Ralf Möller, Hans Pöter, Knut Schwarze

Planen und Bauen mit Trapezprofilen und Sandwichelementen

Band 1: Grundlagen, Bauweisen, Bemessung mit Beispielen

Ernst & Sohn
A Wiley Company

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort V

Vorwort VII

1 Einführung 1

1.1 Geschichtliche Entwicklung 1

1.2 Anwendungen 8
1.2.1 Allgemeines 8
1.2.2 Dachaufbau mit Trapezprofilen 8
1.2.3 Dachaufbau mit Kassettenprofilen 9
1.2.4 Wandaufbau mit Trapezprofilen 10
1.2.5 Wandaufbau mit Kassettenprofilen 10
1.2.6 Pfettendächer mit Sandwichelementen 11
1.2.7 Wände aus Sandwichelementen 12
1.2.8 Zweischalige Konstruktionen für Kühlhäuser 12
1.2.9 Deckensysteme 13

1.3 Baurechtliche Situation 14
1.3.1 Allgemeines 14
1.3.2 Deutsche Regelwerke 14
1.3.3 Internationale Regelwerke 16

2 Beschreibung der Bauelemente 17

2.1 Allgemeines 17

2.2 Wellprofile 17

2.3 Pfannenprofile 18

2.4 Trapezprofile für Dach und Wand 18

2.5 Trapezprofile für den Deckenbau im Massivbau 23
2.5.1 Allgemeines 23
2.5.2 Trapezprofile als verlorene Schalung 23
2.5.3 Verbunddeckenprofile 23
2.5.4 Additivdeckenprofil 25

2.6 Klemmprofile 26

2.7 Kassettenprofile 26

2.8 Stehfalzprofile 28
2.8.1 Allgemeines 28
2.8.2 Gebördelte Stehfalzprofile 28

2.8.3 Geklemmte Stehfalzprofile ... 29
2.8.4 Rollgeschweißte Stehfalzprofile ... 30

2.9 Sandwichelemente ... 30
2.9.1 Allgemeines ... 30
2.9.2 Sandwichelemente für Wände ... 31
2.9.3 Sandwichelemente für Dächer ... 34

2.10 Fassadenpaneele (Liner, Sidings) ... 35

2.11 Fassadenkassetten ... 36

2.12 Sonderformen von Bauelementen ... 36
2.12.1 Stahldachpfanne ... 36
2.12.2 Bögen ... 37
2.12.2.1 Allgemeines ... 37
2.12.2.2 Knickgekrümmte Profile ... 38
2.12.2.3 Bombierte Profile ... 38

2.13 Verbindungselemente ... 39
2.13.1 Verbindungselemente für Trapezprofile und Kassettenprofile ... 39
2.13.2 Verbindungselemente für Sandwichelemente ... 41
2.13.3 Sonstige ... 42

2.14 Formteile ... 42

2.15 Dichtbänder ... 43

2.16 Zubehör ... 43
2.16.1 Allgemeines ... 43
2.16.2 Aufsatzkränze ... 43
2.16.3 Rohrmanschetten ... 44

3 Werkstoffe und Herstellung der Bauelemente ... 45

3.1 Metalle ... 45
3.1.1 Stahl ... 45
3.1.2 Edelstahl ... 46
3.1.3 Aluminium ... 47

3.2 Korrosionsschutz des Stahls ... 48
3.2.1 Regelwerke ... 48
3.2.2 Verzinkungen ... 48
3.2.3 Organische Beschichtungen ... 52
3.2.4 Innenseiten der Deckschalen von Sandwichelementen ... 56
3.2.5 Regelungen für den Korrosionsschutz von Stahl ... 57
3.2.6 Qualitätssicherung des Vormaterials ... 62
3.2.7 Farben ... 63

3.3 Kernwerkstoffe für Sandwichelemente ... 65
3.3.1 PUR-Hartschaum als Kerndämmstoff für Sandwichelemente ... 65
3.3.2 Mineralfasern als Kerndämmstoff für Sandwichelemente ... 68
3.3.3 Sonstige Kernwerkstoffe ... 70

