

## MS-EXCEL®-Tools – Teil 2 Auswertung von Schubversuchen

Raabe, Oliver

### Zusammenfassung

In diesem zweiten Bericht wird die Auswertung von Schubversuchen bei Sandwichbauteilen mit Hilfe eines „kleinen“ EDV-Programms auf der Basis der Tabellenkalkulation EXCEL® von Microsoft® und auf Grundlage der DIBt-Richtlinien [1] bzw. der zukünftigen europäischen Norm für Sandwichbauteile prEN 14509 [2], [3] vorgestellt. Das Programm kann kostenfrei als Freeware über die Homepage des Instituts für Sandwichtechnik - Mainz (iS-Mainz) unter [www.sandwich.fh-mainz.de](http://www.sandwich.fh-mainz.de) bezogen werden.

### Abstract

This report introduces a Microsoft-EXCEL® based program evaluating shear tests on the base of the DIBt recommendations [1] or on the base of the new European standard prEN 14509 [2]. The program can be downloaded from the Institute for Sandwich Technology – Mainz home-page at [www.sandwich.fh-mainz.de](http://www.sandwich.fh-mainz.de) as freeware.

### 1. Problemstellung

Sandwichbauteile, die in der Regel aus zwei dünnen Deckschichten (z. B. Metalldeckschichten) und einem schubsteifen Kernmaterial (PUR, PIR, EPS, Mineralwolle etc.) bestehen, werden aufgrund ihrer baupraktischen Vorteile heute großtechnisch für Dach- und Wandverkleidungen eingesetzt. Zur Schnittgrößenermittlung (z. B. nach [4]) und Bemessung sind unter anderem Materialkennwerte und Festigkeiten der jeweiligen Kernschicht erforderlich. Diese können nur mit Hilfe von Versuchen ermittelt werden. Dazu sehen [1] bzw. [2], [3] Versuche an kurzen Balken vor, die über eine Last-Verformungskurve die erforderlichen Angaben zur Ermittlung des Schubmoduls und der Schubfestigkeit liefern.

Mit Hilfe des hier vorgestellten EXCEL® Arbeitsblattes können die einzelnen Versuche ausgewertet werden und nach Eingabe der Versuchsparameter und -ergebnisse der Schubmodul und die Schubfestigkeit direkt bestimmt werden.

### 2. Aufbau, Durchführung und Protokollierung der Versuche

Sowie nach den nationalen Regelungen [1], Abschnitt 3.1.9 und 3.1.10 sowie nach der zukünftigen europäischen Norm für Sandwichbauteile prEN 14509 [3]

bzw. DIN V ENV 14509 [2], Abschnitt A.3 sind Schubversuche für das Kernmaterial durchzuführen. Dies ist an 4-Punkt-Biegeversuchen (Bild 1 und 2) mit Deckschichten aus nicht profilierten Sandwichbereichen zu bestimmen.

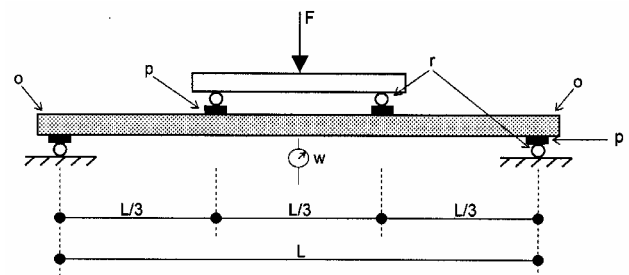


Bild 1: Vier-Punkt-Biegeversuch ([2], Bild A.4)

Fig. 1: Four-Point-Bending-Test ([3], Fig. A.4)

Die Kürzel in Bild 1 bedeuten:

- F = aufgebrachte Last
- r = Walzen zur frei drehbaren Lagerung
- w = Messung der Durchbiegung
- p = Lastverteiler
- o = Überstand ( $\leq 50$  mm)
- L = Stützweite

