

1	<u>Begriffe</u>	1
1.1	Integrierte Bauweise.....	1
1.2	Verbundkonstruktionen.....	2
1.3	Sandwichtechnik.....	7
1.4	Stahlprofile und Stahlprofilbleche.....	12
	Literatur.....	25
2	Einwirkungen.....	26
2.1	Schergewichtslasten.....	27
2.1.1	Eigengewicht.....	27
2.1.2	Nutzlasten.....	27
2.2	Atmosphärische Einwirkungen.....	34
2.2.1	Schneebelastung.....	35
2.2.1.1	Auswertung von Schneemessungen.....	35
2.2.1.2	Bestimmung von Langzeitlasttkollektiven.....	37
2.2.2	Windbelastung.....	42
2.2.2.1	Der natürliche Wind und seine Störungen.....	43
2.2.2.2	Windlastannahmen nach Normen.....	46
2.2.3	Temperatureinwirkung.....	52
2.2.3.1	Klimatologische Grundlagen.....	52
2.2.3.2	Temperatureinwirkung auf Sandwichbauteile.....	56
2.3	Katastrophale Einwirkungen.....	57
2.3.1	Brand.....	57
2.3.1.1	Bemessungskonzept für Industriebauten.....	57
2.3.1.2	Brandbelastung.....	60
2.3.1.3	Erforderliche Feuerwiderstandsdauer.....	63

2.3.2	Erdbeben.....	65
2.3.3	Explosion.....	70
	Literatur.....	72
3	<u>Entwurfsoptimierung</u>	74
3.1	Der generelle Optimierungsbegriff.....	74
3.2	Sicherheitsanforderungen für Bauteile.....	76
3.2.1	Grundlagen deterministischer und probabilistischer Sicherheit.....	76
3.2.2	Sicherheitsnachweise nach Normen.....	78
3.2.3	Grenztragfähigkeit.....	79
3.3	Baulicher Brandschutz.....	81
3.3.1	Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen.....	81
3.3.2	Feuerwiderstand von Verbundstäben.....	84
3.3.3	Feuerwiderstand von Verbunddecken.....	87
3.3.4	Feuerwiderstand von Verbunddächern.....	89
3.3.5	Feuerwiderstand von Verbundwänden.....	93
3.4	Bauphysikalische Erfordernisse.....	94
3.4.1	Wärmeschutz.....	94
3.4.1.1	Anforderungen, Begriffe.....	94
3.4.1.2	Erhöhter Wärmeschutz nach gesetzlichen Bestimmungen	97
3.4.1.3	Sommerlicher Wärmeschutz.....	98
3.4.2	Schallschutz.....	99
3.4.2.1	Anforderungen, Begriffe.....	99
3.4.2.2	Luftschalldämmung.....	100
3.4.2.3	Trittschalldämmung.....	102
3.4.3	Feuchteschutz.....	104
3.4.3.1	Anforderungen, Begriffe.....	104
3.4.3.2	Luft- und Baustofffeuchte.....	105
3.4.3.3	Dampfdiffusion und Kondensation bei Bauteilen.....	106
	Literatur.....	108

4	<u>Stahlprofil/Beton-Verbundstäbe</u>	110
4.1	Der Profilverbund.....	110
4.2	Grenztragfähigkeit von Verbundprofilen.....	116
4.2.1	Biegemomente.....	116
4.2.2	Querkräfte.....	118
4.2.3	Längskräfte.....	120
4.3	Schnittkraft-Interaktion.....	121
4.3.1	Biegemoment und Querkraft.....	121
4.3.2	Biegemoment und Längskraft.....	122
4.3.3	Biegemoment, Quer- und Längskraft.....	122
4.3.4	Zweiachsiges Biegemoment.....	124
4.4	Bemessung von Verbundprofil-Bauteilen unter Raumtemperatur.....	125
4.4.1	Verbundprofil-Stützen.....	125
4.4.1.1	Mittiger Druck.....	129
4.4.1.2	Druck und Biegung.....	131
4.4.2	Verbundprofil-Biegeträger.....	133
4.4.3	Verbundprofil-Rahmentragwerke.....	136
4.4.4	Grenztragfähigkeit von Verbundprofil-Knoten.....	138
4.5	Verbundstäbe im Hochtemperaturbereich.....	141
4.5.1	Einflüsse auf die Feuerwiderstandsdauer.....	141
4.5.2	Instationäre Temperaturfelder bei Verbundprofilen..	143
4.5.2.1	Thermische Belastung.....	143
4.5.2.2	Wärmeübertragung vom Brandraum auf das Bauteil.....	144
4.5.2.3	Wärmeübertragung infolge Leitung im Bauteil.....	145
4.5.2.4	Zweidimensionales Wärmeleitproblem am Beispiel eines Stützenquerschnitts.....	146
4.5.2.5	Dreidimensionales Wärmeleitproblem am Beispiel eines Stützen-Riegelanschlusses.....	150
4.5.2.6	Parameterstudien zum Erwärmungsverhalten.....	154
4.5.3	Temperaturabhängige Rechenwertfestigkeiten.....	158
4.5.4	Studien zur Berechnung homogener Stahlprofil-Druckstäbe im Hochtemperaturbereich.....	158