3.4 Herstellung von Trapez-, Kassetten- und Wellprofilen ... 70

3.5 Herstellung von Sandwichelementen ... 71

3.6 Güteschutz, Überwachung der Bauelemente ... 73

4 Tragverhalten der Bauelemente und Bemessungskonzepte ... 77

4.1 Allgemeines ... 77

4.2 Wellprofile ... 79

4.3 Trapezprofile ... 79
4.3.1 Biegung mit Querkraft ... 79
4.3.2 Normalkräfte ... 81
4.3.3 Schubfelder ... 81
4.3.4 Bemessungskonzepte ... 81
4.3.4.1 Bemessungskonzept nach DIN 18 807 ... 81
4.3.4.2 Bemessungskonzept nach DIN 18 800 ... 83
4.3.4.3 Bemessungskonzept der Anpassungsrichtlinie ... 84

4.4 Kassettenprofile ... 85
4.4.1 Biegung mit Querkraft ... 85
4.4.2 Schubfelder ... 86
4.4.3 Bemessungskonzepte ... 86

4.5 Stahlprofildecken ... 87
4.5.1 Allein tragende Trapezprofile ... 87
4.5.2 Trapezprofile als verlorene Schalung ... 87
4.5.3 Verbundlose Additiv-Decke ... 88
4.5.4 Stahlprofilverbunddecken ... 88

4.6 Sandwichelemente ... 89
4.6.1 Allgemeines ... 89
4.6.2 Sandwichelemente mit ebenen oder schwach profilierten (biegeweichen) Deckschichten ... 91
4.6.3 Sandwichelemente mit einer trapez-profilierten (biegesteifen) Deckschicht 92
4.6.4 Bemessungskonzept ... 93
4.6.5 Normalkraft ... 94
4.6.6 Schubfeld ... 95

4.7 Verbindungen ... 96
4.7.1 Verbindungselemente für Trapezprofile und Kassettenprofile ... 96
4.7.1.1 Tragverhalten der Verbindungselemente ... 96
4.7.1.2 Bemessungskonzept ... 97

4.7.2 Verbindungselemente für Sandwichelemente ... 98
4.7.2.1 Allgemeines ... 98
4.7.2.2 Tragverhalten der Verbindungselemente ... 98
4.7.2.3 Schraubenkopfauslenkungen ... 99
4.7.2.4 Bemessungskonzept ... 99

5 Widerstandsgrößen und Beanspruchbarkeiten ... 101

5.1 Trapezprofile ... 101
5.1.1 Allgemeines ... 101
5.1.2 Rechnerische Widerstandsgrößen nach DIN 18 807 Teil 1 ... 107
5.1.2.1 Allgemeines ... 107
5.1.2.2 Biegung mit Querkraft ... 107
5.1.2.3 Charakteristische Normalkräfte ... 113
5.1.2.4 Charakteristische Widerstandsgrößen für perforierte Stahltrapezprofile ... 114
5.1.3 Versuche nach DIN 18 807 Teil 2 ... 115
5.1.3.1 Versuchsvorbereitungen ... 115
5.1.3.2 Versuch „Feld" ... 116
5.1.3.3 Versuch „Zwischenauflager" (Ersatzträgerversuch) ... 117
5.1.3.4 Versuch „Endauflager" ... 129
5.1.3.5 Versuch „Begehbarkeit" ... 130
5.1.3.6 Statistische Auswertung der Versuchsergebnisse ... 135
5.1.4 Widerstandsgrößen für Schubfeldbeanspruchung ... 136
5.1.5 Drehbettung ... 140

5.2 Kassettenprofile ... 142
5.2.1 Allgemeines ... 142
5.2.2 Versuche nach den „Ergänzenden Prüfgrundsätzen" ... 145
5.2.2.1 Versuchsvorbereitungen ... 145
5.2.2.2 Versuch „Feld" ... 146
5.2.2.3 Versuch „Zwischenauflager" (Ersatzträgerversuch) ... 146
5.2.2.4 Versuch „Endauflager" ... 146
5.2.2.5 Versuch „Begehbarkeit" ... 147
5.2.3 Widerstandsgrößen für Schubfeldbeanspruchung ... 147
5.2.4 Drehbettung ... 149

