

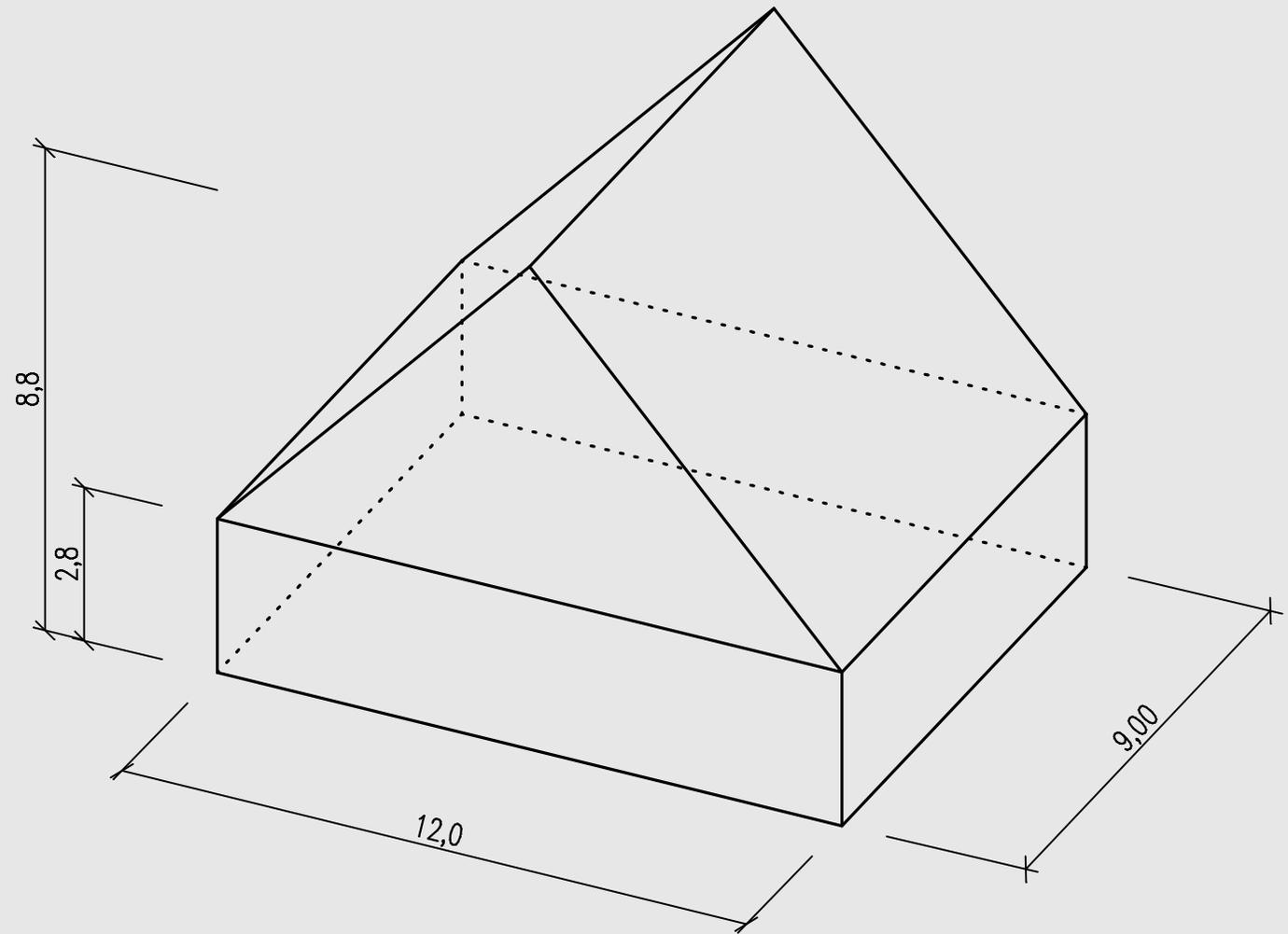
Beispielsammlung

-  1 Einfamilienhaus (Zoneneinteilung, günstig wirkende Lastanteile)
-  2 Lagerhalle (Innendruck, dominante Öffnungen, globale Lasten)
-  3 Tankstellendach (Zoneneinteilung, günstig wirkende Lastanteile)
-  4 Hochhaus (Höhenabstufung, Torsion) [Exzentrizität](#)
-  5 Reihenhaus (Vergleich freistehend oder Riegelbebauung)
-  6 Auskragendes Gebäude (Unterseitendruck)
-  7 Solaranlagen
-  8 Wirbelerregung (Schornstein, Variationen)
-  9 Wirbelerregung (Brückenhänger)
-  10 Wirbelerregung (Brückendeck)
-  11 Brücken (Lasten: nicht schwingungsanfällig)

Beispiel 1: Einfamilienhaus



Beispiel 1: Einfamilienhaus Systemabmessungen



Beispiel 1: Einfamilienhaus Basisdaten

| | | | | |
|---|-------------|------------|-------------------|--------------------|
| Einfamilienhaus | | | | |
| Standort: | | Dortmund | | |
| Windzone | | 2 | | |
| Referenzgeschwindigkeitsdruck: | $q_{ref} =$ | 0,39 | kN/m ² | DIN EN 1991-1-3/NA |
| Referenzwindgeschwindigkeit: | $v_{ref} =$ | 25 | m/s | Anhang NA.A |
| Bezugshöhe: | $z_e =$ | 8,8 | m | |
| Hinweis: Ermittlung des Böengeschwindigkeitsdruckes n. vereinfachtem Verfahren möglich (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2) | | | | |
| Profilart: | | Binnenland | | |
| Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2): | $q =$ | 0,65 | kN/m ² | |
| Höhenabhängiger Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3): | $q =$ | 0,63 | kN/m ² | |



Beispiel 1: Einfamilienhaus Geometrie 0°, Dach, Druckbeiwerte

| | | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------|
| Winddruck Dach: | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.5) | | | | | |
| Dachneigung: | | 45 | Grad | | | |
| Anströmung | | 0 | Grad | | | |
| Geometrie: | | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 9,00 | m | | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 12,00 | m | | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 8,80 | m | | | |
| | h/d = | 0,73 | | | | |
| Einteilung der Dachfläche in 5 Zonen F, G, H, I und J: | | | | | | |
| (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.8) | | | | | | |
| | | | Tiefe | | | Breite |
| Bezugsmaß | e = | 9,00 | m | | | |
| Zone F | e/10= | 0,90 | m | e/4= | 2,25 | m |
| Zone G | e/10= | 0,90 | m | b-e/2= | 4,50 | m |
| Zone H | d/2-e/10 | 5,10 | m | b = | 9,00 | m |
| Zone I | d/2-e/10 | 5,10 | m | b = | 9,00 | m |
| Zone J | e/10= | 0,90 | m | b = | 9,00 | m |
| Höhenabstufung: | | | | | | |
| (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.4) | | | | | | |
| | h/b | 0,98 | keine Höhenabstufung | | | |
| Druckbeiwerte: | | | | <i>DIN 1055-4, Tabelle 6</i> | | |
| (DIN EN 1991-1-4, Tabelle 7.4a) | | | | | | |
| Bereich | C_{pe,10} | C_{pe,1} | | C_{pe,10} | C_{pe,1} | |
| F | 0,00 | 0,00 | | | | |
| F | 0,70 | 0,70 | | 0,70 | 0,70 | |
| G | 0,00 | 0,00 | | | | |
| G | 0,70 | 0,70 | | 0,70 | 0,70 | |
| H | 0,00 | 0,00 | | | | |
| H | 0,60 | 0,60 | | 0,60 | 0,60 | |
| I | -0,20 | -0,20 | | | | |
| I | 0,00 | 0,00 | | -0,40 | -0,40 | |
| J | -0,30 | -0,30 | | | | |
| J | 0,00 | 0,00 | | -0,50 | -0,50 | |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend



Beispiel 1: Einfamilienhaus Dach, Winddruck 0°

Winddruck mit Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2):

| Höhenstreifen von U_k bis O_k in m | 0,00 | 8,80 | | | | |
|--|------------------------|-----------------------|--|--|--|--|
| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 | | | | |
| F | 0,00 | 0,00 | | | | |
| F | 0,46 | 0,46 | | | | |
| G | 0,00 | 0,00 | | | | |
| G | 0,46 | 0,46 | | | | |
| H | 0,00 | 0,00 | | | | |
| H | 0,39 | 0,39 | | | | |
| I | -0,130 | -0,130 | | | | |
| I | 0,00 | 0,00 | | | | |
| J | -0,195 | -0,195 | | | | |
| J | 0,00 | 0,00 | | | | |

für globale Nachweise:
theoretisch 4 Kombinationen untersuchen

| | Winddruck $w_{e,10}$ in kN/m^2 in Zonen | | | |
|-------|---|------|--------|--------|
| Komb. | F(G) | H | I | J |
| 1 | 0,46 | 0,39 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,46 | 0,39 | -0,130 | -0,195 |
| 3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 0,00 | 0,00 | -0,130 | -0,195 |

Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 | | | | |
|---------|------------------------|-----------------------|--|--|--|--|
| F | 0,00 | 0,00 | | | | |
| F | 0,44 | 0,44 | | | | |
| G | 0,00 | 0,00 | | | | |
| G | 0,44 | 0,44 | | | | |
| H | 0,00 | 0,00 | | | | |
| H | 0,38 | 0,38 | | | | |
| I | -0,126 | -0,126 | | | | |
| I | 0,00 | 0,00 | | | | |
| J | -0,190 | -0,190 | | | | |
| J | 0,00 | 0,00 | | | | |

für globale Nachweise:
theoretisch 4 Kombinationen untersuchen

| | Winddruck $w_{e,10}$ in kN/m^2 in Zonen | | | |
|-------|---|------|--------|--------|
| Komb. | F(G) | H | I | J |
| 1 | 0,44 | 0,38 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,44 | 0,38 | -0,126 | -0,190 |
| 3 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 0,00 | 0,00 | -0,126 | -0,190 |



Beispiel 1: Einfamilienhaus Geometrie 0°, Wände, Druckbeiwerte

| | | | | | |
|--|-------------------------------|------------------------------|----------------------|-------------|----------|
| Winddruck Wände: | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.2) | | | | |
| Anströmung | | 0 | Grad | | |
| Geometrie: | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 9,00 | m | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 12,00 | m | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 8,80 | m | | |
| | h/d = | 0,73 | | | |
| Einteilung der windparallelen Wände in 3 vertikale Streifen A, B und C: | | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.5) | | | Tiefe | |
| Bezugsmaß | e = | 9,00 | m | | |
| Zone A | e/5 = | 1,80 | m | 1,80 | m |
| Zone B | 4/5e = | 7,20 | m | 7,20 | m |
| Zone C | d-e = | 3,00 | m | 3,00 | m |
| Höhenabstufung: | | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.4) | | | | |
| | h/b | 0,98 | keine Höhenabstufung | | |
| Druckbeiwerte: | | | | | |
| (DIN EN 1991-1-4/NA, Tabelle NA.1) | | | | | |
| Bereich | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | | | |
| A | -1,20 | -1,40 | | | |
| B | -0,80 | -1,10 | | | |
| C | -0,50 | -0,50 | | | |
| D | 0,76 | 1,00 | | | |
| E | -0,43 | -0,50 | | | |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend



Beispiel 1: Einfamilienhaus Wände, Winddruck 0°

Winddruck mit Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 |
|---------|-------------------------------|------------------------------|
| A | -0,78 | -0,91 |
| B | -0,52 | -0,72 |
| C | -0,33 | -0,33 |
| D | 0,49 | 0,65 |
| E | -0,28 | -0,33 |

Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 |
|---------|-------------------------------|------------------------------|
| A | -0,76 | -0,89 |
| B | -0,51 | -0,70 |
| C | -0,32 | -0,32 |
| D | 0,48 | 0,63 |
| E | -0,27 | -0,32 |



Beispiel 1: Einfamilienhaus Geometrie 90°, Dach, Druckbeiwerte

| | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------|----------------|
| Winddruck Dach: | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.5) | | | | |
| Dachneigung: | | 45 | Grad | | |
| Anströmung | | 90 | Grad | | |
| Geometrie: | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 12,00 | m | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 9,00 | m | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 8,80 | m | | |
| | h/d = | 0,98 | | | |
| Einteilung der Dachfläche in 5 Zonen F, G, H, I und J: | | | | | |
| (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.8) | | | | | |
| | | Tiefe | | Breite | |
| Bezugsmaß | e = | 12,00 | m | | |
| Zone F | e/10= | 1,20 | m | e/4= | 3,00 m |
| Zone G | e/10= | 1,20 | m | b-e/2= | 6,00 m |
| Zone H | e/2-e/10= | 4,80 | m | b = | 12,00 m |
| Zone I | d-e/2= | 3,00 | m | b = | 12,00 m |
| Zone J | | 0,00 | m | | 0,00 m |
| Höhenabstufung: | | | | | |
| (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.4) | | | | | |
| | h/b | 0,73 | keine Höhenabstufung | | |
| Druckbeiwerte: | | | | | |
| (DIN EN 1991-1-4, Tabelle 7.4b) | | | | | |
| Bereich | c_{pe,10} | c_{pe,1} | | | |
| F | -1,10 | -1,50 | | | |
| G | -1,40 | -2,00 | | | |
| H | -0,90 | -1,20 | | | |
| I | -0,50 | -0,50 | | | |
| J | | | | | |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend



Beispiel 1: Einfamilienhaus Dach Winddruck 90°

Winddruck mit Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2):

| Höhenstreifen von U_k bis O_k in m | 0,00 | 8,80 | | | | |
|--|------------------------|-----------------------|--|--|--|--|
| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 | | | | |
| F | -0,72 | -0,98 | | | | |
| G | -0,91 | -1,30 | | | | |
| H | -0,59 | -0,78 | | | | |
| I | -0,33 | -0,33 | | | | |
| J | | | | | | |

Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 | | | | |
|---------|------------------------|-----------------------|--|--|--|--|
| F | -0,70 | -0,95 | | | | |
| G | -0,89 | -1,26 | | | | |
| H | -0,57 | -0,76 | | | | |
| I | -0,32 | -0,32 | | | | |
| J | | | | | | |



Beispiel 1: Einfamilienhaus Geometrie 90°, Wände, Druckbeiwerte

| | | | | | |
|--|---|--------------------------|-------------------------|-------------|----------|
| Winddruck Wände: | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.2) | | | | |
| Anströmung | | 90 | Grad | | |
| Geometrie: | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 12,00 | m | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 9,00 | m | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 8,80 | m | | |
| | h/d = | 0,98 | | | |
| Einteilung der windparallelen Wände in 3 vertikale Streifen A, B und C: | | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.5) | | | Tiefe | |
| Bezugsmaß | e = | 12,00 | m | | |
| Zone A | e/5 = | 2,40 | m | 2,40 | m |
| Zone B | 4/5e = | 9,60 | m | 6,60 | m |
| Zone C | d-e = | -3,00 | m | 0,00 | m |
| Höhenabstufung: | | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.4) | | | | |
| | h/b | 0,73 | keine Höhenabstufung | | |
| Druckbeiwerte: | | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4/NA, Tabelle NA.1) | | | | |
| | Bereich | c_{pe,10} | c_{pe,1} | | |
| | A | -1,20 | -1,40 | | |
| | B | -0,80 | -1,10 | | |
| | C | -0,50 | -0,50 | | |
| | D | 0,80 | 1,00 | | |
| | E | -0,50 | -0,50 | | |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend

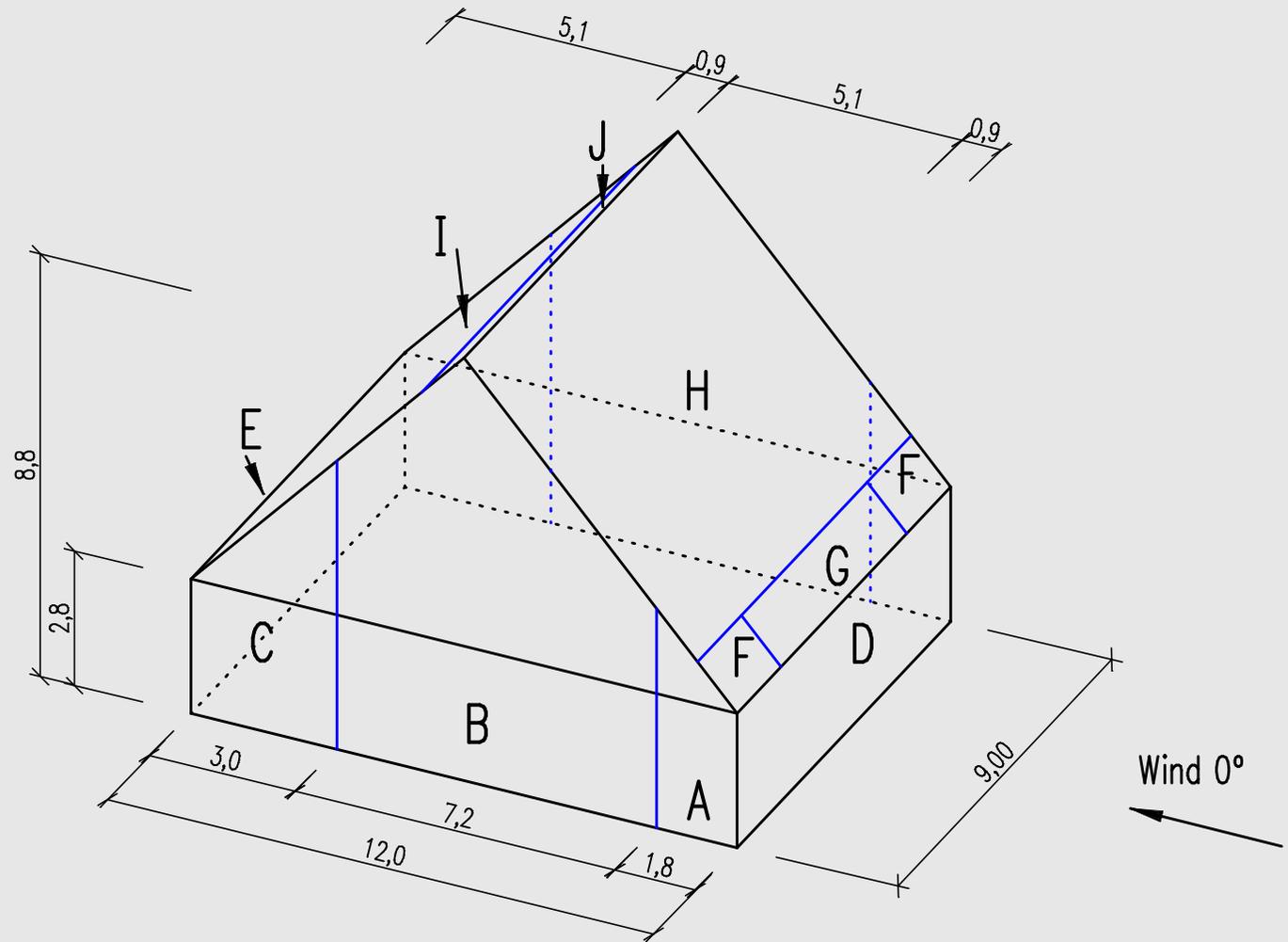


Beispiel 1: Einfamilienhaus Wände Winddruck 90°

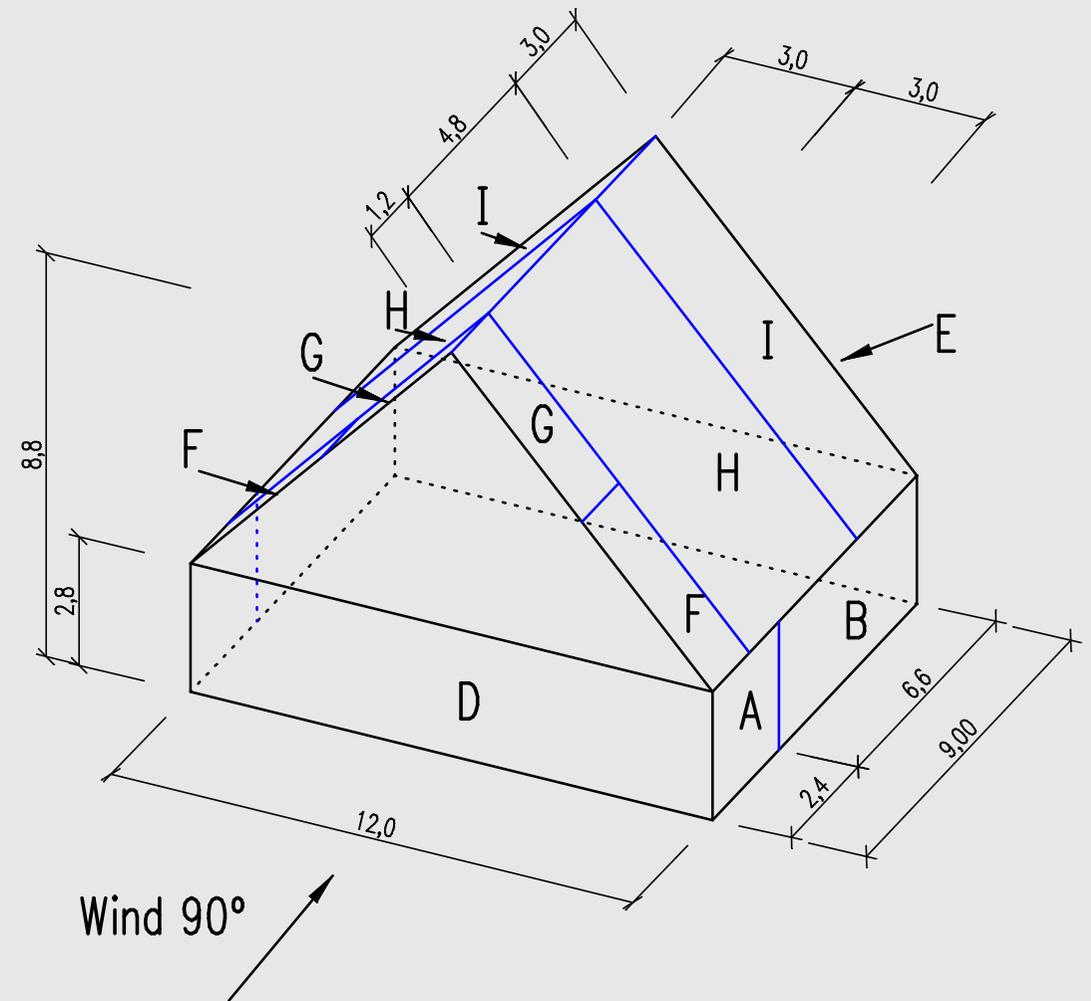
| Winddruck mit Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2): | | | |
|--|-------------------------------|------------------------------|--|
| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 | |
| A | -0,78 | -0,91 | |
| B | -0,52 | -0,72 | |
| C | -0,33 | -0,33 | |
| D | 0,52 | 0,65 | |
| E | -0,33 | -0,33 | |
| Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3): | | | |
| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 | |
| A | -0,76 | -0,89 | |
| B | -0,51 | -0,70 | |
| C | -0,32 | -0,32 | |
| D | 0,51 | 0,63 | |
| E | -0,32 | -0,32 | |



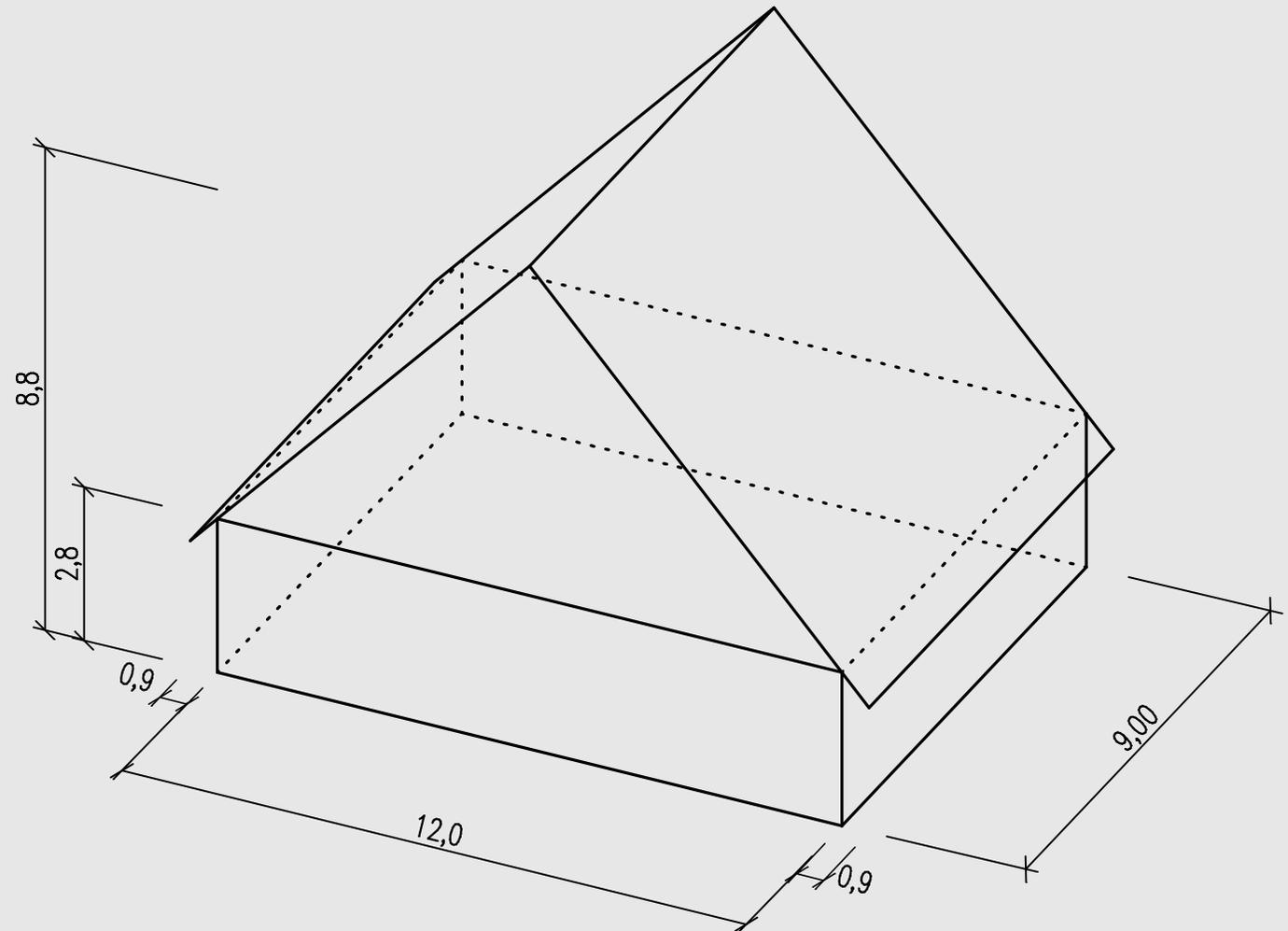
Beispiel 1: Einfamilienhaus Zoneneinteilung 0°



