

Martin Schmid

Statik im Dachgeschoss

nach Eurocode

3. Auflage



RM Rudolf Müller

Vorwort

In diesem Buch wird ein Pfettendach mit zweifach stehendem Stuhl und Kniestock (Drempel) komplett berechnet. Eine Ausführung des Dachtragwerkes, die heutzutage als Standard im Wohnungsbau angesehen werden kann. Dieses Standarddach ist jedoch ein kompliziertes System, das in der Praxis mit vereinfachenden Annahmen in einem statischen Modell abgebildet und bemessen wird. Die vereinfachenden Ansätze stammen häufig aus Zeiten, in denen das Dachtragwerk nicht als Wohnraum genutzt wurde und die Dachfläche nicht durch Fenster, Gauben und Balkone gestört war. Aus der höherwertigen Nutzung folgen höhere Anforderungen insbesondere an die Gebrauchstauglichkeit, d. i. Begrenzung der Verformungen zur Rissevermeidung; die Erfüllung dieser höheren Anforderungen wird dabei durch die gestörte Dachfläche erschwert.

Verglichen mit einem Hallentragwerk, dessen tragende Bauteile wie Binder und Stützen in regelmäßigen Abständen, den Achsen, meist gleichartig ausgeführt werden, sind die Tragsysteme der Gespärre des Pfettendaches vielfältiger. Im Bereich zwischen den Stützen verformt sich die Mittelpfette bei Lastenwirkungen. Daraus folgt ein Wechsel des statischen Systems hin zu der Tragweise eines Kehlbalken- oder Sparrendaches. Dann werden aber die Nachgiebigkeiten der Anschlüsse von größerer Bedeutung; nachgiebige Verbindungen dämpfen diesen Systemwechsel, sodass ein Mischsystem entsteht. Streng genommen müsste das Dach als dreidimensionales statisches Modell abgebildet werden, unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeiten; ein unverhältnismäßig hoher und unbezahlbarer Aufwand für das Dach eines Wohngebäudes. In diesem Buch wird auf diese Schwierigkeiten eingegangen und dieser häufig ausgeführte Dachtyp ausführlich bemessen.

Für manche Positionen werden Nachweise geführt, die aufgrund der geringen Beanspruchung offensichtlich nicht erforderlich gewesen wären. Dabei werden Nachweise vorgestellt, die nicht in einer einfachen Übertragung der Formeln aus der Norm bestehen, sondern weitergehende mechanische Überlegungen erfordern.

Als Empfehlung für die Praxis ist festzuhalten, dass die Anschlüsse der Sparren und die Verformung der Pfetten die kritischen Punkte sind, die eher großzügig bemessen werden sollten, während bei den heute üblichen Sparrenquerschnitten deren Nachweise keine Probleme bereiten.

Die Normung hat sich in den letzten Jahren etwas beruhigt, dafür haben sich größere Änderungen im Bauordnungsrecht, insbesondere in Bezug auf die Verwendung von Bauprodukten und Bauarten ergeben. Die bislang von den Ländern erlassenen Listen der Technischen Baubestimmungen (LTB) und die vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) herausgegebenen Bau-

regellisten wurden zusammengefasst und an die Vorgaben eines Urteils des europäischen Gerichtshofes angepasst. Die Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VwV TB) ersetzt die LTB und die Bauregellisten. Die VwV TB wird von den Landesministerien erlassen, koordiniert über die Bauministerkonferenz (www.bauministerkonferenz.de). Für den Holzbau ändert sich nicht allzu viel, europäisch harmonisierte Bauprodukte tragen die CE-Kennzeichnung. Der Hersteller erstellt zusätzlich eine Leistungserklärung (DoP Declaration of Performance), der Anwender muss anhand der Angaben in der Leistungserklärung oder der hierin genannten ETAs bzw. harmonisierten Normen das Bauprodukt in seiner Anwendung im Bauwerk bemessen.