5.3 Sandwichelemente ... 149
5.3.1 Allgemeines ... 149
5.3.2 Werkstoffkennwerte der Kernschicht ... 149
5.3.3 Knitterspannungen ... 150
5.3.3.1 Bestimmung der Knitterspannungen mit Hilfe der Materialkennwerte ... 150
5.3.3.2 Kalibrierung der Knitterformel durch Bauteilversuche ... 152
5.3.3.3 Knitterspannungen an Zwischenstützen ... 155
5.3.4 Langzeitfestigkeit und Kriechverhalten ... 156
5.3.5 Widerstandsgrößen für Schubfeldbeanspruchung ... 158
5.3.6 Drehbettung ... 159

5.4 Verbindungen ... 161
5.4.1 Verbindungen für Trapezprofile und Kassettenprofile ... 161
5.4.2 Verbindungen für Sandwichelemente ... 168
5.4.3 Rechnerische Ermittlung für Verbindungen mit Holz ... 172
5.4.3.1 Verbindungen für Trapezprofile und Kassettenprofile ... 172
5.4.3.2 Verbindungen für Sandwichelemente ... 174

6 Einwirkungen ... 175

6.1 Allgemeines ... 175

6.2 Ständige Einwirkungen ... 175

6.3 Windlasten ... 176
6.3.1 Windlasten nach DIN 1055 Teil 4, Ausgabe 8.86 ... 176
6.3.1.1 Winddruck ... 176
6.3.1.2 Windsog ... 176
6.3.1.3 Gleichzeitige Wirkung von Winddruck und Windsog bei seitlich offenen Gebäuden ... 176
6.3.2 Windlasten nach anderen Vorgaben ... 177
6.3.2.1 Windlasten an Gebäuden mit Sonderformen ... 177
6.3.2.2 Staudruck und Sog infolge vorbeifahrender Züge ... 178
6.3.2.3 Windlasten nach DIN 1055 Teil 4, Entwurf März 2001 ... 179

6.4 Schneelasten ... 179

6.5 Wasseransammlungen auf Dächern mit Abdichtung ... 180
6.5.1 „Wassersack" ... 180
6.5.2 Wasserstau ... 185

6.6 Kiesschüttungen und abgehängte Installationen ... 187

6.7 Zwängungen aus Temperatureinfluß auf Trapezprofilkonstruktionen ... 188
6.7.1 Trapezprofile ... 188
6.7.2 Verbindungen ... 188

6.8 Zwängungen aus Temperatureinfluß auf Sandwichkonstruktionen ... 191
6.8.1 Sandwichelemente ... 191
6.8.2 Verbindungen ... 194
6.8.3 Temperatureinfluß bei Tiefkühlhäusern ... 194

6.9 Einwirkungen aus Stabilisierungskräften ... 194
6.9.1 Schubfelder ... 194
6.9.2 Drehbettung ... 200

6.10 Einwirkungen auf Decken ... 201
6.10.1 Bauzustand ... 201
6.10.2 Ständige Einwirkungen ... 201
6.10.3 Verkehrslasten ... 201

7 Beanspruchungen 203

7.1 Trapezprofile 203
7.1.1 Grundsätzliches zu den Beanspruchungen 203
7.1.2 Beanspruchungen beim Nachweis der Tragsicherheit 203
7.1.3 Beanspruchungen beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit 206
7.1.4 Ermittlung der elastischen Schnittgrößen aus Biegung 207
7.1.5 Ermittlung der Schnittgrößen unter Berücksichtigung von plastischen Verformungen 207
7.1.6 Normalkraftbeanspruchungen 209
7.1.7 Ermittlung der Schubflüsse 210
7.1.7.1 Grundsätzliches 210
7.1.7.2 Statisch bestimmt gelagertes Schubfeld 211
7.1.7.3 Statisch unbestimmt gelagertes Schubfeld 213
7.1.7.4 Allgemein statisch unbestimmte Schubfeldsysteme 216