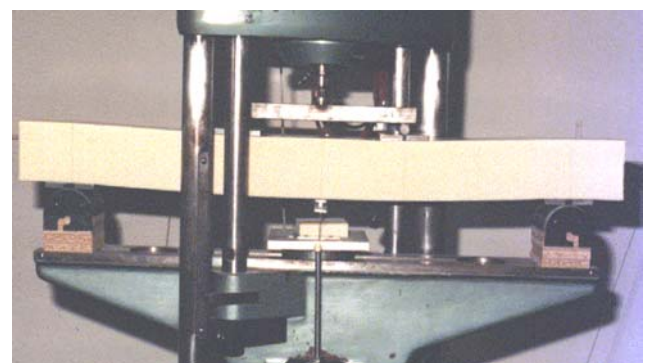


Bild 2: Schubversuch am kurzen Balken

Fig. 2: Shear test on short beams

Dabei ist die Stützweite so zu wählen, dass Schubversagen (Bild 3 und 4) zu erwarten ist.

Weitere Angaben zu den erforderlichen Versuchen, z. B. wie Versuchsdauer, Probenanzahl und erforder-

liche Protokollierungen können [1], [2] und [3] entnommen werden.

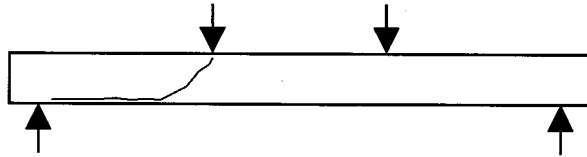


Bild 3: Typischer Schubbruch ([2], Bild A.5)  
 Fig. 3: Typical shear failure ([3], Fig. A.5)

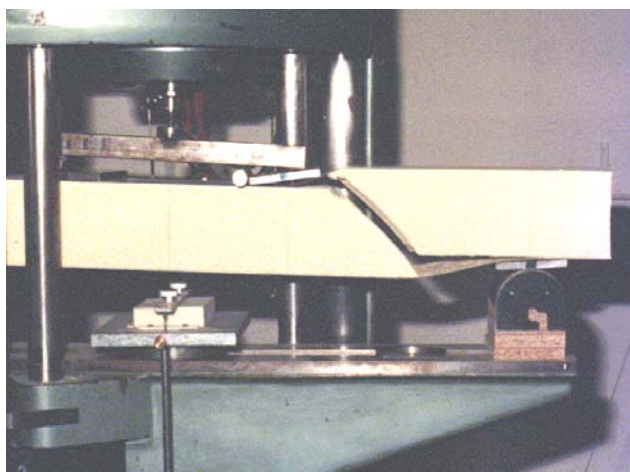


Bild 4: Schubversuch im Bruchzustand  
 Fig. 4: Shear test after failure of specimen

Die Versuche sind unter anderem in Last-Verformungsdiagrammen (Bild 5) aufzunehmen.

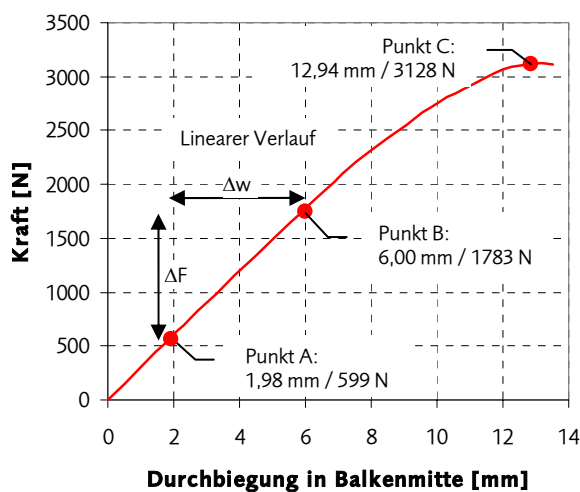


Bild 5: Last-Verformungsdiagramm von Versuch Nr. 4  
 Fig. 5: Force – deflection plot from test No. 4

Zwischen den Punkten A und B ist ein linearer Verlauf der Lastverformungskurve ( $\Delta F/\Delta w$ ) zu erkennen. Für diesen Bereich wird der Schubmodul bestimmt. Am Punkt C trat der Schubbruch ein, so dass hier die Schubfestigkeit bestimmt werden kann.