Nach wie vor gibt es national geregelte Bauprodukte ohne CE-Kennzeichnung, deren Einsatz nach Abschnitt C der VwV TB durch eine Übereinstimmungserklärung ermöglicht wird. Dies betrifft beispielsweise Aufbauten im Holztafelbau, deren Brandverhalten nicht in der Normenreihe DIN 4102 geregelt ist und deren Verwendbarkeit durch ein allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis nachzuweisen ist. Für den Anwender eine undurchsichtige Situation. Bei Zweifeln an der Verwendbarkeit sollte vom Hersteller die Leistungs- bzw. Übereinstimmungserklärung verlangt werden.

Karlsruhe, September 2018
Martin Schmid

Inhaltsverzeichnis

	Einleitung	5
1	Bauvorhaben	9
1.1	Genehmigungsplanung	9
1.2	Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VwV TB)	10
2	Konstruktion und Aussteifung	13
2.1	Mechanische Modelle für Dächer	13
2.1.1	Einfluss der Nachgiebigkeiten	14
2.1.2	Mechanische Modelle	16
2.2	Ringbalken oder Drempele aus Stahlbeton	19
3	Lastannahmen	23
3.1	Eigenlasten nach EC 1 Teil 1-1	23
3.2	Schneelasten nach EC 1 Teil 1-3	24
3.3	Windlasten nach EC 1 Teil 1-4	29
3.3.1	Böengeschwindigkeitsdruck	30
3.3.2	Aerodynamische Druckbeiwerte $c_{p,i}$	30
3.3.3	Windlasten als Linienlasten	35
3.4	Nutzlasten nach DIN EN 1991-1-1 und DIN EN 1991-1-1/NA	37
3.5	Erdbebensicheres Bauen nach DIN 4149:2005	38
4	Bemessungskonzept – Einwirkungskombinationen	39
4.1	Grenzzustände der Tragfähigkeit	39
4.2	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	45
5	Dachaufbau oberhalb der Sparren	49
5.1	Zwischensparrendämmung, Nachweise für Latten und Konterlatten	49
5.2	Aufsparrendämmung	54
6	Bemessung der Sparren	57
6.1	Positionen, Querschnitte	57
6.2	Schnittgrößen	59
6.3	Nachweise Biegebeanspruchung	65
6.4	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	69
6.5	Nachweise der Auflager und Anschlüsse	70
6.5.1	Anschluss an die Traufpfetten	70
6.5.1.1	Ermittlung der Beanspruchungen unter Berücksichtigung von Normalkräften und Reibungskräften	74
6.5.1.2	Ermittlung der Tragfähigkeit als biegebeanspruchtes Verbindungsmittel	77
6.5.1.3	Mindestholzdicken	80
6.5.1.4	Anschluss mit Sparrenpfettenankern	82

6.5.2	Anschluss an Mittelfette	83
6.6	Zugkrafteinleitung Sparren–Mittelfette	86
6.7	Anschlüsse Firstbereich	89
6.8	Ergänzende Nachweise	95
6.8.1	Nachweise am Fußpunkt bei Biegung und Zugbeanspruchung	95
6.8.2	Anschluss an Traufbohle mit Sparrennagel $6,0 \times 230$	97
6.8.2.1	Ermittlung der Tragfähigkeit als biegebeanspruchtes Verbindungsmittel	97
6.8.3	Druckbeanspruchung unter einem Winkel zur Faserrichtung . .	104
7	Bemessung der Flugsparren	107
7.1	Kragarm der Traufpfette	107
7.2	Beanspruchung der Schalbretter durch die Mannlast	111
7.3	Sogverankerung der Schalbretter	116
7.4	Sogverankerung der Flugsparren	119
7.4.1	Nachweis der Auflagerkräfte an der Mittelfette	120
7.4.2	Nachweis der Auflagerkräfte an der Traufpfette	124
7.4.3	Zusammenfassung Sogverankerung	125
8	Bemessung der Mittelfetten und Stiele	127
8.1	Biegebeanspruchung im Bereich des Stiels	131
8.2	Querdruck im Bereich des Stiels	133
8.3	Schubspannungen im Bereich des Stiels	134
8.4	Sogverankerung der Mittelfette auf der Giebelwand	136
8.5	Torsionsbeanspruchung der Mittelfette	137
8.6	Knicknachweis des Stiels	139
8.7	Nachweis der Horizontalkräfte an den Anschlusspunkten des Stiels	142
8.8	Verformungen der Mittelfette	145
9	Bemessung der Kehlscheibe	147
9.1	Beanspruchung als Scheibe durch horizontal wirkende Windlasten	147
9.2	Örtliche Mindesttragfähigkeit, Durchstanzen	149
9.3	Biegebeanspruchung	149
9.4	Anschluss der Zugkraft an die OSB-Scheibe	152
10	Berücksichtigung der Nachgiebigkeiten	155
10.1	Nachgiebigkeiten, Steifigkeiten der Anschlüsse	155
10.2	Horizontale Auflagerreaktionen unter Berücksichtigung der Nachgiebigkeit	159
10.3	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	161
11	Bemessung der Dachverbände	165
11.1	Beanspruchung der Dachverbände	165
11.2	Anschluss der Giebelwand an die Mittelfetten	170
11.3	Aussteifung mit einem Fachwerkverband in der Dachebene	171
11.4	Verformung des Dachverbandes	174
12	Zusammenfassung	179
	Stichwortverzeichnis	181
	Literatur	183