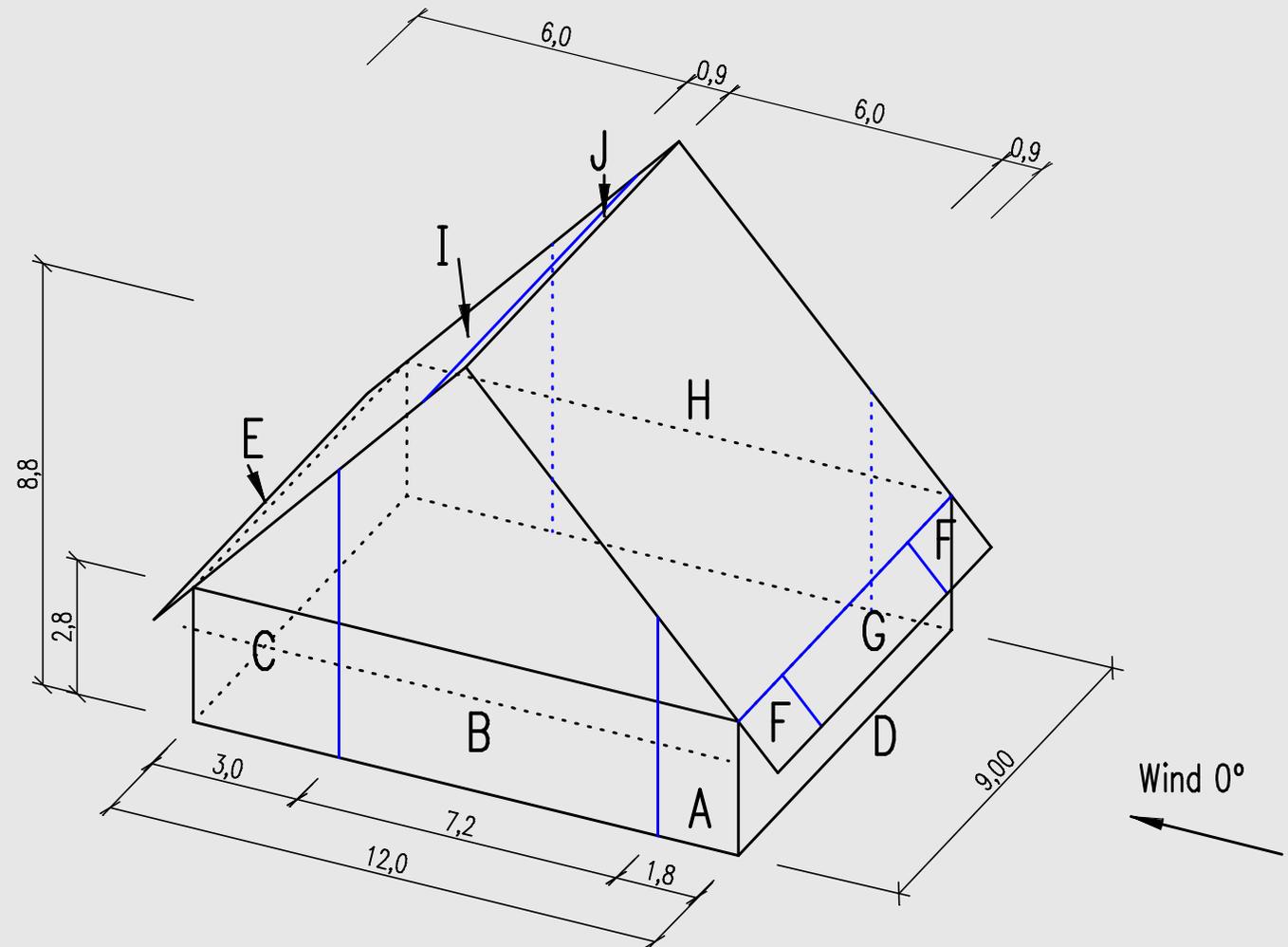
Beispiel 1: Einfamilienhaus Zoneneinteilung 90°



Beispiel 1: Einfamilienhaus Systemabmessungen, mit Dachüberstand



Beispiel 1: Einfamilienhaus Zoneneinteilung graphisch mit Dachüberstand



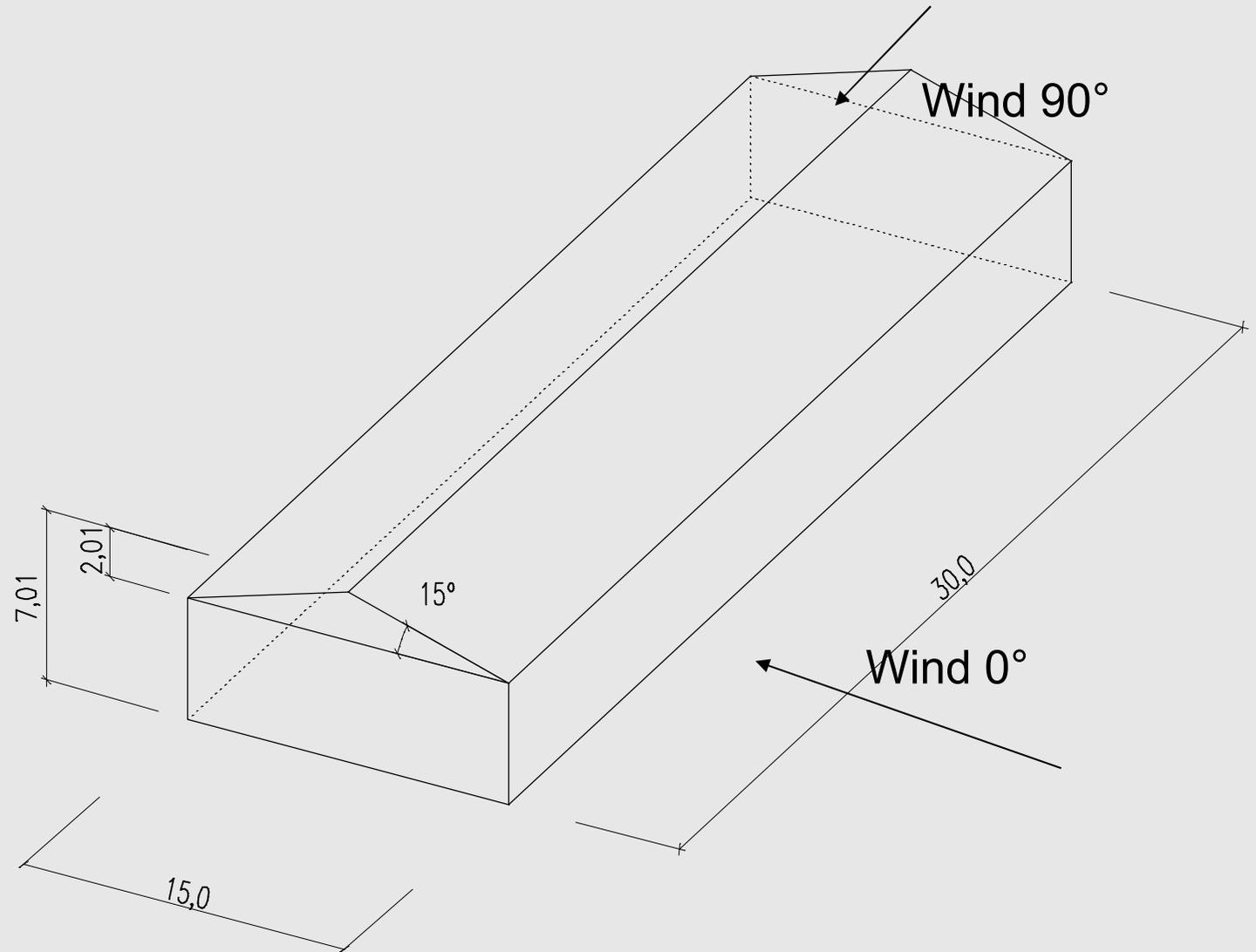
! In Zonen F und G ggf. die resultierenden Drücke ansetzen

$$C_{p,res} = C_{pe,F} - C_{pe,D} \quad \text{bzw.} \quad C_{p,res} = C_{pe,G} - C_{pe,D}$$

Beispiel 2: Lagerhalle



Beispiel 2: Lagerhalle Systemabmessungen



Beispiel 2: Lagerhalle Basisdaten

| | | | | |
|---|-------------|------------|-------------------|--------------------|
| Lagerhalle | | | | |
| Standort: | | Bremen | | |
| Windzone | | 3 | | |
| Referenzgeschwindigkeitsdruck: | $q_{ref} =$ | 0,47 | kN/m ² | DIN EN 1991-1-3/NA |
| Referenzwindgeschwindigkeit: | $V_{ref} =$ | 27,5 | m/s | Anhang NA.A |
| Bezugshöhe: | $z_e =$ | 7,01 | m | |
| Hinweis: Ermittlung des Böengeschwindigkeitsdruckes n. vereinfachtem Verfahren möglich (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2) | | | | |
| Profilart: | | Binnenland | | |
| Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2): | $q =$ | 0,80 | kN/m ² | |
| Höhenabhängiger Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3): | $q =$ | 0,71 | kN/m ² | |



Beispiel 2: Lagerhalle Geometrie 0°, Dach, Druckbeiwerte

| | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------|
| Winddruck Dach: | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.5) | | | | |
| Dachneigung: | | 15 | Grad | | |
| Anströmung | | 0 | Grad | | |
| Geometrie: | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 30,00 | m | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 15,00 | m | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 7,01 | m | | |
| | h/d = | 0,47 | | | |
| Einteilung der Dachfläche in 5 Zonen F, G, H, I und J: | | | | | |
| (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.8) | | | | | |
| | | Tiefe | | Breite | |
| Bezugsmaß | e = | 14,02 | m | | |
| Zone F | e/10= | 1,40 | m | e/4= | 3,51 m |
| Zone G | e/10= | 1,40 | m | b-e/2= | 22,99 m |
| Zone H | d/2-e/10 | 6,10 | m | b = | 30,00 m |
| Zone I | d/2-e/10 | 6,10 | m | b = | 30,00 m |
| Zone J | e/10= | 1,40 | m | b = | 30,00 m |
| Höhenabstufung: | | | | | |
| (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.4) | | | | | |
| | h/b | 0,23 | keine Höhenabstufung | | |
| Druckbeiwerte: | | | | | |
| (DIN EN 1991-1-4, Tabelle 7.4a) | | | | DIN 1055-4, Tabelle 6 | |
| Bereich | C_{pe,10} | C_{pe,1} | C_{pe,10} | C_{pe,1} | |
| F | -0,90 | -2,00 | -0,90 | 2,00 | |
| F | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | |
| G | -0,80 | -1,50 | -0,80 | -1,50 | |
| G | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | |
| H | -0,30 | -0,30 | -0,30 | -0,30 | |
| H | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | |
| I | -0,40 | -0,40 | -0,40 | 0,40 | |
| I | 0,00 | 0,00 | | | |
| J | -1,00 | -1,50 | -1,00 | -1,50 | |
| J | 0,00 | 0,00 | | | |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend

==> mehrere Lastfälle untersuchen



Beispiel 2: Lagerhalle Dach, Winddruck 0°

Winddruck mit Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 |
|---------|-------------------------------|------------------------------|
| F | -0,72 | -1,60 |
| F | 0,16 | 0,16 |
| G | -0,64 | -1,20 |
| G | 0,16 | 0,16 |
| H | -0,24 | -0,24 |
| H | 0,16 | 0,16 |
| I | -0,32 | -0,32 |
| I | 0,00 | 0,00 |
| J | -0,80 | -1,20 |
| J | 0,00 | 0,00 |

für globale Nachweise:
theoretisch 4 Kombinationen untersuchen

| | Winddruck $w_{e,10}$ in kN/m^2 in Zonen | | | | |
|-------|--|-------|-------|--------|--------|
| Komb. | F | G | H | I | J |
| 1 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,16 | 0,16 | 0,16 | -0,320 | -0,800 |
| 3 | -0,72 | -0,64 | -0,24 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,320 | -0,800 |

Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 |
|---------|-------------------------------|------------------------------|
| F | -0,64 | -1,41 |
| F | 0,14 | 0,14 |
| G | -0,57 | -1,06 |
| G | 0,14 | 0,14 |
| H | -0,21 | -0,21 |
| H | 0,14 | 0,14 |
| I | -0,28 | -0,28 |
| I | 0,00 | 0,00 |
| J | -0,71 | -1,06 |
| J | 0,00 | 0,00 |

für globale Nachweise:
theoretisch 4 Kombinationen untersuchen

| | Winddruck $w_{e,10}$ in kN/m^2 in Zonen | | | | |
|-------|--|-------|-------|--------|--------|
| Komb. | F | G | H | I | J |
| 1 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | -0,283 | -0,707 |
| 3 | -0,64 | -0,57 | -0,21 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,283 | -0,707 |



Beispiel 2: Lagerhalle Geometrie 0°, Wände, Druckbeiwerte

| | | | | | |
|--|---|--------------------------|-------------------------|--------------|----------|
| Winddruck Wände: | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.2) | | | | |
| Anströmung | | 0 | Grad | | |
| Geometrie: | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 30,00 | m | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 15,00 | m | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 7,01 | m | | |
| | h/d = | 0,47 | | | |
| Einteilung der windparallelen Wände in 3 vertikale Streifen A, B und C: | | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.5) | | | Tiefe | |
| Bezugsmaß | e = | 14,02 | m | | |
| Zone A | e/5 = | 2,80 | m | 2,80 | m |
| Zone B | 4/5e = | 11,22 | m | 11,22 | m |
| Zone C | d-e = | 0,98 | m | 0,98 | m |
| Höhenabstufung: | | | | | |
| | (DIN EN 1911-1-4, Bild 7.4) | | | | |
| | h/b | 0,23 | keine Höhenabstufung | | |
| Druckbeiwerte: | | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4/NA, Tabelle NA.1) | | | | |
| | Bereich | c_{pe,10} | c_{pe,1} | | |
| | A | -1,20 | -1,40 | | |
| | B | -0,80 | -1,10 | | |
| | C | -0,50 | -0,50 | | |
| | D | 0,73 | 1,00 | | |
| | E | -0,36 | -0,50 | | |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend!