4.6	Brand-Traglastberechnung für Verbundprofil-Bauteile	161
4.6.1	Verbundprofil-Druckstäbe.....	161
4.6.1.1	Berechnung mit Hilfe von Temperaturfeldern.....	162
4.6.1.2	Vereinfachtes Näherungsverfahren mittels eines brandreduzierten Ersatzquerschnitts.....	165
4.6.1.3	Bemessungshilfen.....	168
4.6.2	Verbundprofil-Biegeträger.....	171
4.6.3	Verbundprofil-Rahmentragwerke.....	176
4.7	Traglastversuche bei Raumtemperatur.....	177
4.7.1	Verbundprofil-Stützen.....	177
4.7.1.1	Strangpreßprofile.....	177
4.7.1.2	Faserbeton.....	183
4.7.2	Verbundprofil-Biegeträger.....	185
4.7.3	Verbundprofil-Rahmentragwerke.....	187
4.7.3.1	Versuchsprogramm.....	187
4.7.3.2	Einfluß der Verbundwirkungen.....	190
4.7.3.3	Einfluß von Quer- und Längskraft.....	191
4.7.3.4	Knotentragfähigkeit.....	197
4.8	Brandversuche.....	197
4.8.1	Verbundprofil-Stützen.....	197
4.8.1.1	Walzprofile.....	197
4.8.1.2	Strangpreßprofile.....	200
4.8.2	Verbundprofil-Plattenbalken.....	202
4.8.3	Verbundprofil-Rahmenträger.....	204
4.8.4	Verbundprofil-Anschlüsse.....	207
4.9	Beispiele.....	211
4.9.1	Planmäßig zentrisch belastete Verbundprofil-Stütze.	211
4.9.2	Verbundprofil-Plattenbalken.....	216
4.9.3	Verbundprofil-Rahmenträger.....	220
	Literatur.....	225

5	<u>Stahlprofilblech/Beton-Verbundplatte</u>	228
5.1	Verbundwirkungen.....	228
5.1.1	Haftverbund.....	228
5.1.2	Flächenverdübelung.....	230
5.2	Bemessung.....	233
5.2.1	Grenzlast- und Gebrauchsfähigkeitsnachweise.....	233
5.2.2	Biegebeanspruchung.....	234
5.2.3	Schubbeanspruchung.....	236
5.2.3.1	Querkraftaufnahme.....	236
5.2.3.2	Verdübelung.....	240
5.2.4	Verformungen.....	243
5.3	Versuche.....	244
5.3.1	Versuchsprogramm.....	244
5.3.2	Scherversuche.....	245
5.3.3	Querkraftversuche.....	249
5.3.4	Biegeversuche.....	252
5.3.5	Traglastversuch orthogonaler Träger-Plattenverbund.....	259
5.3.5.1	Versuchsaufbau.....	260
5.3.5.2	Verformungs- und Tragverhalten.....	261
5.3.5.3	Bolzenschweißverbindung.....	266
5.4	Tragverhalten unter Brandeinwirkung.....	268
5.4.1	Einflüsse auf den Feuerwiderstand.....	268
5.4.2	Versuchskörper.....	270
5.4.3	Versuchsergebnisse.....	272
5.5	Versuchsauswertung und Bemessungshinweise.....	277
5.5.1	Verdübelung.....	277
5.5.2	Tragfähigkeit und Verformung.....	280
5.5.3	Feuerwiderstand.....	282
5.6	Nachweis der Schalldämmung.....	282
5.7	Beispiele.....	290
5.7.1	Stahlprofilblech/Beton-Verbundplatte für Geschoß- decken.....	290

