenietur 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 Norm-

malkräfte 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.

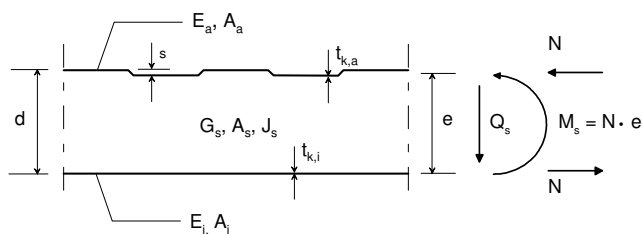
**Naturalia non sunt turpia**  
*Natürliches ist keine Schande.*

## 2 Systemidealisierung

### 2.1 Sandwehenelement 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 Sandwehenelementträger 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 Deckschichten

$s$  : Sickenhöhe

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

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

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

$E_a, A_a$  : 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.*



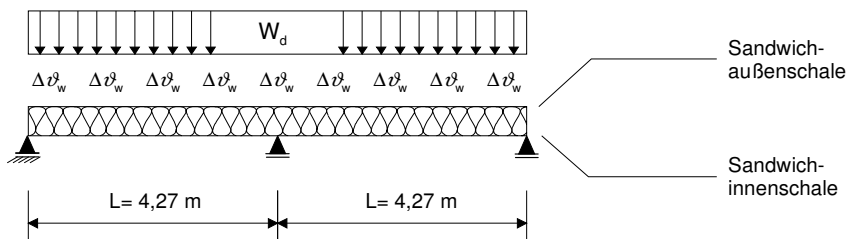
## 2.1.1 Berechnungsbeispiele zur Ermittlung der Beanspruchungen

### 2.1.1.1 Beispiel 1 - Sandwichwand mit beidseitig quasi-ebenen Deckschichten, Schnittgrößenermittlung für $w_d$ und $t_{wi}$

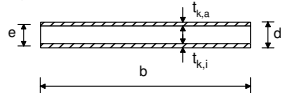
Als Zahlenbeispiel für die Eingabe der RSTAB-Strukturdaten sowie der Schnittgrößenermittlung wird eine Sandwichplatte mit linierten Deckschichten und einer Feldweite von  $L = 4,27\text{ m}$  gemäß Bild 4 herangezogen, vgl.[1, 5.1.4].

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:



$$d = 60\text{ mm} \quad t_{k,a} = t_{k,i} = 0,50\text{ mm}$$

$$e = 59,5\text{ mm} \quad A_{k,a} = A_{k,i} = 0,05 \cdot 100 = 5\text{ cm}^2/\text{m}$$

$$b = 1,0\text{ m}$$

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

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

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 Struktur- und Einwirkungsdaten

#### Knoten- und Materialdaten

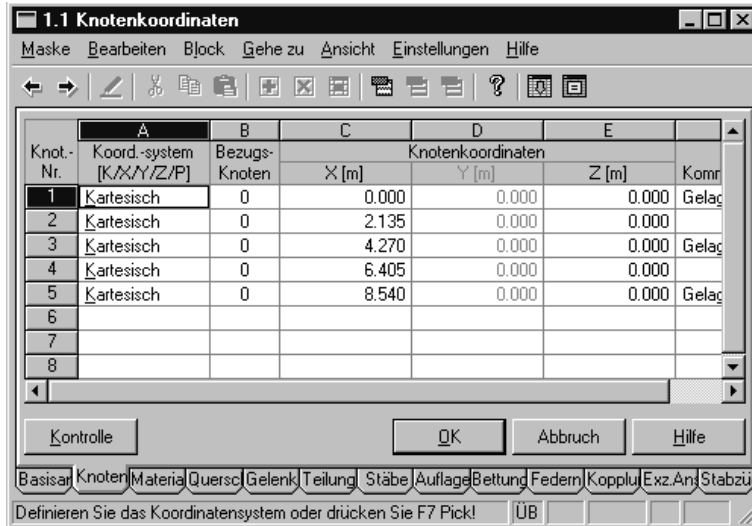


Bild 5 Beispiel 1 - Knotenkoordinaten

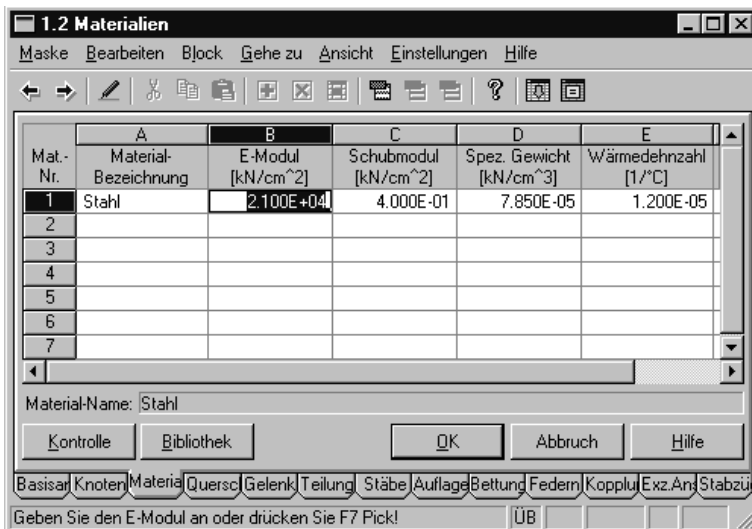


Bild 6 Beispiel 1 - Materialdaten