Beispiel 2: Lagerhalle Wände, Winddruck 0°

Winddruck mit Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 |
|---------|-------------------------------|------------------------------|
| A | -0,96 | -1,12 |
| B | -0,64 | -0,88 |
| C | -0,40 | -0,40 |
| D | 0,58 | 0,80 |
| E | -0,29 | -0,40 |

Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 |
|---------|-------------------------------|------------------------------|
| A | -0,85 | -0,99 |
| B | -0,57 | -0,78 |
| C | -0,35 | -0,35 |
| D | 0,52 | 0,71 |
| E | -0,25 | -0,35 |



Beispiel 2: Lagerhalle Geometrie 90°, Dach, Druckbeiwerte

| | | | | | |
|---|--------------------------|---------------------------------|----------------------|--------|----------------|
| Winddruck Dach: | | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.5) | | | |
| Dachneigung: | | 15 | Grad | | |
| Anströmung | | 90 | Grad | | |
| Geometrie: | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 15,00 | m | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 30,00 | m | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 7,01 | m | | |
| | h/d = | 0,23 | | | |
| Einteilung der Dachfläche in 5 Zonen F, G, H, I und J: | | | | | |
| (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.8) | | | | | |
| | | Tiefe | | Breite | |
| Bezugsmaß | e = | 14,02 | m | | |
| Zone F | e/10= | 1,40 | m | e/4= | 3,51 m |
| Zone G | e/10= | 1,40 | m | b-e/2= | 7,99 m |
| Zone H | e/2-e/10= | 5,61 | m | b = | 15,00 m |
| Zone I | d-e/2= | 22,99 | m | b = | 15,00 m |
| Zone J | | 0,00 | m | | 0,00 m |
| Höhenabstufung: | | | | | |
| (DIN EN 1911-1-4, Bild 7.4) | | | | | |
| | h/b | 0,47 | keine Höhenabstufung | | |
| Druckbeiwerte: | | | | | |
| (DIN EN 1991-1-4, Tabelle 7.4b) | | | | | |
| Bereich | c_{pe,10} | c_{pe,1} | | | |
| F | -1,30 | -2,00 | | | |
| G | -1,30 | -2,00 | | | |
| H | -0,60 | -1,20 | | | |
| I | -0,50 | -0,50 | | | |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend!



Beispiel 2: Lagerhalle Dach, Winddruck 90°

Winddruck mit Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m ² | $w_{e,1}$ in kN/m ² |
|---------|------------------------------------|-----------------------------------|
| F | -1,04 | -1,60 |
| G | -1,04 | -1,60 |
| H | -0,48 | -0,96 |
| I | -0,40 | -0,40 |

Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m ² | $w_{e,1}$ in kN/m ² |
|---------|------------------------------------|-----------------------------------|
| F | -0,92 | -1,41 |
| G | -0,92 | -1,41 |
| H | -0,42 | -0,85 |
| I | -0,35 | -0,35 |



Beispiel 2: Lagerhalle Geometrie 90°, Wände, Druckbeiwerte

| | | | | | |
|--|------------------------------------|---|-------------------------|--------------|----------|
| Winddruck Wände: | | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.2) | | | |
| Anströmung | | 90 | Grad | | |
| Geometrie: | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 15,00 | m | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 30,00 | m | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 7,01 | m | | |
| | h/d = | 0,23 | | | |
| Einteilung der windparallelen Wände in 3 vertikale Streifen A, B und C: | | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.5) | | | Tiefe | |
| Bezugsmaß | e = | 14,02 | m | | |
| Zone A | e/5 = | 2,80 | m | 2,80 | m |
| Zone B | 4/5e = | 11,22 | m | 11,22 | m |
| Zone C | d-e = | 15,98 | m | 15,98 | m |
| Höhenabstufung: | | | | | |
| | (DIN EN 1911-1-4, Bild 7.4) | | | | |
| | h/b | 0,47 | keine Höhenabstufung | | |
| Druckbeiwerte: | | (DIN EN 1991-1-4/NA, Tabelle NA.1) | | | |
| | Bereich | c_{pe,10} | c_{pe,1} | | |
| | A | -1,20 | -1,40 | | |
| | B | -0,80 | -1,10 | | |
| | C | -0,50 | -0,50 | | |
| | D | 0,70 | 1,00 | | |
| | E | -0,30 | -0,50 | | |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend



Beispiel 2: Lagerhalle Wände, Winddruck 90°

Winddruck mit Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2):

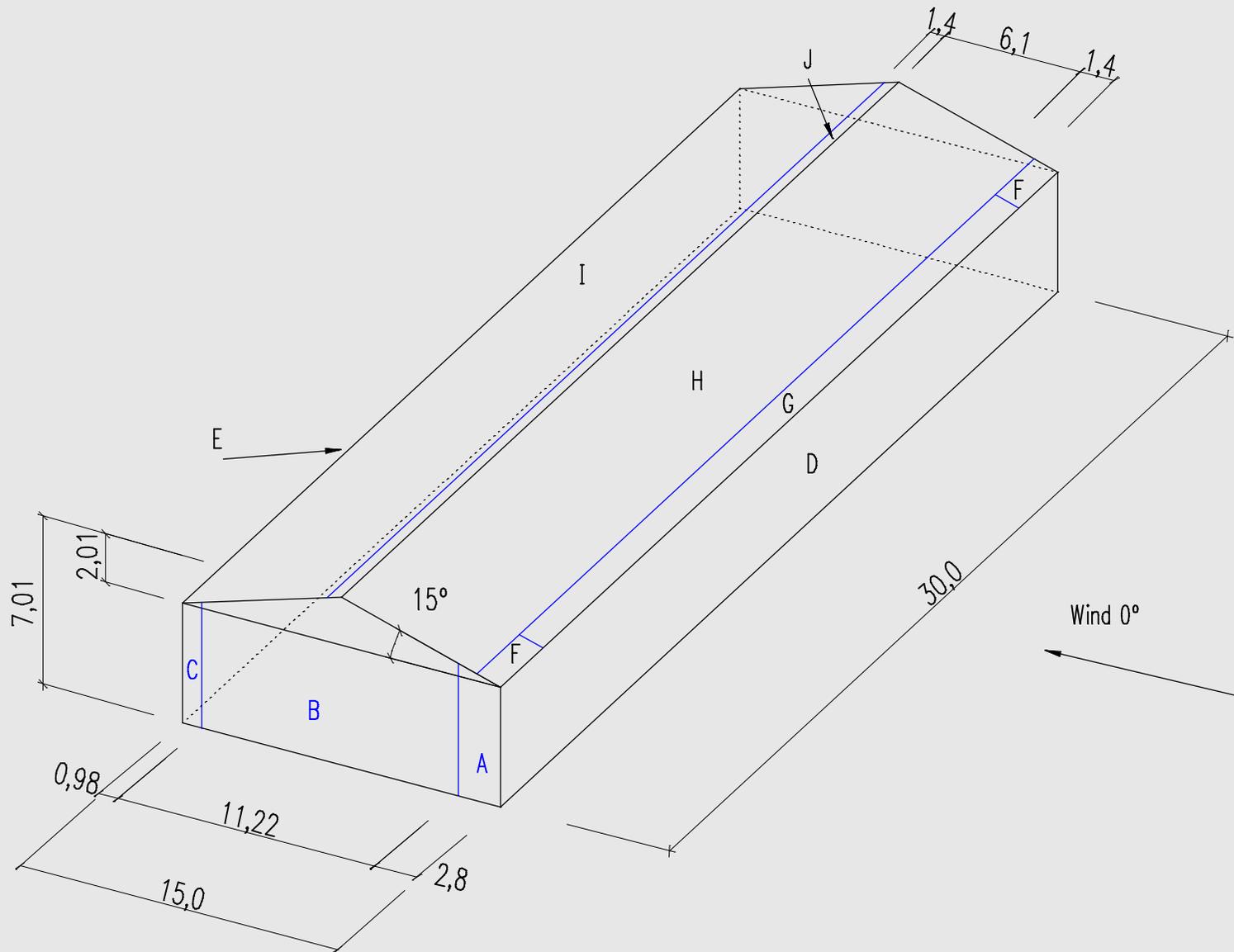
| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 |
|---------|-------------------------------|------------------------------|
| A | -0,96 | -1,12 |
| B | -0,64 | -0,88 |
| C | -0,40 | -0,40 |
| D | 0,56 | 0,80 |
| E | -0,24 | -0,40 |

Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 |
|---------|-------------------------------|------------------------------|
| A | -0,85 | -0,99 |
| B | -0,57 | -0,78 |
| C | -0,35 | -0,35 |
| D | 0,50 | 0,71 |
| E | -0,21 | -0,35 |



Beispiel 2: Lagerhalle Zoneneinteilung graphisch



Beispiel 2: Lagerhalle Innendruck (DIN EN 1991-1-4 + NA, 7.2.9)

In Räumen mit durchlässigen Außenwänden ist der Innendruck zu berücksichtigen (wenn er ungünstig wirkt)

Wände bis 30% offen gelten als durchlässige Wand → >30% seitlich offene Gebäude (dafür gibt es keine separate Regeln mehr!) → Lasten auf Dach nach 7.3 bzw. 7.4 – Lasten auf die Innenseiten der Wände in Anlehnung an 7.2.2

Türen und Tore dürfen als geschlossen angenommen werden (Ausnahme betriebsbedingt bei Sturm offen, Feuerwachen etc.)

Nachweis in der Regel nur bei Gebäuden ohne Unterteilung

Kein Nachweis bei üblichen Wohn- und Bürogebäuden

Nachweis nicht erforderlich wenn Öffnungsanteil insgesamt <1% ! und gleichmäßig verteilt ist

dominante Öffnungen müssen beachtet werden (neu)

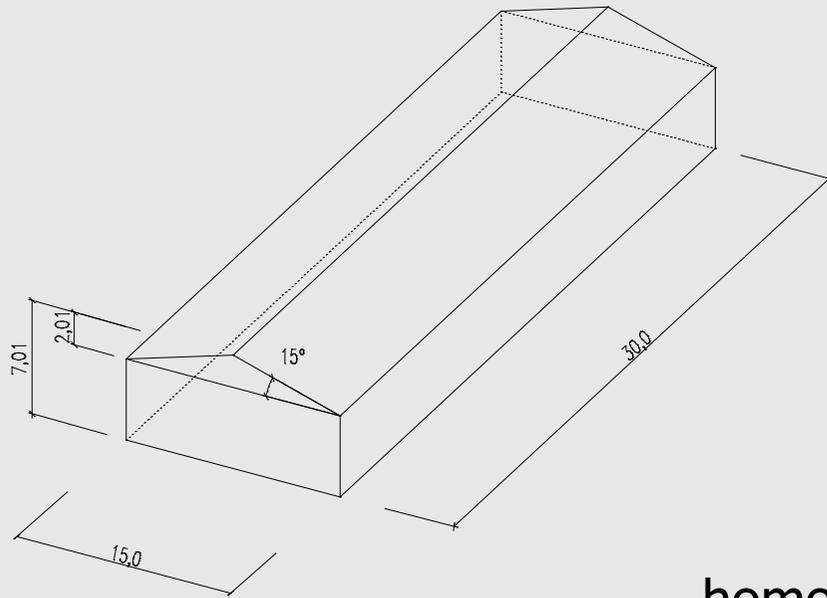
Empfehlung für außen liegende Räume mit leichten Trennwänden:

Abschätzung nach Bild 7.13 oder mit Regeln für dominante Öffnungen 7.2.9 (4)+(5)

Innenwände geschlossen annehmen

Innenwände mindestens mit $c_{pi,net}=0,5$ berechnen (wie bei mehrschaligen Wänden, NDP zu 7.2.10 (3) Anmerkung 2))

Beispiel 2: Lagerhalle Anströmung 0°, Innendruck nach DIN 1055-4, Bild 10

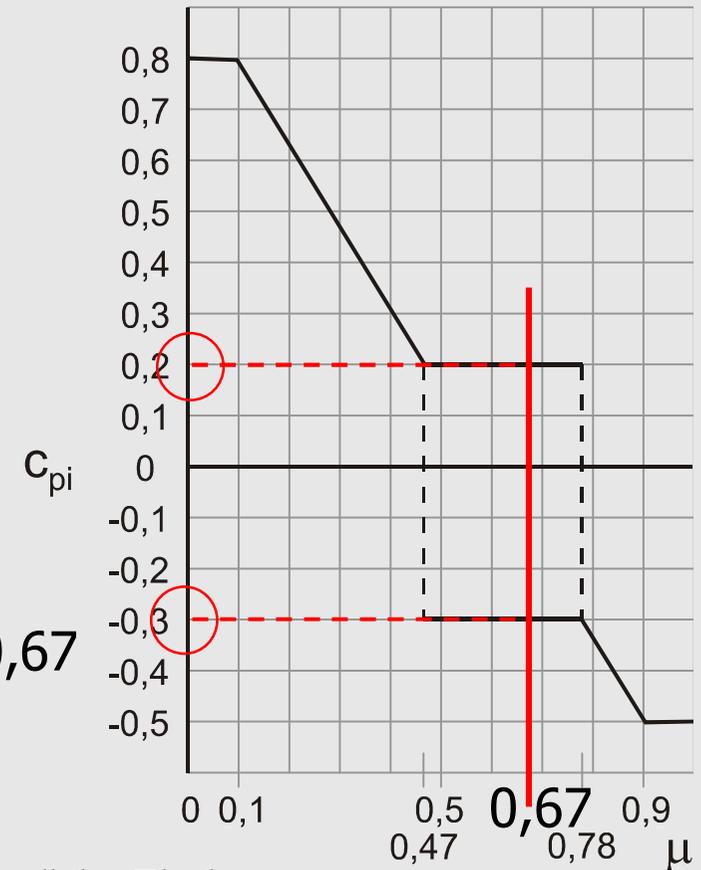


homogene Porosität
keine Öffnungen im Dach

$$\rightarrow \mu = (15 + 15 + 30) / ((30 + 15) * 2) = 0,67$$

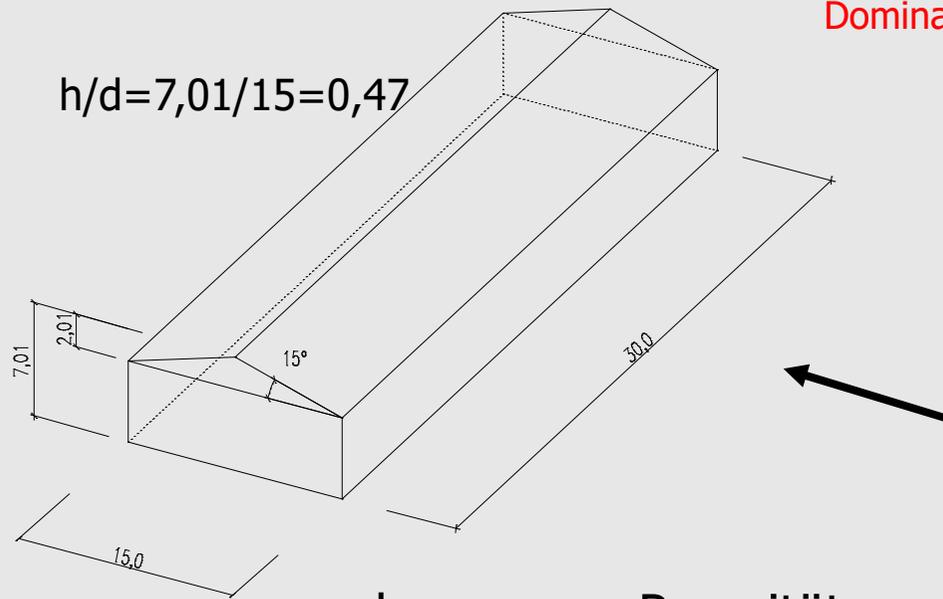
$$c_{pi} = -0,3 \text{ bzw. } +0,2$$

$$\mu = \frac{\text{Gesamtfläche der Öffnungen in den leeseitigen und windparallelen Flächen}}{\text{Gesamtfläche der Öffnungen aller Wände}}$$