7.2 Kassettenprofile 223
7.2.1 Allgemeines 223
7.2.2 Ermittlung der elastischen Schnittgrößen aus Biegung 223
7.2.3 Ermittlung der Schubflüsse 223

7.3 Sandwichelemente 224
7.3.1 Allgemeines 224
7.3.2 Sandwichelemente mit biegeweichen Deckschichten 225
7.3.2.1 Berechnung der Schnittgrößen für Biegeträger 225
7.3.2.2 Berechnung der Spannungen 234
7.3.3 Sandwichelemente mit biegesteifen Deckschichten 235
7.3.3.1 Schnittgrößen-Verschiebungs-Beziehungen 235
7.3.3.2 Allgemeine Lösungen der Differentialgleichungen 238
7.3.3.3 Rand- und Übergangsbedingungen 240
7.3.3.4 Lineares Gleichungssystem 241
7.3.3.5 Sechs-Momenten-Gleichungen 243
7.3.3.6 Andere Verfahren 254
7.3.3.7 Berechnung der Spannungen 255
7.3.4 Besonderheiten der Schnittgrößenverteilung 257
7.3.4.1 Einfeldträger 257
7.3.4.2 Durchlaufträger 258

7.4 Verbindungen 263
7.4.1 Verbindungen von Trapezprofilen und Kassettenprofilen 263
7.4.2 Verbindungen in der Sandwichbauweise 265

8 Nachweise 271

8.1 Trapezprofile 271
8.1.1 Allgemeines 271

8.1.2 Tragsicherheitsnachweise ... 273
8.1.2.1 Biegebeanspruchung ... 273
8.1.2.2 Biegebeanspruchung mit Normalkraft ... 281
8.1.3 Gebrauchstauglichkeitsnachweise ... 282
8.1.3.1 Schnittgrößen und Auflagerkräfte ... 282
8.1.3.2 Durchbiegungsnachweise ... 284
8.1.4 Besonderheiten bei der Bemessung auf Biegung ... 284
8.1.4.1 Interpolation der Widerstandsgrößen für Zwischenwerte der Blechdicken ... 284
8.1.4.2 Interpolation der Widerstandsgrößen für Zwischenwerte der Auflagerbreiten ... 286
8.1.4.3 Linienlasten oder Einzellasten im Feld ... 287
8.1.4.4 Begehbarkeit ... 288
8.1.5 Schubfeldnachweise ... 289

8.2 Kassettenwände ... 291
8.2.1 Biegung mit Querkraft ... 291
8.2.2 Schubfelder ... 293

8.3 Sandwichelemente ... 295
8.3.1 Allgemeines ... 295
8.3.2 Wände aus Sandwichelementen ... 295
8.3.2.1 Tragsicherheitsnachweise ... 295
8.3.2.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweise ... 299
8.3.3 Dächer aus Sandwichelementen ... 301
8.3.3.1 Tragsicherheitsnachweise ... 301
8.3.3.2 Gebrauchstauglichkeitsnachweise ... 303

8.4 Trapezprofildecken ... 305
8.4.1 Allgemeines ... 305
8.4.2 Trapezprofildecken mit trockenem Aufbau ... 305
8.4.3 Ausbetonierte Trapezprofildecken ... 306

8.5 Verbindungen von Trapez- und Kassettenprofilen ... 308
8.5.1 Verbindungen allgemein ... 308
8.5.2 Besonderheiten bei Kassettenwänden ... 309

8.6 Verbindungen in der Sandwichbauweise ... 311
8.6.1 Allgemeines ... 311
8.6.2 Zugkraft ... 312
8.6.3 Querkraft ... 313
8.6.4 Interaktion ... 314
8.6.5 Schraubenkopfauslenkung ... 314

8.7 Nachweise für Sonderkonstruktionen ... 315
8.7.1 Biegesteifer Stoß von Trapezprofilen ... 315
8.7.2 Kleine, auswechselungsfreie Öffnungen in Dächern ... 318
8.7.3 Dachöffnungen mit Auswechselungen ... 321