Der vorgesehene Dachaufbau ist in Abbildung 3 dargestellt.

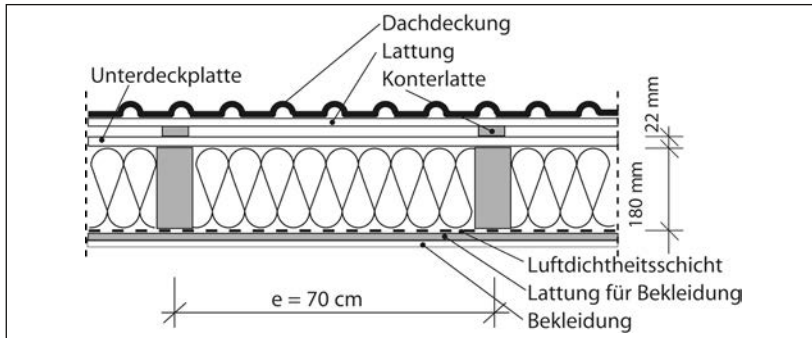


Abb. 3: Dachaufbau

Ein Dachaufbau wie dieser gilt nach DIN 4108-3 als nicht belüftetes Dach. Es liegt zwar eine belüftete Dacheindeckung vor, jedoch ist direkt über der Wärmedämmung keine belüftete Luftschicht vorhanden.

Für den gewählten Dachaufbau ist nach DIN 4108-3 kein Nachweis des Feuchteschutzes erforderlich, wenn die Vorgaben dieser Norm in Bezug auf die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d beachtet werden. Beträgt die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke der Unterdeckplatte $s_{d,e} = 0,07 \text{ m}$, muss $s_{d,i}$ der Schichten unterhalb der Wärmedämmung $s_{d,i} > 1,0 \text{ m}$ betragen. Um eine zuverlässige Konstruktion zu erhalten, ist folgender Hinweis der DIN 4108-3 dringend zu beachten.

Anmerkung: Bei nicht belüfteten Dächern mit belüfteter oder nicht belüfteter Dachdeckung und äußeren diffusionshemmenden Schichten mit $s_{d,e} > 2 \text{ m}$ kann erhöhte Baufeuchte oder später eingedrungene Feuchte, z. B. durch Undichtheiten nur schlecht oder gar nicht austrocknen.

Die Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB) ersetzt die Muster-Liste der technischen Baubestimmungen (M-LTB), entsprechend ersetzt in den einzelnen Bundesländern die rechtskräftige Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VwV TB), die von den Ländern eingeführten Listen der technischen Baubestimmungen (LTB). Über die VwV TB werden weiterhin die deutschen Normen DIN 4108 und DIN 4109 als technische Regeln zur Erfüllung der Anforderungen an den Schall- und Wärmeschutz eingeführt.