5.7.2	Rechnerische Abschätzung der Beanspruchung im Brandversuch.....	293
	Literatur.....	296
6	<u>Stahlrohr/Beton-Sandwichbrücken</u>	298
6.1	Konstruktiver und werkstofflicher Aufbau.....	298
6.2	Berechnungsmodelle.....	301
6.3	Rohrsandwichplatte als Verbundträgerrost.....	302
6.3.1	Längs- und Querträger.....	303
6.3.2	Wirksame Plattendringsteifigkeit.....	305
6.4	Zum Entwurf von Stahlrohr/Beton-Sandwichbrücken über Autobahnen.....	307
6.5	Versuchsergebnisse.....	312
6.5.1	Modellversuche.....	312
6.5.2	Schwingfestigkeitsversuch.....	318
6.5.3	Traglastversuch.....	322
6.6	Beispiele.....	325
6.6.1	Quadratische Sandwichplatte unter Vollast.....	325
6.6.2	Rohrsandwichbrücke Kronberg/Ts.....	328
6.7	Ausblick auf die weitere Entwicklung.....	334
	Literatur.....	335
7	<u>Stahlprofilblech/Polyurethan-Sandwichtragwerke</u>	336
7.1	Entwurfskonzepte.....	336
7.2	Herstellung von Stahlprofilblech-Sandwichtragwerken mit Polyurethanhartschaum-Kernschicht.....	340
7.2.1	Ausgangsstoffe des Polyurethanhartschaums.....	340
7.2.2	Diskontinuierliche Herstellung.....	342
7.2.3	Kontinuierliches Fertigungsverfahren.....	346

7.3	Werkstoffeigenschaften von Polyurethanhartschaum- Kernschichten.....	349
7.3.1	Physikalische Eigenschaften.....	350
7.3.1.1	Dichte.....	350
7.3.1.2	Haftung.....	352
7.3.1.3	Wärmedämmung.....	354
7.3.2	Einflüsse auf die mechanischen Eigenschaften.....	355
7.3.2.1	Temperatur, Zeit, Struktur, Dichte.....	355
7.3.2.2	Meßverfahren und Probenform.....	355
7.3.3	Mechanische Eigenschaften bei kurzzeitiger Beanspruchung.....	361
7.3.3.1	Bei Raumtemperatur.....	361
7.3.3.2	Unter besonderer Temperatureinwirkung.....	364
7.3.4	Mechanische Eigenschaften bei langzeitiger Beanspruchung.....	365
7.3.4.1	Konstante langzeitige Beanspruchung bei Raum- temperatur.....	366
7.3.4.2	Veränderliche langzeitige Beanspruchung bei Raum- temperatur.....	367
7.3.4.3	Konstante langzeitige Beanspruchung bei besonderer Temperatureinwirkung.....	368
7.3.4.4	Veränderliche langzeitige Beanspruchung bei besonderer Temperatureinwirkung.....	369
7.3.5	Auswertung der Versuchsergebnisse für Berechnungs- grundlagen.....	370
7.3.5.1	Viskoelastisches Werkstoffverhalten.....	371
7.3.5.2	Ermittlung der Kriech- und Relaxationsfunktionen...	376
7.4	Trag- und Verformungsverhalten von ebenen und profilierten Sandwichtragwerken.....	377
7.4.1	Allgemeine Hinweise.....	377
7.4.2	Der elastische Verbund.....	378
7.4.2.1	Lösung mit Hilfe des Differenzenverfahrens.....	379
7.4.2.2	Schubfluß in einer isotropen Kernschicht.....	385
7.4.2.3	Schubfluß in einer inhomogenen und orthotropen Kernschicht.....	388