Beispiel 2: Lagerhalle, Anströmung 0° Innendruck nach DIN EN

1991-1-4, 7.2.9(6)



homogene Porosität
keine Öffnungen im Dach

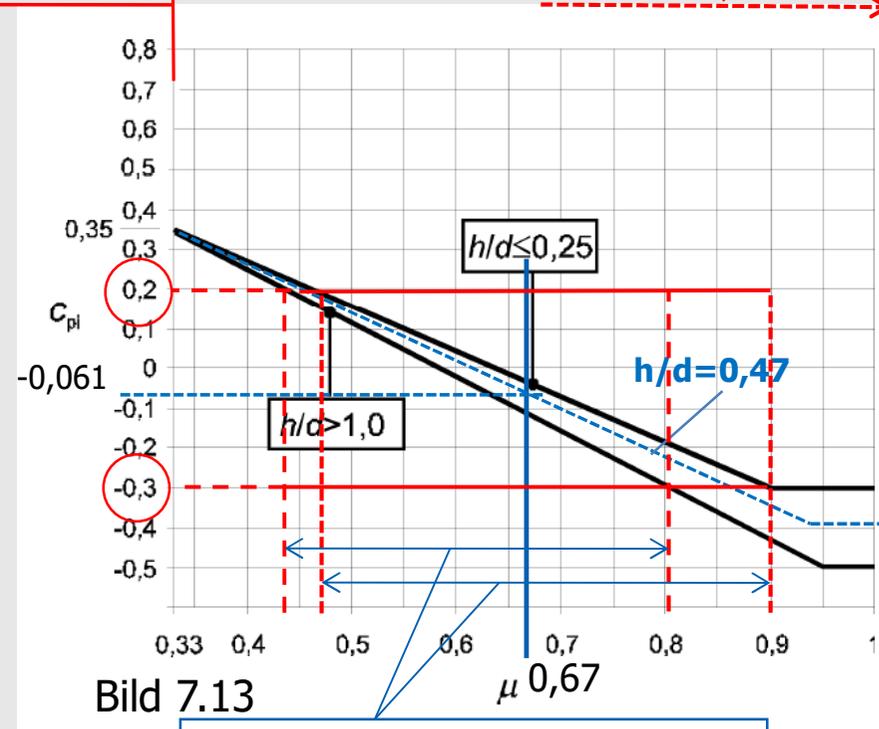
$$\rightarrow \mu = (15 + 15 + 30) / ((30 + 15) * 2) = 0,67$$

lin. Interpolation $\rightarrow c_{pi} = -0,061$

$$\mu = \frac{\text{Gesamtfläche der Öffnungen in den leeseitigen und windparallelen Flächen}}{\text{Gesamtfläche der Öffnungen aller Wände}}$$

Dominante Fläche in Luv

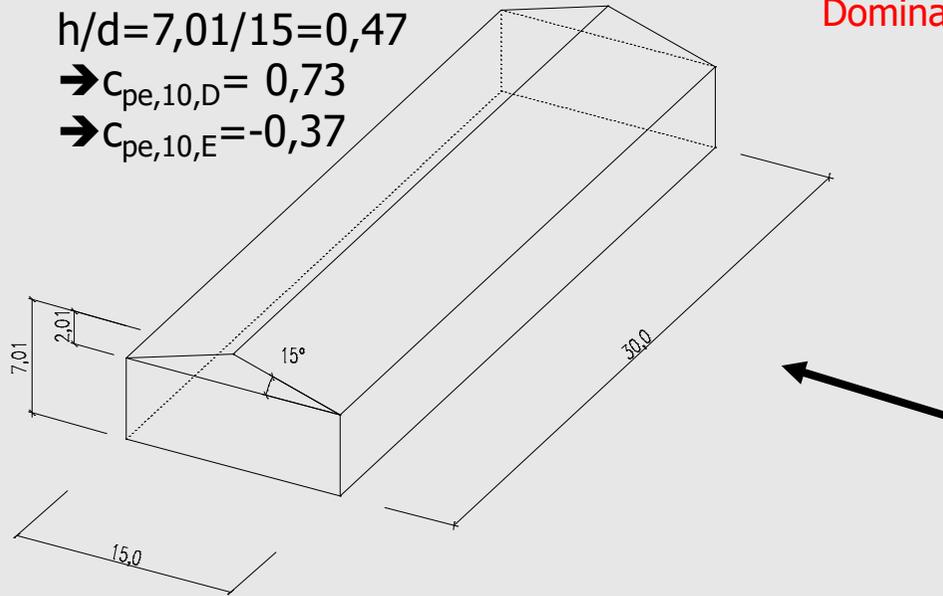
Dominante Fläche mit $c_{pe} < 0$
Grenze für μ variabel



Empfohlene μ -Bereiche für $c_{pi} = +0,2$ bzw. $-0,3$

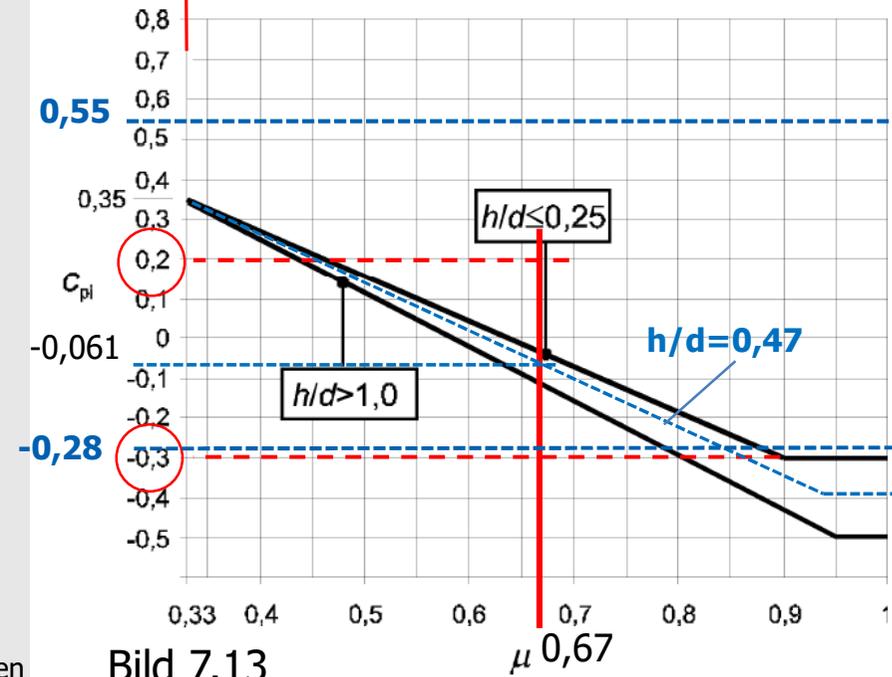
Falls Berechnung von μ unsicher oder nicht möglich, sollte mit dem ungünstigeren Wert von $c_{pi} = -0,3$ bzw. $+0,2$ gerechnet werden

Beispiel 2: Lagerhalle, Anströmung 0° Innendruck nach DIN EN 1991-1-4, 7.2.9 mit dominanter Fläche



Dominante Fläche in Luv

Dominante Fläche mit $c_{pe} < 0$
Grenze für μ variabel



homogene Porosität, keine Öffnungen im Dach:

1 dominante Öffnung in Luv mit $A_{\text{dominant}} = 2 \cdot A_{\text{Restflächen}}$

$$\rightarrow c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe} = 0,75 \cdot 0,73 = +0,55 \quad (7.2.9 (5))$$

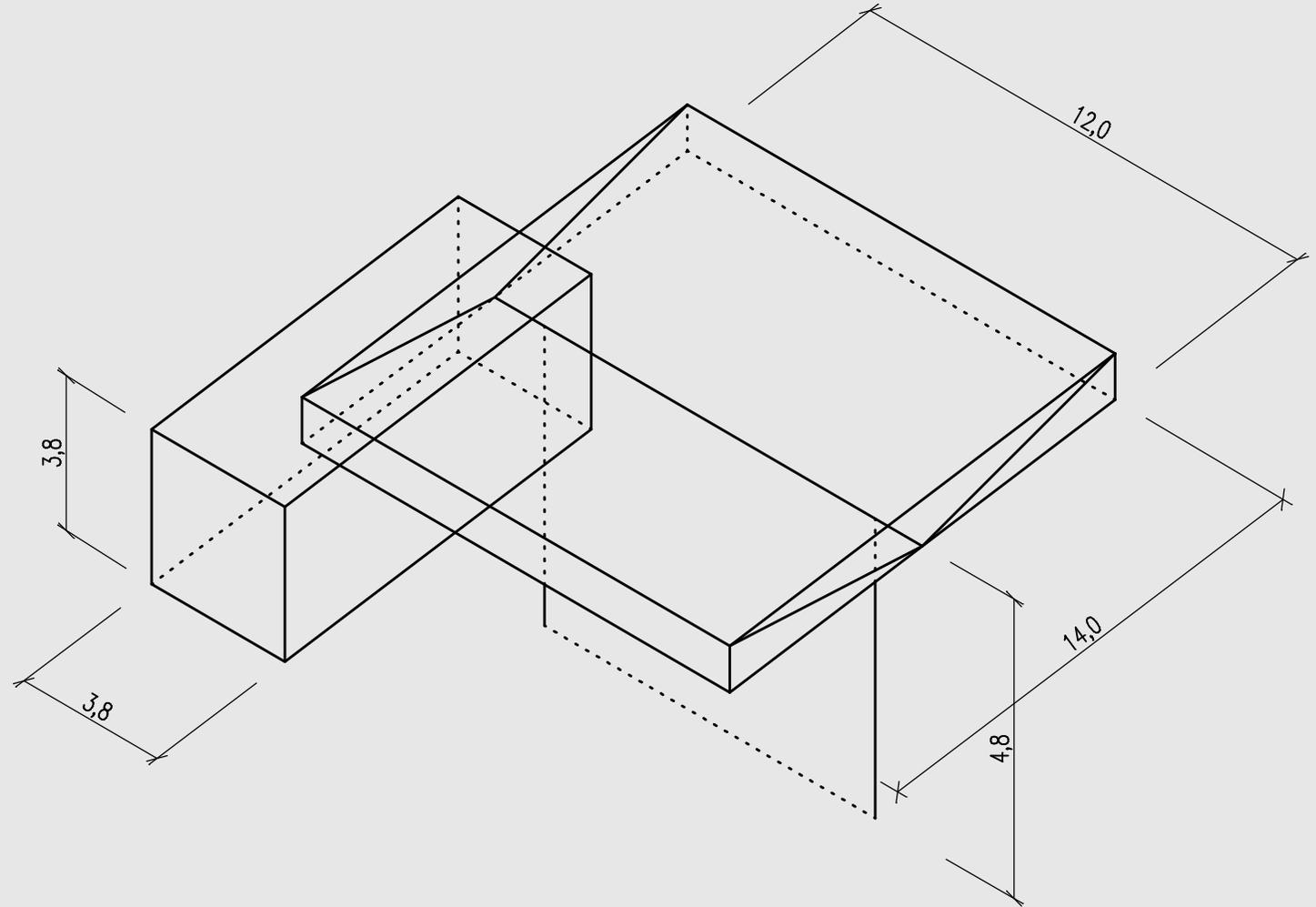
2 dominante Öffnung in Lee mit $A_{\text{dominant}} = 2 \cdot A_{\text{Restflächen}}$

$$\rightarrow c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe} = 0,75 \cdot (-0,37) = -0,28 \quad (7.2.9.(5))$$

Beispiel 3: Tankstellenüberdachung



Beispiel 3: Tankstellenüberdachung Systemabmessungen



Beispiel 3: Tankstellenüberdachung Basisdaten

| | | | | |
|---|-------------|------------|-------------------|--------------------|
| Tankstelle | | | | |
| Standort: | | Neuss | | |
| Windzone | | 2 | | |
| Referenzgeschwindigkeitsdruck: | $q_{ref} =$ | 0,39 | kN/m ² | DIN EN 1991-1-3/NA |
| Referenzwindgeschwindigkeit: | $v_{ref} =$ | 25 | m/s | Anhang NA.A |
| Bezugshöhe: | $z_e =$ | 5,4 | m | |
| Hinweis: Ermittlung des Böengeschwindigkeitsdruckes n. vereinfachtem Verfahren möglich (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2) | | | | |
| Profilart: | | Binnenland | | |
| Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN 1055, 10.2): | $q =$ | 0,65 | kN/m ² | |
| Höhenabhängiger Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN 1055, 10.3): | $q =$ | 0,59 | kN/m ² | |