Tabelle 1: Probenabmessungen  
 Table 1: Dimensions of test specimens

Versuch	Länge	Breite	Höhe	Gewicht
	mm	mm	mm	g
1	1051,2	100,5	141,6	1466
2	1051,4	100,2	142,2	1467
3	1048,7	100,1	141,5	1460
4	1048,6	100,1	141,6	1465
5	1050,2	100,6	141,9	1470

Zusätzlich zur grafischen Darstellung werden die entscheidenden Messdaten wie Probenabmessungen (Tabelle 1) und Versuchsergebnisse (Tabelle 2) angegeben. Besonders sei hier auf die für jede Probe gesondert vermessenen Bauteilabmessungen hingewiesen.

Tabelle 2: Versuchsergebnisse  
 Table 2: Test results

Versuch	Bruchlast	Versagensart	Linearer Verlauf				$\Delta F$	$\Delta w$
			Last „A“	Weg „A“	Last „B“	Weg „B“		
			N	mm	N	mm		
1	3402	b	671	1,97	2005	5,98	1334	4,01
2	3021	a	598	1,97	1782	5,97	1184	4,00
3	3382	a	669	1,98	1971	5,99	1302	4,01
4	3128	a	599	1,98	1783	6,00	1184	4,02
5	3314	a	653	1,99	1955	5,97	1302	3,98

a = Schubbruch im Kern

b = Blechablösung vom Kern

$$\Delta F = \text{Last „B“} - \text{Last „A“} \quad (\text{Gl. 1})$$

$$\Delta w = \text{Weg „B“} - \text{Weg „A“} \quad (\text{Gl. 2})$$

Des Weiteren sind für die Versuchskörper bekannt:

L = Stützweite Probekörper

Versuchsart = Zwei Einzellasten in den Drittelpunkten (= Versuchsart 2)

$t_1$  = Blechdicke oben

$t_2$  = Blechdicke unten

$e_1$  = Schwerpunktsabstand Deckblech oben (zum oberen Rand des Deckbleches)

$e_2$  = Schwerpunktsabstand Deckblech unten (zum unteren Rand des Deckbleches)

$E_{F1}$  = E-Modul der Deckschicht oben

$E_{F2}$  = E-Modul der Deckschicht unten

- $A_{F1}$  = Fläche der Deckschicht oben  
 $A_{F2}$  = Fläche der Deckschicht unten  
 $e$  = Abstand der Deckschichtschwerlinien  
 $d$  = Höhe des Versuchskörpers  
 $B$  = gemessene Breite des Versuchskörpers

### 3. Auswertung der Versuche

Für die Bestimmung der Schubmodul-Rechenwerte und der Schubfestigkeit ist zusätzlich zu den Versuchen eine Auswertung durchzuführen.

#### 3.1 Schubmodul

Die Berechnung des Schubmoduls erfolgt nach dem folgenden Verfahren:

Die Gesamtdurchbiegung ist die Summe der Biege- und der Schubverformung.