1.2 Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VwV TB)

Erzwungen durch ein Urteil des europäischen Gerichtshofes, das insbesondere die Umsetzung einer europäischen Verordnung zur Vermarktung von Bauprodukten (Verordnung (EU) Nr. 305/2011) betraf, wurden die bislang von den obersten Baurechtsbehörden (Landesministerien) eingeführten Listen der Technischen Baubestimmungen (LTB) und die vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) bekanntgemachten Bauregellisten ersetzt durch die Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (VwV TB). Die obersten Baurechtsbehörden der Bundesländer werden durch die Landesbauordnungen (LBO) der Länder ermächtigt Baubestimmungen einzuführen, bei deren Beachtung der Planer davon ausgehen kann, dass die Anforderun-

$$\left(\frac{2,33 \text{ kN}}{1,22 \text{ kN}}\right)^2 + \left(\frac{0,44 \text{ kN}}{2,03 \text{ kN}}\right)^2 > 1$$

$$(1,91)^2 + (0,22)^2 \leq 1$$

$$3,64 + 0,05 = 3,69 > 1$$

und ist wegen der hohen Ausziehbeanspruchung nicht eingehalten. Natürlich können an den Flugsparren senkrecht angeordnete Sparrenpfettenanker angeordnet werden. Diese zugelassenen Blechformteile erreichen in der Regel deutlich höhere Tragfähigkeiten als für die gegebene Situation erforderlich wäre. Allerdings ist der Randabstand der Kammnägel zwischen dem Hirnholz der Pfette und dem äußersten Sparrenpfettenanker einzuhalten.

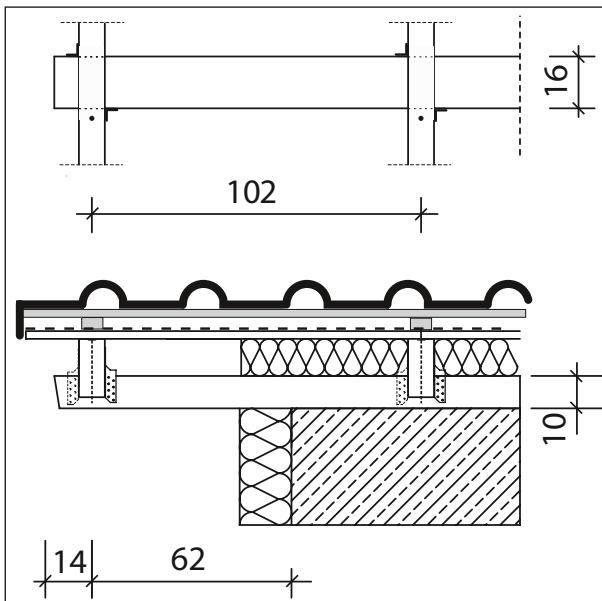


Abb. 95: Anschluss Fußpunkt des Flugsparrens mit Sparrenpfettenankern

Der erste innenliegende Sparren wird nach Abbildung 31 und Abbildung 34 durch höhere Windsoglasten beansprucht als die Sparren im mittleren Innenbereich. Nun sind diese innenliegenden Sparren in Nähe der Giebelwand natürlich nicht durch Druck auf die Unterseite des Ortganges beansprucht, sodass die abhebenden Kräfte deutlich reduziert sind. Um sich die Bestimmung der maßgebenden Lastfallkombination und die Nachweise für die Anschlüsse zu ersparen, können für diese Sparren die gleichen Anschlüsse gewählt werden wie für die Flugsparren.

8 Bemessung der Mittelpfetten und Stiele

Abbildung 96 zeigt den Schnitt parallel zur Pfette durch die Giebelwände. Der Betongurt über der Giebelwand nach Abbildung 16, Kapitel 2, wurde vereinfacht in der Dicke der Wand dargestellt. In der Regel ist an der Außen-seite eine Wärmedämmung anzubringen. Lediglich bei außenliegenden Wärmedämmverbundsystemen mit ausreichender Dämmung ist es möglich, diese Ausführung ohne Wärmebrücken zu erzeugen.

Die Durchdringung der Giebelwände im Bereich der auskragenden Pfetten ist sorgfältig auszuführen. Die Hersteller von Dampfbremsen, Klebebändern, Klebern und Dämmmaterial bieten auf ihren Internetseiten häufig Detailausbildungen.