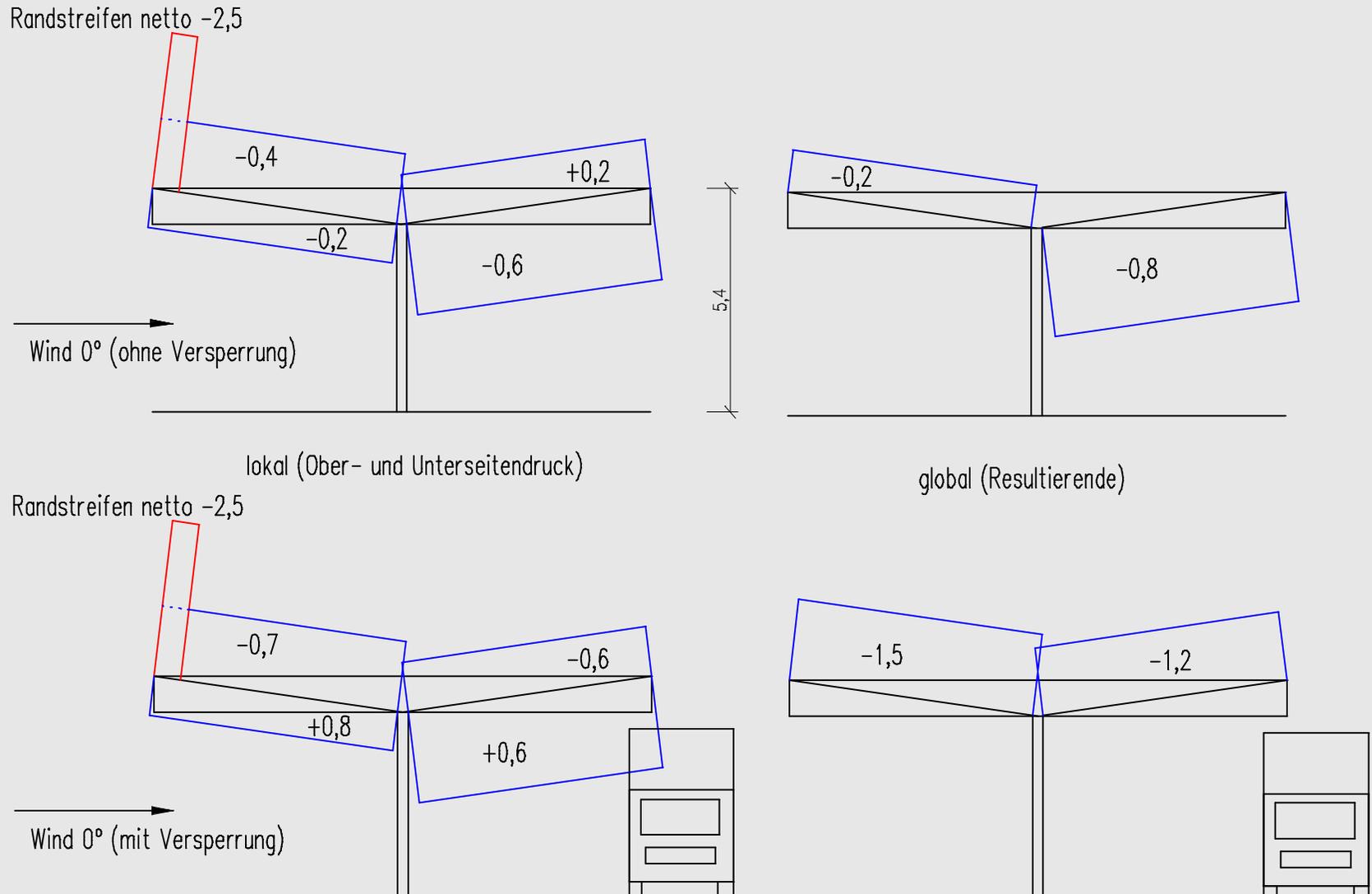
Beispiel 3: Tankstellenüberdachung Geometrie, Druckbeiwerte nach DIN 1055-4

| | | | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------|------------|----------------------|------------|
| Winddruck Dach: | (DIN 1055-4, 12.2) | | | | |
| Dachneigung: | | -5 | Grad | | |
| Anströmung | | 0 | Grad | | |
| Geometrie: | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 12,00 | m | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 14,00 | m | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 5,40 | m | | |
| | h/d = | 0,39 | | | |
| Druckbeiwerte: | (DIN 1055-4, Tabelle 8) | | | Resultierende | |
| | Versperrung | ohne | mit | ohne | mit |
| | Luv oben | -0,40 | -0,70 | | |
| | Luv | | | -0,20 | -1,50 |
| | Luv unten | -0,20 | 0,80 | | |
| | Lee oben | 0,20 | -0,60 | | |
| | Lee | | | 0,80 | -1,20 |
| | Lee unten | -0,60 | 0,60 | | |

! + Randstreifen mit 1 m Breite mit $c_{p,net} = -2,5$
für Nachweis der Dachhaut ansetzen (lokal)



Beispiel 3: Tankstellenüberdachung Druckverteilung gemäß DIN 1055-4, Tabelle 8

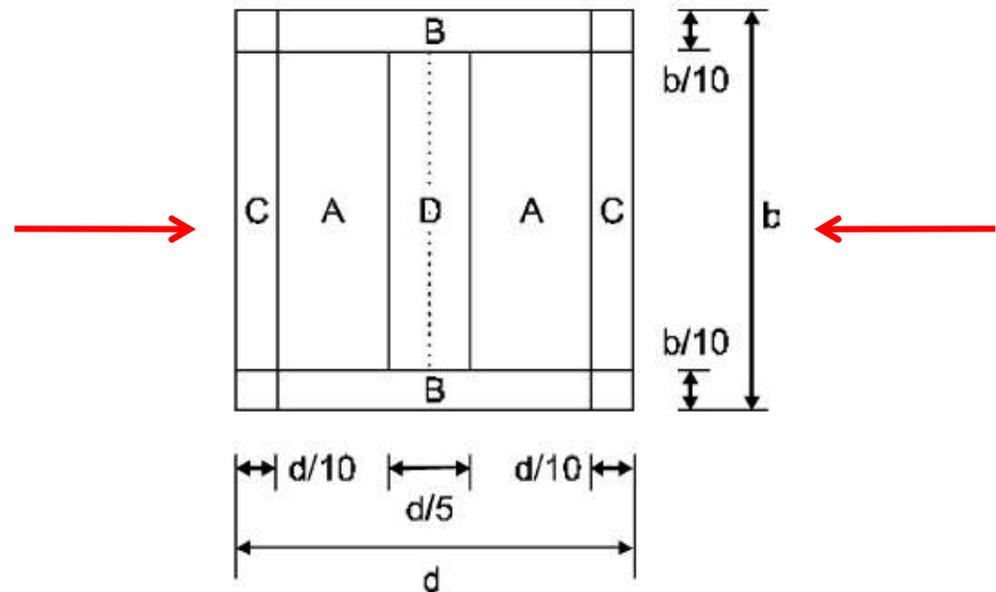


Beispiel 3: Tankstellenüberdachung

Zoneneinteilung nach DIN EN 1991-1-4, Tabelle 7.7

- DIN EN 1991-1-4 gibt direkt Nettodruckbeiwerte an
- Randzone ist automatisch über die Zonen B und C erfaßt
- Nettodruckbeiwerte nur für lokale Nachweise geeignet

Gesamtdruckbeiwerte $c_{p,net}$
Flächeneinteilung



| Neigungswinkel α [°] | Versperrungsgrad φ | Kraftbeiwert c_f | Bereich A | Bereich B | Bereich C | Bereich D |
|--------------------------------|----------------------------|--------------------|-----------|------------------------|-----------|-----------|
| | | | - 5 | Maximum alle φ | + 0,3 | + 0,5 |
| | Minimum $\varphi = 0$ | - 0,5 | - 0,7 | - 1,3 | - 1,6 | - 0,6 |
| | Minimum $\varphi = 1$ | - 1,3 | - 1,5 | - 2,4 | - 2,4 | - 0,6 |



Beispiel 3: Tankstellenüberdachung Geometrie, Druckbeiwerte nach DIN EN 1991-1-3

| | | | | | | |
|--|-------------------------------|-----------------|-----------------|--|--|--|
| Winddruck Dach: | (DIN EN 1991-1-4, 7.3) | | | | | |
| Dachneigung: | | -5 | Grad | | | |
| Anströmung | | 0 | Grad | | | |
| Geometrie: | | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 12,00 | m | | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 14,00 | m | | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 5,40 | m | | | |
| | h/d = | 0,39 | | | | |
| Einteilung der Dachfläche in 4 Zonen A, B, C und D: | | | | | | |
| Bezugsmaß | | | | | | |
| b | b/10 | 1,20 | m | | | |
| d | d/10 | 1,40 | m | | | |
| d | d/5 | 2,80 | m | | | |
| Druckbeiwerte: (DIN EN 1991-1-4, Tabelle 7.7) | | | | | | |
| Versperrung | ohne | mit | alle | | | |
| Bereich | $C_{p,net,min}$ | $C_{p,net,min}$ | $C_{p,net,max}$ | | | |
| A | -0,70 | -1,50 | 0,50 | | | |
| B | -1,30 | -2,40 | 1,50 | | | |
| C | -1,60 | -2,40 | 0,80 | | | |
| D | -0,60 | -0,60 | 0,80 | | | |



Beispiel 3: Tankstellenüberdachung Nettowinddrücke nach DIN EN 1991-1-4

Winddruck mit Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2):

| Nettodruck inkN/m ² | | | |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Versperrung | ohne | mit | alle |
| Bereich | $W_{net,min}$ | $W_{net,min}$ | $W_{net,max}$ |
| A | -0,46 | -0,98 | 0,33 |
| B | -0,85 | -1,56 | 0,98 |
| C | -1,04 | -1,56 | 0,52 |
| D | -0,39 | -0,39 | 0,52 |

Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3):

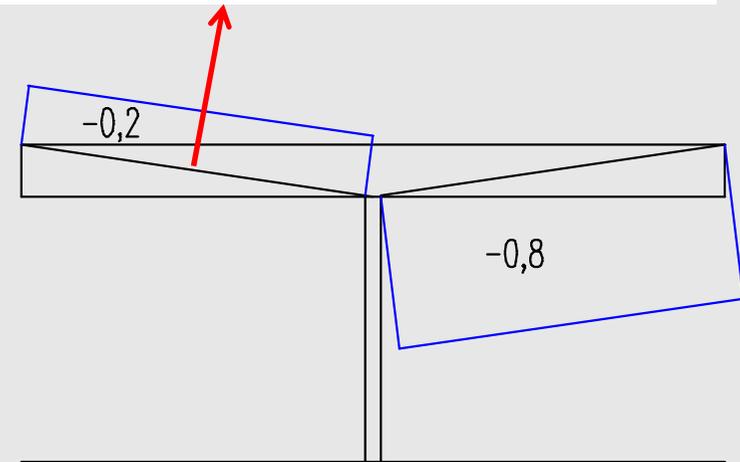
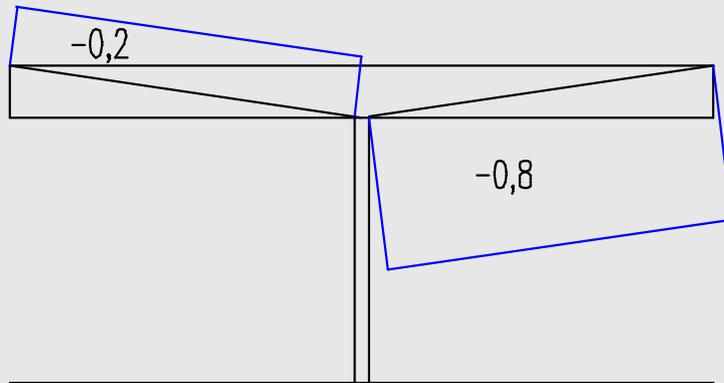
| Nettodruck inkN/m ² | | | |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Versperrung | ohne | mit | alle |
| Bereich | $W_{net,min}$ | $W_{net,min}$ | $W_{net,max}$ |
| A | -0,41 | -0,88 | 0,29 |
| B | -0,76 | -1,40 | 0,88 |
| C | -0,94 | -1,40 | 0,47 |
| D | -0,35 | -0,35 | 0,47 |

! Randstreifen mit 1 m Breite mit $c_{p,res} = -2,5$ für Nachweis der Dachhaut ansetzen (lokal)

(Lasten nicht geeignet für okale Nachweise bei mehrschaligem Dachaufbau)



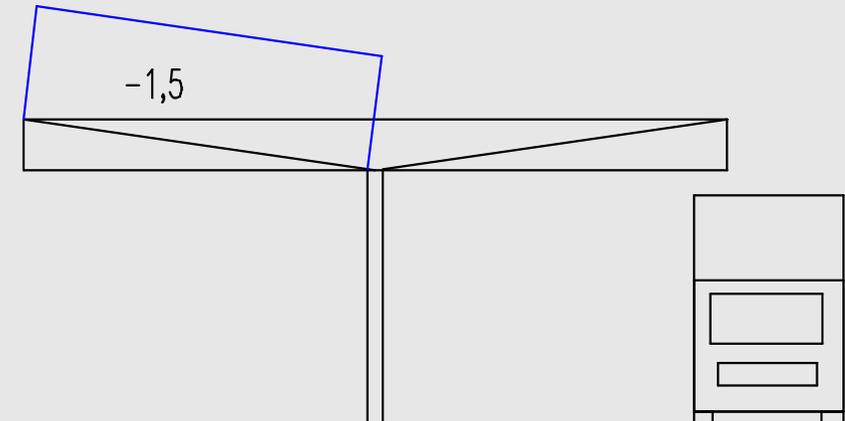
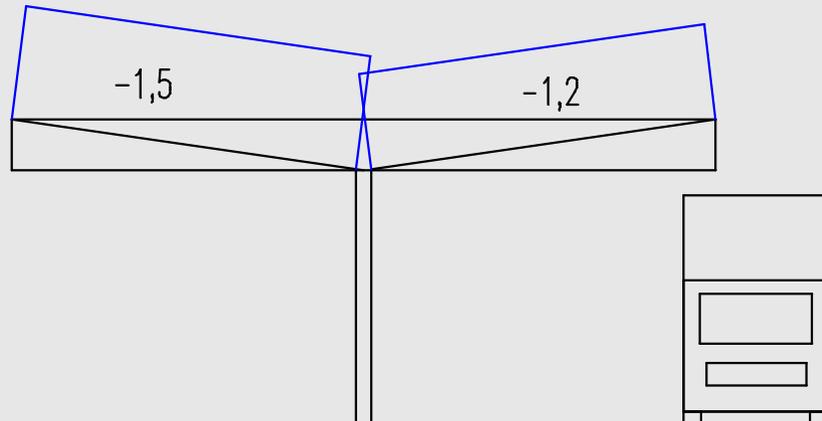
Beispiel 3: Tankstellenüberdachung, globale Lasten (größtes Moment in den Stützen) – günstig wirkende Anteile nach DIN 1055-4



global (Resultierende)

Global Lastfall "max. Moment"

DIN 1055-4, 8 (6) und (7): ...konservative Abschätzung: günstig wirkende Lastanteile zu null setzen...