$$\Delta w = \Delta w_B + \Delta w_S \quad (\text{Gl. 3})$$

- mit  $\Delta w$  = Gesamtdurchbiegung  
 $\Delta w_B$  = rechnerischer Anteil der Biegeverformung  
 $\Delta w_S$  = Schubverformung

$$\Delta w_B = \frac{\Delta F \cdot L^3}{X \cdot B_S} \quad (\text{Gl. 4})$$

$$B_S = \frac{E_{F1} \cdot A_{F1} \cdot E_{F2} \cdot A_{F2}}{E_{F1} \cdot A_{F1} + E_{F2} \cdot A_{F2}} \cdot e^2 \quad (\text{Gl. 5})$$

$$\Delta w_S = \Delta w - \Delta w_B \quad (\text{Gl. 6})$$

Die Durchbiegung infolge Biegebeanspruchung kann nach bekannten Formeln errechnet werden, so dass sich der Schubmodul dann nach folgender Gleichung berechnen lässt.

$$G_C = \frac{\Delta F \cdot L}{Y \cdot \Delta w_S \cdot B \cdot e} \quad (\text{Gl. 7})$$

dabei bedeuten:

- $G_C$  = Schubmodul  
 $B$  = Versuchskörperbreite  
 $X, Y$  = Faktoren in Abhängigkeit der Art der Lastaufbringung (Versuchsart) entsprechend nachfolgender Tabelle

Da die Bestimmung des Schubmoduls im elastischen Bereich erfolgt, sind hierfür die Versuchswerte  $\Delta F$

und  $\Delta w$  im „linearen Bereich“ gem. Bild 5 bzw. Tabelle 2 anzusetzen.

Tabelle 3: Faktoren zu den Versuchsanordnungen

Table 3: Factors for different test setups

Versuchsart	Beschreibung	Faktor „X“	Faktor „Y“
1	Gleichstreckenlast	76,8	8
2	Zwei Einzellasten in den 1/3-Punkten (Standardfall)	56,34	6
3	Zwei Einzellasten in den 1/4-Punkten	69,82	8
4	Eine Einzellast	48	3
5	Zwei Einzellasten bei $a = 0,21 \cdot \ell$	80,95	3

#### 3.2 Schubfestigkeit

Die Schubfestigkeit als Bemessungsgrenzwert wird aus der Bruchlast errechnet zu:

$$f_{cv} = \frac{F_U}{2 \cdot B \cdot e} \quad (\text{Gl. 8})$$

dabei bedeuten zusätzlich:

- $F_U$  = Bruchlast incl. Eigenlast  
 $F_U$  =  $F + G$

Bei Lamellen-Kernen (z. B. Mineralwoll-Lamellen) oder bei Kernen mit versetzt angeordneten Anteilen ohne Verklebung ist die Gleichung 8 um den Faktor  $k_v$  zu erweitern zu:

$$f_{cv} = k_v \cdot \frac{F_U}{2 \cdot B \cdot e} \quad (\text{Gl. 9})$$

mit  $k_v$  = Reduktionsfaktor

$$k_v = \frac{\bar{B}}{B}$$

$\bar{B}$  = Mindestbreite des ungestörten Kernwerkstoffes in einer Schnittlinie

#### 3.3 Weitere Hinweise

Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass zur Bestimmung des Schubmoduls und der Schubfestigkeiten immer mehrere Versuche durchzuführen und statistisch auszuwerten sind. Dabei werden aus einer

Versuchsreihe, z. B. 10 Versuchen eines Paneeltyps (Paneeldicke), der Mittelwert für den Rechenwert des Schubmoduls und der 5%-Fraktilwert der Schubfestigkeiten als Bemessungsgrenzwert bestimmt.

Auch ist nach [1], [2] und [3] ausschließlich Versuchsart Nr. 2 mit den Einzellasten in den Drittelpunkten analog Bild 1 zur Bestimmung von Schubmodul und Schubfestigkeit vorgesehen.