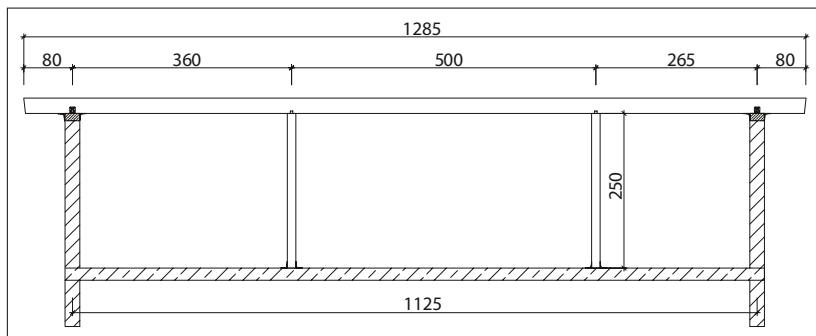


Abb. 96: Schnitt parallel zur Mittelpfette, Rohbaumaße

Abbildung 97 zeigt die Auflagerkräfte und Biegemomente infolge einer vertikal wirkenden Streckenlast von $q = 1 \text{ kN/m}$. Die Mittelpfetten werden als Durchlaufträger ausgeführt. Ohne die Schnittgrößen und Auflagerreaktionen wesentlich zu ändern, könnte die Pfette als Gerberträger mit Gelenken im Bereich des Momentendurchgangs ausgebildet werden. Je nach Anordnung der Längsaussteifung müssen die Gelenke in der Lage sein, nicht nur Quer-, sondern auch Normalkräfte zu übertragen.

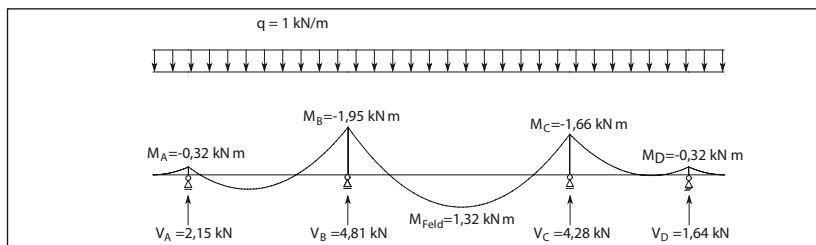


Abb. 97: Vertikale Auflagerkräfte und Biegemomente infolge einer Streckenlast von $q = 1 \text{ kN/m}$

Tabelle 36: Interpolation der Druckbeiwerte

$c_{pe,D,i}; h/d = 0,25$	$c_{pe,D,10}; h/d = 0,25$	$c_{pe,D,i}; h/d = 1,0$	$c_{pe,D,10}; h/d = 1,0$
1,0	0,7	1,0	0,8
Interpolation für die Fläche $c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \cdot \log(A)$ $c_{pe} = 1,0 + (0,7 - 1,0) \cdot \log(6,78)$ $c_{pe} = 0,75$		$c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \cdot \log(A)$ $c_{pe} = 1,0 + (0,8 - 1,0) \cdot \log(6,78)$ $c_{pe} = 0,83$	
Lineare Interpolation zwischen den angegebenen h/d -Werten für das vorhandene Verhältnis von $h/d = 0,59$ $c_{pe,D} = 0,75 + (0,83 - 0,75) \cdot \frac{(0,59 - 0,25)}{(1 - 0,25)}$ $c_{pe,D} = 0,79$			

Für die leeseitige Wand folgt ein entsprechender Sogbeiwert nach Tabelle 37

Tabelle 37: Interpolation der Druckbeiwerte

$c_{pe,E,i}; h/d = 0,25$	$c_{pe,E,10}; h/d = 0,25$	$c_{pe,E,i}; h/d = 1,0$	$c_{pe,E,10}; h/d = 1,0$
-0,5	-0,3	-0,5	-0,5
Interpolation für die Fläche $c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \cdot \log(A)$ $c_{pe} = -0,5 + (-0,3 - (-0,5)) \cdot \log(6,78)$ $c_{pe} = -0,33$		$c_{pe} = -0,5$	
Lineare Interpolation zwischen den angegebenen h/d -Werten für das vorhandene Verhältnis von $h/d = 0,59$ $c_{pe,D} = -0,33 + (-0,5 - (-0,33)) \cdot \frac{(0,59 - 0,25)}{(1 - 0,25)}$ $c_{pe,D} = -0,41$			