8.7.4 Öffnungen in Schubfeldern ... 324
8.7.5 Agraffenlagerung von Kühlhausfassaden ... 326

9 Beispielberechnungen und Bemessungshilfen ... 331

9.1 Beispielberechnungen ... 331
9.1.1 Trapezprofildach ... 331
9.1.1.1 Nachweise für vertikale Lasten ... 331
9.1.1.2 Nachweise für ein Schubfeld ... 334
9.1.2 Kassettenwand ... 338
9.1.3 Sandwichwand mit schwach profilierten Deckschichten ... 342
9.1.3.1 Bauteil und Widerstandsgrößen ... 342
9.1.3.2 Statisches System und Belastung ... 343
9.1.3.3 Tragsicherheitsnachweise ... 344
9.1.3.4 Gebrauchstauglichkeitsnachweise ... 345
9.1.3.5 Nachweise der Verbindungen ... 349
9.1.4 Sandwichdach ... 350
9.1.4.1 Bauteil und Widerstandsgrößen ... 350
9.1.4.2 Statisches System und Belastung ... 351
9.1.4.3 Tragsicherheitsnachweise ... 352
9.1.4.4 Gebrauchstauglichkeitsnachweise ... 357
9.1.4.5 Nachweis der Verbindungen ... 361

9.2 Produktbezogene Bemessungstabellen ... 362
9.2.1 Trapezprofile ... 362
9.2.2 Kassettenprofile für Wände ... 367
9.2.3 Bemessungsdiagramme ... 371
9.2.4 Sandwichelemente für Wände ... 372
9.2.5 Sandwichelemente für Dächer ... 374

9.3 Globale Bemessungsdiagramme für Trapezprofile ... 377

9.4 Formelsammlung für Sandwichkonstruktionen ... 380
9.4.1 Allgemeines ... 380
9.4.2 Sandwichelemente mit ebenen oder schwach profilierten Deckschichten ... 380
9.4.2.1 Vorwerte ... 380
9.4.2.2 Einfeldträger ... 381
9.4.2.3 Zweifeldträger ... 381
9.4.2.4 Dreifeldträger ... 382
9.4.3 Sandwichelemente mit einer trapez-profilierten Deckschicht ... 382
9.4.3.1 Vorwerte ... 382
9.4.3.2 Einfeldträger ... 383
9.4.3.3 Zweifeldträger ... 384
9.4.3.4 Dreifeldträger ... 385

9.5 EDV-Programme ... 386

10 Konstruktionsdetails als Voraussetzung für das Tragverhalten 387

10.1 Allgemeines 387

10.2 Unterkonstruktionen 387
10.2.1 Allgemeines 387
10.2.2 Arten und Material von Unterkonstruktionen 388
10.2.3 Auflagerbreiten 389
10.2.4 Auflager für Schubfelder 390

10.3 Randausbildung 390
10.3.1 Allgemeines 390
10.3.2 Randabstände von Verbindungselementen 390
10.3.3 Randausbildung bei Trapezprofilen 391
10.3.4 Kassettenprofile 393
10.3.5 Sandwichelemente 395

10.4 Stoßausbildungen 396
10.4.1 Allgemeines 396
10.4.2 Trapezprofile 396
10.4.3 Kassettenprofile 397
10.4.4 Sandwichelemente 399

10.5 Aussparungen 399
10.5.1 Allgemeines 399
10.5.2 Kleine Öffnungen in der Verlegefläche 399
10.5.2.1 Trapezprofile 399
10.5.2.2 Kassettenprofile 401
10.5.3 Auswechslungen 402
10.5.3.1 Auswechslung von Trapezprofilen 402
10.5.3.2 Auswechslung von Kassettenprofilen 406

10.6 Fugenausbildungen 406
10.6.1 Bauwerksfugen 406
10.6.2 Dehnungsfugen 407

Literaturverzeichnis 409

Bildquellennachweis 421

Mitgliederverzeichnis des IFBS 423

Stichwortverzeichnis 437