#### 4. Anwendungsbeispiel

Es wird hier anhand von einem Beispiel das zur Verfügung stehende EXCEL<sup>®</sup>-Programm (bzw. EXCEL<sup>®</sup>-Arbeitsblatt) „Auswertung-Schubversuch - Auswertung von Schubversuchen bei Sandwichbauteilen“ vorgestellt. Als Besonderheit berücksichtigt die Auswertung dabei optional fünf verschiedene Versuchsanordnungen:

Versuchsart 1 = Gleichstreckenlast

Versuchsart 2 = Zwei Einzellasten in den 1/3-Punkten (Standardfall nach [1], [2] und [3])

Versuchsart 3 = Zwei Einzellasten in den 1/4-Punkten

Versuchsart 4 = Eine Einzellast

Versuchsart 5 = Zwei Einzellasten bei  $a = 0,21 \cdot \ell$

Für die Schubmodulbestimmung im „linearen Bereich“ sind die  $\Delta$ -Werte einzugeben.

Als Beispiel werden die Daten des Versuch Nr. 4 aus Bild 5 bzw. der Tabellen 1 und 2 (entsprechende Zeile ist grau unterlegt) des Kapitel 2 in das Excel-Programm eingegeben. Die Ergebnisse können der Anlage entnommen werden und entsprechen dem Original-Ausdruck des EXCEL<sup>®</sup>-Datenblattes.

Als weitere Parameter entsprechend Kapitel 2 sind bekannt:

L	=	1000 mm
Versuchsart		2
$t_1$	=	0,57 mm
$t_2$	=	0,58 mm
$e_1$	=	0,62 mm
$e_2$	=	0,21 mm
$E_{F1}$	=	210000 N/mm <sup>2</sup>
$E_{F2}$	=	210000 N/mm <sup>2</sup>
d	=	141,6 mm
B	=	100,1 mm

Das Excel-Tabellenblatt berücksichtigt neben der Zweisprachigkeit (Deutsch und Englisch) die Notationen und Bezeichnungen der prEN 14509 bzw. DIN V ENV 14509.

Die dargestellte Elementskizze gilt nur als Prinzipdarstellung und zur Verdeutlichung der Bezeichnungen. Jede Deckschicht kann aus einem Ausschnitt aus linierten, gesickten, mikroprofilierten oder glatten Deckschichten in beliebiger Kombination bestehen. Wichtig allein ist die Schwerpunktslage der Deckschichten.

#### 5. Bezug des EXCEL<sup>®</sup>-Programmes

Das hier aufgeführte EXCEL<sup>®</sup>-Arbeitsblatt kann kostenfrei als Freeware über die Homepage des Institut für Sandwichtechnik - Mainz (iS-mainz) unter [www.sandwich.fh-mainz.de](http://www.sandwich.fh-mainz.de) oder beim Ingenieurbüro Berner & Gruber bezogen werden.

#### 6. Schlussbemerkung

Es wurde an Beispielen die Arbeitsweise und Einsatzmöglichkeiten eines weiteren Excel<sup>®</sup>-Arbeitsblattes zur Auswertung von Schubversuchen auf der Grundlage der DIBt-Richtlinien bzw. prEN 14509 gezeigt. Damit kann die für die Schnittgrößenermittlung erforderliche Kenngröße des Schubmoduls  $G_C$  und des Bemessungsgrenzwertes der Schubfestigkeit  $f_{CV}$  aus den Versuchsergebnissen ermittelt werden.

#### 7. Literaturhinweise

- [1] DIBt (ehemals IFBt):  
Prüfprogramm für Sandwichkonstruktionen mit einem Stützkern aus Polyurethan (PUR)-Hartschaum ... zwischen Metalldeckschichten im Zulassungsverfahren  
Berlin, Fassung 3.93
- [2] DIN V ENV 14509 (prEN 14509):  
Selbsttragende Sandwich-Dämmelemente mit beidseitiger Metalldeckschicht  
unkorrigierter Entwurf vom Oktober 2004
- [3] prEN 14509 (DIN V ENV 14509):  
Self-supporting double skin metal faced insulating panels – Factory made product – Specifications  
Entwurf (Stand „Final Draft standard for formal vote“) vom 7. Juli 2004
- [4] Raabe, O.:  
Schnittgrößenermittlung von Sandwichbauteilen mit der Hilfe von MS-EXCEL, Teil 1  
iS-Mainz, 2003