Der Böengeschwindigkeitsdruck beträgt nach Kapitel 3.3.1

$q(7,55 \text{ m}) = 0,49 \text{ kN/m}^2$. Die leeseitige Wand beansprucht die Pfette durch eine Zugkraft, die luvseitige durch eine Druckkraft, der Verband wird demnach durch die Addition der beiden resultierenden Kräfte beansprucht:

$$F_{w,k} = \left(c_{pe,E} + (-c_{pe,D}) \right) \cdot A_w \cdot q_{ref}$$

$$F_{w,k} = (0,79 + 0,41) \cdot 6,78 \text{ m}^2 \cdot 0,49 \text{ kN/m}^2$$

$$F_{w,k} = 3,99 \text{ kN} \approx 4,0 \text{ kN}$$

Aus den Seitenlasten q_d folgt eine am Drempel anzuschließende, horizontale Reaktion in Richtung der Längswand von

$$V_d = q_d \cdot l/2.$$

Da die Windbeanspruchung der Giebelwände bei der Anströmrichtung $\theta = 90^\circ$ maßgebend für die Bemessung der Verbände wird, ist für die Bildung der Kombination der Seitenlast $w_{090,k}$ als führende veränderliche Einwirkung anzusetzen

$$q_d = \gamma_g \cdot q_{g,k} + \gamma_q \cdot q_{w090,k} + \gamma_q \cdot \Psi_0 \cdot q_{s,k}$$

$$q_d = 1,35 \cdot (0,03 + 0,02) \text{ kN/m} + 1,5 \cdot (-0,01 - 0,01) \text{ kN/m} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot (0,01 + 0,01) \text{ kN/m}$$

$$q_d = 0,05 \text{ kN/m}$$

Mit der Gesamtlänge des Verbandes von $l = 2 \cdot (3,09 \text{ m} + 2,29 \text{ m}) = 10,8 \text{ m}$ folgt je Dachseite

$$V_{d,q} = q_d \cdot l/2 = 0,05 \text{ kN/m} \cdot 10,8 \text{ m}/2 = 0,27 \text{ kN}$$

Infolge der Windbeanspruchung ist dagegen eine Querkraft von

$$V_{d,w} = 1,5 \cdot 4,0 \text{ kN} = 6,0 \text{ kN} \text{ parallel zur Drempelwand anzuschließen.}$$

Aus den Verhältnissen der Beanspruchung des Verbandes ist zu erkennen, dass es für Pfettendächer meist genügen wird, die Dachverbände nur für die Windbeanspruchung der Giebelwände zu bemessen und eine geringfügige Tragfähigkeitsreserve einzuplanen.

Für Sparrendächer mit den höheren Druckkräften in allen Sparren muss dagegen die Beanspruchung der Verbände infolge der Stabilisierung der Sparren gegen Ausknicken untersucht werden.

Bei einem Verband über vier Sparrenfelder hat der Verband eine Höhe von

$$h_{\text{Verband}} = 4 \cdot e_{\text{Sparren}} = 4 \cdot 0,7 \text{ m} = 2,8 \text{ m}$$

aus dem Biegemoment in Feldmitte

$$M_{\text{Verband, q,d}} = q_d \cdot l^2/8 = 0,05 \text{ kN/m} \cdot (10,8 \text{ m})^2/8 = 0,73 \text{ kNm}$$

folgt eine im Firstgelenk zu übertragende Zugkraft von

$$F_{t, \text{First, q,d}} = M_{\text{Verband, q,d}}/h_{\text{Verband}} = 0,73 \text{ kNm}/2,8 \text{ m} = 0,26 \text{ kN.}$$

Der in Kapitel 6.7 bemessene Firstpunkt hat für diese zusätzliche Last ausreichend Tragfähigkeitsreserven.

11.2 Anschluss der Giebelwand an die Mittelpfetten

Der Anschluss der Mittelpfette an den Stahlbetongurt der Giebelwand erfolgt mit Winkelverbindern, die mit Dübeln an den Betongurt und mit Kammnägeln oder Schrauben an die Pfette angeschlossen werden. Neben der Einleitung der Windbeanspruchung $F_{w,k}$ der Giebelwand in die Mittelpfette sollte die Mittelpfette eine Gabellagerung für das in Kapitel 8.5 zu $M_{T,d} = 1,07 \text{ kNm}$ abgeschätzte Torsionsmoment erhalten.