7.4.3	Instabilität der Deckschichten.....	391
7.4.3.1	Knittern elastisch gebetteter, ebener Deckschichten	391
7.4.3.2	Knittern elastisch gebetteter, profilierter Deck- schichten.....	398
7.4.3.3	Einflüsse aus nichtlinearem Werkstoffverhalten.....	406
7.4.4	Langzeitige Beanspruchung.....	409
7.4.4.1	Realistische Lastkollektive.....	409
7.4.4.2	Näherung für eine beliebige Belastungsgeschichte...	411
7.4.4.3	Auswirkung des Kernkriechens auf die Bettung der Deckschichten.....	415
7.4.5	Trag- und Verformungsverhalten bei Temperaturein- wirkung.....	416
7.5	Experimentelle Untersuchungen.....	420
7.5.1	Versuchsaufbau und Meßtechnik.....	421
7.5.2	Kurzzeitverhalten.....	423
7.5.2.1	Versuchsprogramm und Ergebnistabellen.....	423
7.5.2.2	Profilsandwichplatten mit einem ebenen Deckblech...	424
7.5.2.3	Profilsandwichplatten niedriger Steghöhe.....	429
7.5.2.4	Profilsandwichplatten mittlerer Steghöhe.....	430
7.5.2.5	Profilsandwichplatten großer Steghöhe.....	436
7.5.2.6	Profilsandwichplatten mit Sicken und großer Steg- höhe.....	438
7.5.2.7	Profilsandwichplatten mit Aluminiumtrapezprofil- Deckblechen.....	441
7.5.2.8	Sandwichfaltwerke mit Stahldeckblechen.....	444
7.5.3	Langzeitverhalten.....	447
7.5.3.1	Versuchsprogramm.....	447
7.5.3.2	Einfluß des Kernkriechens auf die Verformungen und Spannungen.....	450
7.5.3.3	Einfluß einer längeren Vorbelastung auf die Trag- last.....	461
7.5.4	Temperatureinwirkung.....	463
7.5.4.1	Versuchsaufbau und Versuchsprogramm.....	463
7.5.4.2	Versuchsergebnisse mit dem Sommertemperatur- kollektiv.....	465

7.5.4.3	Versuchsergebnisse mit dem Wintertemperatur- kollektiv.....	468
7.5.5	Brandverhalten.....	469
7.5.5.1	Entwurfskonzept für die Brandbemessung.....	469
7.5.5.2	Brandversuche an Profilsandwichplatten.....	470
7.5.5.3	Kleinbrandversuche.....	478
7.6	Bemessung und Sicherheit.....	482
7.6.1	Auswertung der theoretischen und experimentellen Untersuchungen.....	482
7.6.2	Sicherheitskonzept.....	486
7.7	Beispiele.....	489
7.7.1	Sandwichplatten mit quasi-ebenen Deckblechen.....	489
7.7.1.1	Einfeldplatte.....	489
7.7.1.2	Zweifeldplatte.....	490
7.7.2	Sandwichplatte mit profiliertem oberen Deckblech... Literatur.....	493 499
8	<u>Stahlprofilblech/Mineral-Sandwichplatte.....</u>	501
8.1	Entwurfskonzept.....	501
8.2	Werkstoffeigenschaften.....	504
8.2.1	Faserbewehrtes Silikat.....	504
8.2.1.1	Werkstoffeigenschaften bei Raumtemperatur.....	504
8.2.1.2	Werkstoffeigenschaften bei Hochtemperatur.....	505
8.2.2	Isolierbetone.....	509
8.2.2.1	Verschiedene Zuschlagstoffe.....	509
8.2.2.2	Perlitebeton mit organischen Zusätzen.....	511
8.2.2.3	Kurzzeiteigenschaften.....	513
8.2.2.4	Langzeiteigenschaften.....	515
8.3	Verbund durch Schraubenverdübelung.....	517
8.3.1	Tragverhalten und Steifigkeit verschiedener Verdübelungsausbildungen.....	517
8.3.2	Schubtragfähigkeit der Schraubenverdübelung.....	520
8.3.3	Fiktiver Schubmodul der Schraubenverdübelung.....	523

8.4	Traglastversuche bei Raumtemperatur.....	525
8.4.1	Versuchsprogramm und Versuchsdurchführung.....	525
8.4.2	Einfeldplatten.....	526
8.4.3	Mehrfeldplatten.....	529
8.4.4	Langzeitbelastung.....	531
8.5	Brandversuche.....	532
8.5.1	Zur Versuchsdurchführung.....	532
8.5.2	Temperaturverteilung im Querschnitt.....	533
8.5.3	Versuchsprogramm für Bauteile.....	538
8.5.4	Versuchsergebnisse.....	540
8.6	Berechnung und Bemessung.....	545
8.6.1	Berechnung der Verformungen, Spannungen und Traglasten.....	545
8.6.2	Berechnungsergebnisse.....	548
8.6.3	Bemessung und Sicherheit.....	553
8.7	Ausblick auf die weitere Entwicklung.....	557
	Literatur.....	559