#### 8. Autor

Raabe, Oliver, Dipl.-Ing. (FH): Mitarbeiter im Ingenieurbüro Berner & Gruber GmbH, Elisabethenstr. 62, 64283 Darmstadt und freier Mitarbeiter im iS-mainz



Anlage

Beispiel 1: Schubversuch an einem PU-Element (Versuch Nr. 4)



Institut für Sandwichtechnik - Mainz

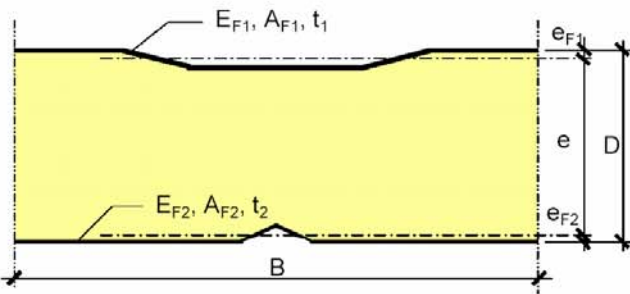
© Berner & Gruber GmbH / iS-mainz  
www.fh-mainz.de/sandwich  
email: sandwich@fh-mainz.de

Version 1.2 (Dez. 2004)

## Auswertung von Schubversuchen bei Sandwichbauteilen

**Voraussetzungen** - beidseitig ebene bzw. quasi-ebene Deckschichten bzw. aus quasi-ebenen Bereich geschnitten

**Prinzipielle Querschnittsskizze:**



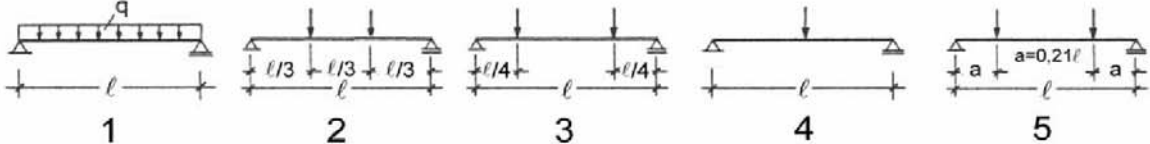
**Sprache / language** deutsch/german ▼

**Grundwerte zum Querschnitt**

Bauteilbezeichnung	Beispiel 1: Versuch Nr. 4
Kernblechdicke oben	$t_1 = 0,570$ mm
Kernblechdicke unten	$t_2 = 0,580$ mm
Randabstand oben	$e_{F1} = 0,620$ mm
Randabstand unten	$e_{F2} = 0,210$ mm
E-Modul obere Deckschicht	$E_{F1} = 2,10E+05$ N/mm <sup>2</sup>
E-Modul untere Deckschicht	$E_{F2} = 2,10E+05$ N/mm <sup>2</sup>

**Versuchsart** Typ-Nr.: 2 = Einfeldträger mit Einzellasten in den Drittelpunkten ▼

**Skizzen zur Versuchsart**



**Variable Querschnittswerte und Testergebnisse**

Test-Nr	Breite	Höhe	Stützweite	Eigenlast	Bruchlast	Last bei Linearität	Verformung bei Linearität
	B	D	L ... l	G	F = q * l bzw. ΣF	ΔF	Δw
[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]
4	100,10	141,60	1000,00	0,015	3,128	1,184	4,02

**Ergebnisse der Versuchsauswertung**

Test-Nr	Biegeverformung	Trägheitsmoment	Schubmodul	Schubfestigkeit
	w <sub>B</sub>	I	G <sub>C</sub>	f <sub>Cv</sub>
[-]	[mm]	[cm <sup>4</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
4	0,018	56,559	3,513	0,112

iS-mainz

www.sandwich.fh-mainz.de