Beispiel 3: Tankstellenüberdachung
globale Lasten - nach DIN EN 1991-1-4

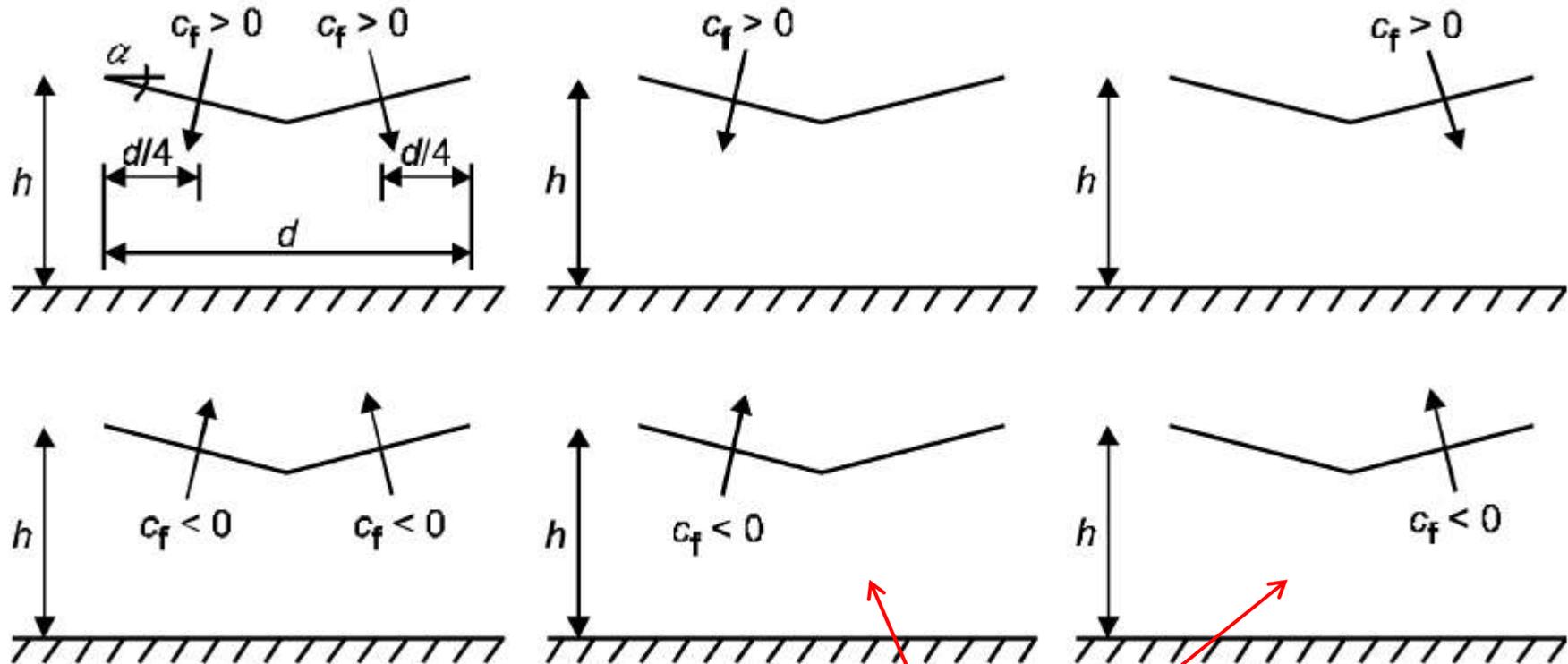


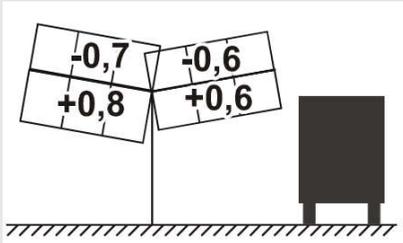
Bild 7.17 — Lastanordnungen bei Sattel- und Trogdächern

maßgebende Lastanordnungen für $c_f = -1,3$

Beispiel 3: Tankstellenüberdachung

Vergleich der maximalen Momente (vereinfachtes Verfahren)

DIN 1055-4

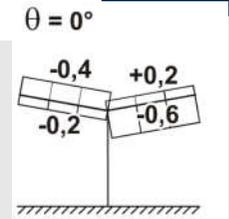


ohne Versperrung:

$$m_{\max} M = 12 \cdot \frac{14}{2} \cdot (-0,4 - 0,8) \cdot 0,65 \cdot \frac{14}{4} = 229,3 \text{ kNm}$$

mit Versperrung:

$$m_{\max} M = 12 \cdot \frac{14}{2} \cdot (-1,5 - 0) \cdot 0,65 \cdot \frac{14}{4} = 286,7 \text{ kNm}$$



DIN EN 1991-1-4

ohne Versperrung:

$$m_{\max} M = 12 \cdot \frac{14}{2} \cdot (-0,5) \cdot 0,65 \cdot \frac{14}{4} = 95,6 \text{ kNm}$$

mit Versperrung:

$$m_{\max} M = 12 \cdot \frac{14}{2} \cdot (-1,3) \cdot 0,65 \cdot \frac{14}{4} = 248,4 \text{ kNm}$$

Nach DIN 1055-4 sind Kombinationen mit wechselndem Vorzeichen der Kräfte in den beiden Dachflächen möglich, in DIN EN 1991-1-4 nicht!

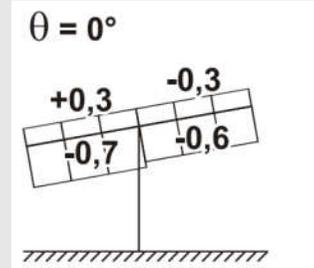
Bei freistehenden Pultdächern ist DIN EN 1991-1-4 ungünstiger als DIN 1055-4

Beispiel 3: Tankstellenüberdachung

Vergleich der maximalen Momente (vereinfachtes Verfahren)

Beispiel für Pultdach mit 5°

DIN 1055-4



ohne Versperrung:

$$m a x M = 12 \cdot \frac{14}{2} \cdot (1,0 + 0,3) \cdot 0,65 \cdot \frac{14}{4} = 248,4 \text{ kNm}$$

mit Versperrung:

$$m a x M = 12 \cdot \frac{14}{2} \cdot (1,5 + 0) \cdot 0,65 \cdot \frac{14}{4} = 286,7 \text{ kNm}$$

DIN EN 1991-1-4 mit $c_f = -0,7 (\varphi=0)$ $c_f = -1,4 (\varphi=1)$:

ohne Versperrung:

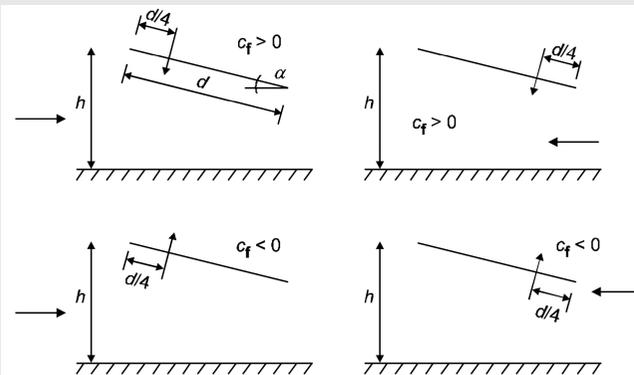
$$m a x M = 12 \cdot \frac{14}{1} \cdot (0,7) \cdot 0,65 \cdot \frac{14}{4} = 267,5 \text{ kNm}$$

214 kNm

mit Versperrung:

$$m a x M = 12 \cdot \frac{14}{1} \cdot (1,4) \cdot 0,65 \cdot \frac{14}{4} = 535,1 \text{ kNm}$$

! BS rechnet mit d/5
428 kNm



Bei freistehenden Pultdächern ist DIN EN 1991-1-4 ungünstiger als DIN 1055-4

Exkurs: Seitlich offene Gebäude DIN 1055-4, 12.1.9 Bild 11, DIN EN 1991-1-4

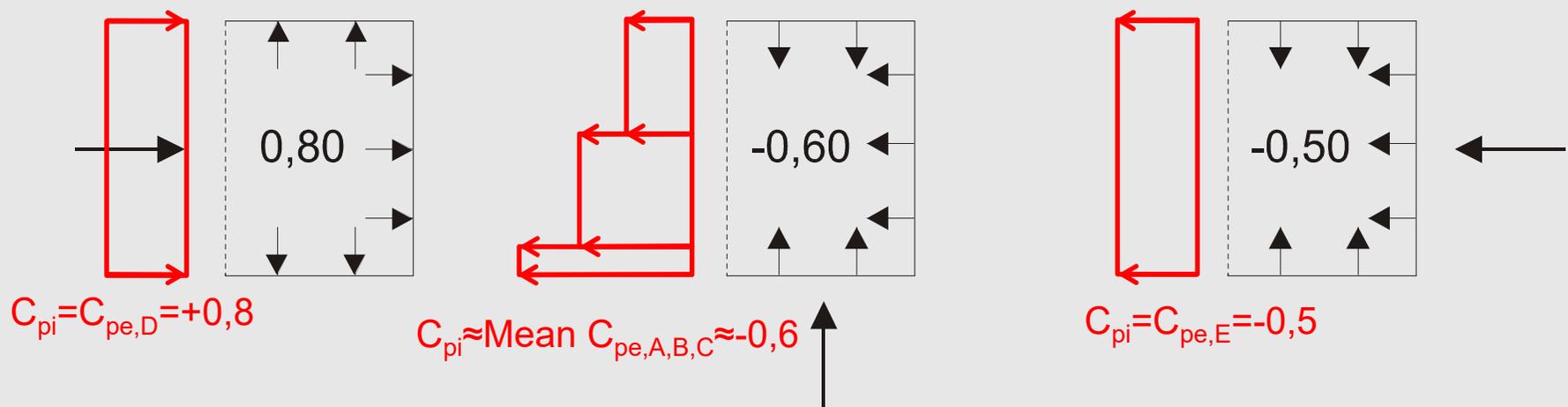
Problem 1 : Regeln für Innenwände von seitlich offenen Gebäuden gibt es nicht mehr

Problem 2: Bei Öffnungsanteil > 30% soll in DIN EN 1991-1-4 7.3 oder 7.4 verwendet werden. Das geht nur für das Dach, nicht aber für die Wände, da die Wände wegen des Daches und der anschließenden Wände **nicht** freistehend bzw. nicht frei über-/umströmbar sind!