Zur Berechnung der aus dem Torsionsmoment resultierenden Kräfte F_T werden auf der sicheren Seite liegend Kontaktkräfte zwischen Pfette und Stahlbetongurt nicht berücksichtigt. Mechanisch korrekt müsste der Schwerpunkt des Anschlusses zur Berechnung der Kraft F_T verwendet werden.

Hier wird vereinfachend $2 \cdot r = \sqrt{b^2 + h^2} = \sqrt{14^2 + 24^2} \text{ cm} = 27,8 \text{ cm}$ an angenommen. Es folgt $F_{T,d} = M_{T,d}/(2 \cdot r) = 1,07 \text{ kNm}/0,278 \text{ m} = 3,85 \text{ kN}$. Diese Beanspruchung kann in eine horizontale und vertikale Komponente zerlegt, zur Bemessung des Verbinders verwendet werden.

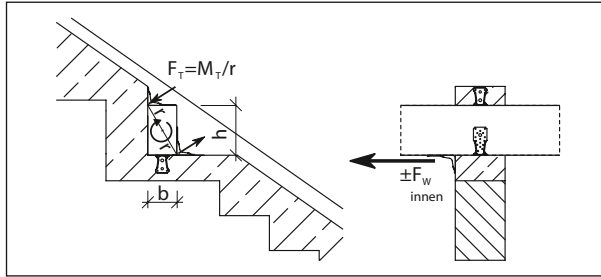


Abb. 126:
Schnittgrößen am
Anschluss der Pfette

Die Windkräfte

$$F_{+w,d} = \gamma_Q \cdot c_{pe,E} \cdot A_w \cdot q_{ref}$$

$$F_{+w,d} = 1,5 \cdot 0,79 \cdot 6,78 \text{ m}^2 \cdot 0,49 \text{ kN/m}^2 = 3,94 \text{ kN}$$

und

$$F_{-w,d} = \gamma_Q \cdot c_{pe,D} \cdot A_w \cdot q_{ref}$$

$$F_{-w,d} = 1,5 \cdot -0,41 \cdot 6,78 \text{ m}^2 \cdot 0,49 \text{ kN/m}^2 = -2,04 \text{ kN}$$

werden nach Abbildung 126 über einen dritten Winkel in die Pfette eingeleitet. Bei Windsog auf die Giebelwand tritt eine Zugbeanspruchung des Dübels im Stahlbetongurt auf. Die Dübel weisen bei Beanspruchung auf Herausziehen deutlich geringere Tragfähigkeiten auf als bei einer Scherbeanspruchung. Es kann daher günstiger sein, die Windbeanspruchung den beiden auf dem Gurt angeordneten Winkeln zuzuweisen und auf diesen dritten Winkel zu verzichten.

11.3 Aussteifung mit einem Fachwerkverband in der Dachebene

Am sinnvollsten wäre die Ableitung der in der Pfette wirkenden Windkraft $F_{w,d} = \pm 1,5 \cdot F_{w,k} = 6 \text{ kN}$ in die Stahlbetondecke über Wände oder Streben, die unter der Mittelpfette angeordnet sind.

In diesem Kapitel wird die weit verbreitete Aussteifung mit auf der Oberseite der Sparren angeordneten Windrispenbändern untersucht.

Die statische Berechnung dieses in der Ebene geknickten Fachwerkes ist durchaus anspruchsvoll. Um die Stabkräfte zu ermitteln, müsste ein räumliches Fachwerk untersucht werden, sodass 6 Gleichgewichtsbedingungen zu lösen wären anstelle der drei im ebenen Fall. Für eine derartige Untersuchung sinnvoll wäre eine Betrachtung des Momentengleichgewichtes um eine Sparrenachse

$$\sum M_z = 0$$

Es wird ersichtlich, dass zusätzliche Druckkräfte F_u am anderen Sparrenpaar angreifen müssen (Vogel, Schweizerhof (1990)).