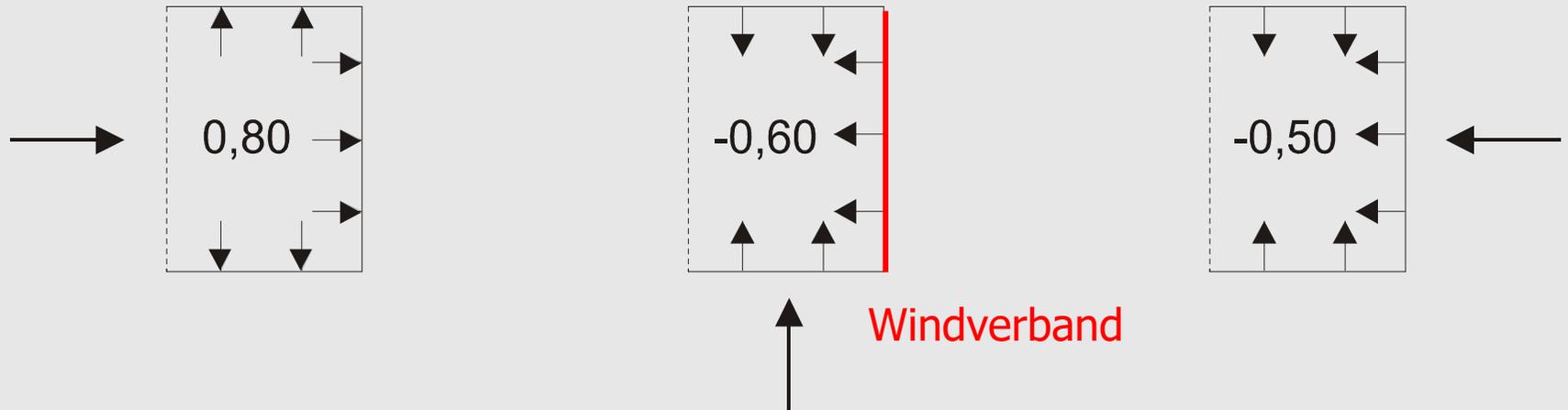
Empfehlung:

Die Lasten auf die Innenwände sollten in Anlehnung an die Lasten auf Wände von Gebäuden abgeleitet werden (siehe DIN EN 1991-1-4, Abschnitt 7.2.2)

Beispiel: DIN 1055-4, Bild 11 obere Reihe mit $h/d > 1$



Exkurs: Seitlich offene Gebäude DIN 1055-4, 12.1.9 Bild 11, DIN EN 1991-1-4



Bestimmung der Last zur Bemessung des Windverbandes in Windrichtung?

auf die Leeseite der luvseitigen Wand wirkt $c_{pe} = -0,5$

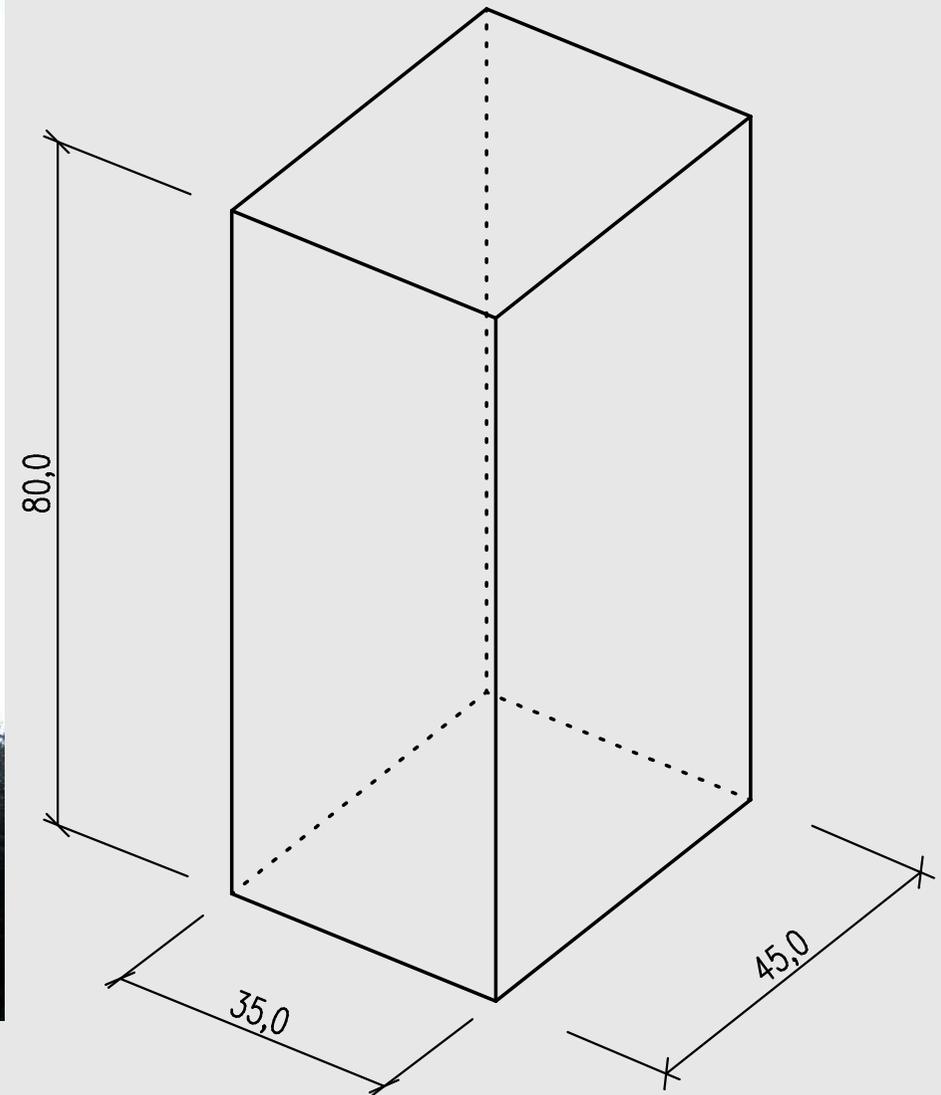
auf die Luvseite der luvseitigen Wand wirkt $c_{pe} = 0,8$

Wegen DIN 1055-4, 8 (6) und (7): „...eine in der Regel konservative Abschätzung besteht darin, die günstig wirkenden Lastenteile zu null zu setzen...“

Der resultierende Druckbeiwert ist dann $c_{pe, res} = 0,8 - (-0,5) - (-0,6) = 1,9$

Für DIN EN 1991-1-4 wird empfohlen genauso vorzugehen, obwohl diese Regel nicht allgemeingültig enthalten ist. Sie wird aber an einigen Stellen spezifisch empfohlen (z.B. bei Innendruck)

Beispiel 4: Hochhaus Systemabmessungen



Beispiel 4: Hochhaus Basisdaten

| | | | | |
|---|-------------|--------------|-------------------|--------------------|
| Hochhaus | | | | |
| Standort: | | Hagen | | |
| Windzone | | 1 | | |
| Referenzgeschwindigkeitsdruck: | $q_{ref} =$ | 0,32 | kN/m ² | DIN EN 1991-1-3/NA |
| Referenzwindgeschwindigkeit: | $v_{ref} =$ | 22,5 | m/s | Anhang NA.A |
| Bezugshöhe: | $z_e =$ | 80 | m | |
| Hinweis: Ermittlung des Böengeschwindigkeitsdruckes n. vereinfachtem Verfahren nicht möglich (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2) | | | | |
| Profilart: | | Kategorie II | | |
| Höhenabhängiger Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, Tabelle NA.B.2): | $q(z_e) =$ | 1,11 | kN/m ² | |



Beispiel 4: Hochhaus Geometrie 0° Druckbeiwerte

| | | | | | |
|--|------------------------------------|---|---|--------------|----------|
| Winddruck Wände: | | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.2) | | | |
| Anströmung | | 0 | Grad | | |
| Geometrie: | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 35,00 | m | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 45,00 | m | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 80,00 | m | | |
| | h/d = | 1,78 | | | |
| Einteilung der windparallelen Wände in 3 vertikale Streifen A, B und C: | | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.5) | | | Tiefe | |
| Bezugsmaß | e = | 35,00 | m | | |
| Zone A | e/5 = | 7,00 | m | 7,00 | m |
| Zone B | 4/5e = | 28,00 | m | 28,00 | m |
| Zone C | d-e = | 10,00 | m | 10,00 | m |
| Höhenabstufung: | | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.4) | | | | |
| | h/b | 2,29 | Höhenabstufung möglich (siehe unten) | | |
| Druckbeiwerte: | | (DIN EN 1991-1-4/NA, Tabelle NA.1) | | | |
| | Bereich | c_{pe,10} | c_{pe,1} | | |
| | A | -1,24 | -1,46 | | |
| | B | -0,80 | -1,10 | | |
| | C | -0,50 | -0,54 | | |
| | D | 0,80 | 1,00 | | |
| | E | -0,50 | -0,54 | | |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend!



Beispiel 4: Hochhaus Winddruck 0°

Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3):

| Höhenstreifen von U_k bis O_k in m | 0,00 | 35,00 | 35,00 | 45,00 | 45,00 | 80,00 |
|--|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Höhenabhängiger Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4, Tabelle NA.B.2) in kN/m^2 : | | 0,91 | | 0,96 | | 1,11 |
| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 |
| A | -1,13 | -1,33 | -1,20 | -1,41 | -1,37 | -1,62 |
| B | -0,73 | -1,00 | -0,77 | -1,06 | -0,89 | -1,22 |
| C | -0,45 | -0,49 | -0,48 | -0,52 | -0,55 | -0,60 |
| D | 0,73 | 0,91 | 0,77 | 0,96 | 0,89 | 1,11 |
| E | -0,45 | -0,49 | -0,48 | -0,52 | -0,55 | -0,60 |



Beispiel 4: Hochhaus Geometrie 90° Druckbeiwerte

| | | | | |
|--|---|---------------------------------|---|----------------|
| Winddruck Wände: | | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.2) | | |
| Anströmung | | 90 | Grad | |
| Geometrie: | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 45,00 | m | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 35,00 | m | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 80,00 | m | |
| | h/d = | 2,29 | | |
| Einteilung der windparallelen Wände in 3 vertikale Streifen A, B und C: | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.5) | | | Tiefe |
| Bezugsmaß | e = | 45,00 | m | |
| Zone A | e/5 = | 9,00 | m | 9,00 m |
| Zone B | 4/5e = | 36,00 | m | 26,00 m |
| Zone C | d-e = | -10,00 | m | 0,00 m |
| Höhenabstufung: | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.4) | | | |
| | h/b | 1,78 | Höhenabstufung möglich (siehe unten) | |
| Druckbeiwerte: | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4/NA, Tabelle NA.1) | | | |
| | Bereich | c_{pe,10} | c_{pe,1} | |
| | A | -1,26 | -1,50 | |
| | B | -0,80 | -1,10 | |
| | C | -0,50 | -0,56 | |
| | D | 0,80 | 1,00 | |
| | E | -0,50 | -0,56 | |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend.



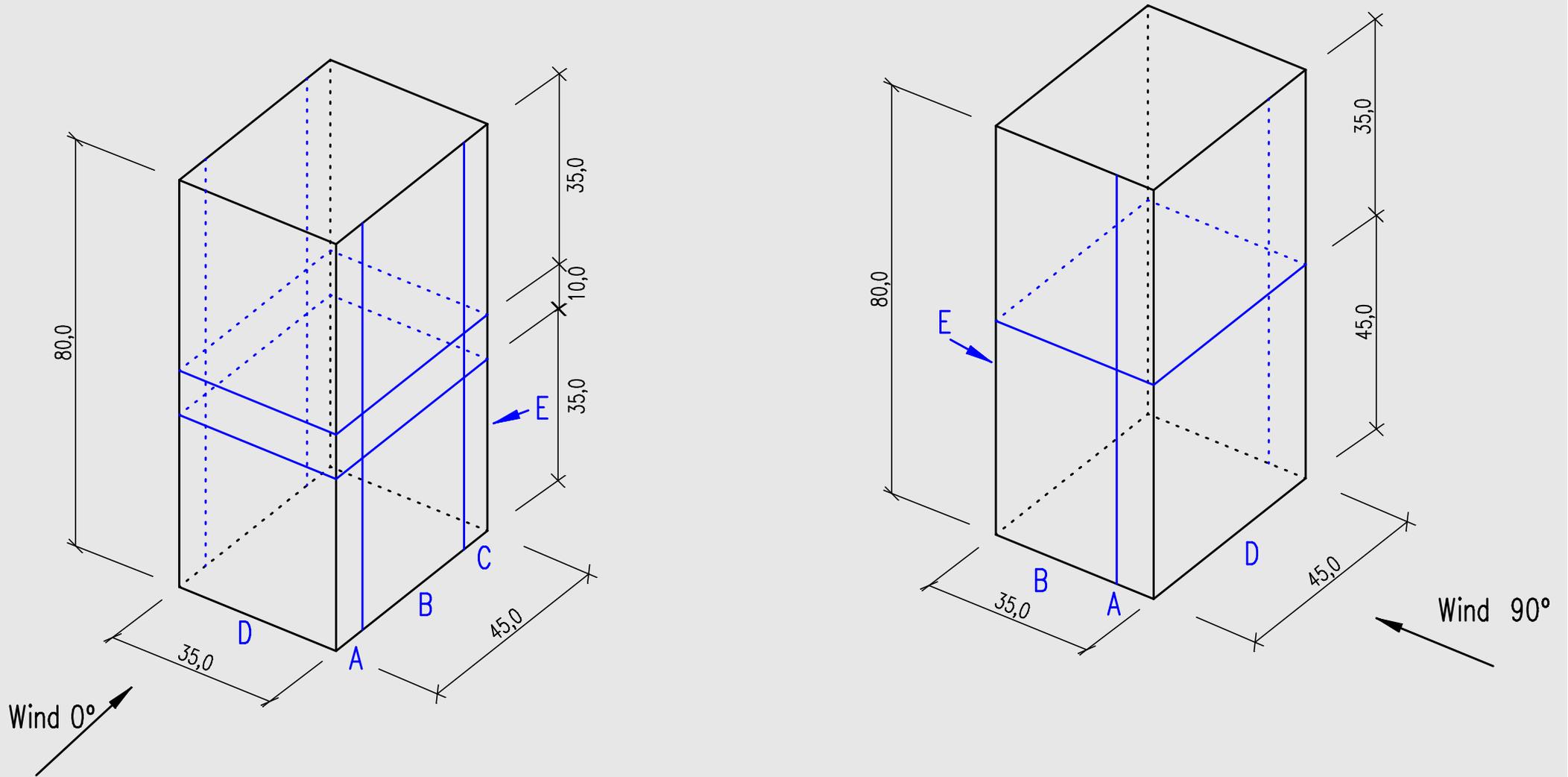
Beispiel 4: Hochhaus Winddruck 90°

Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3):

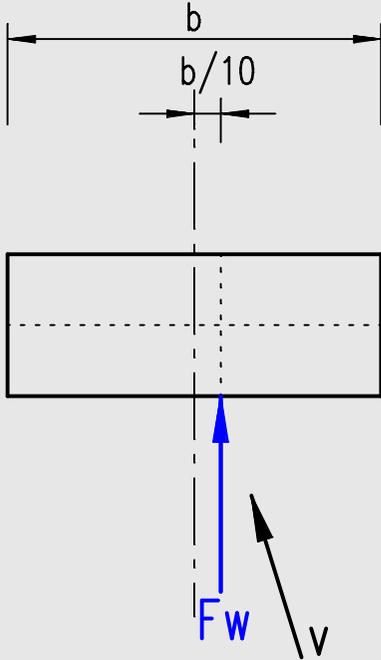
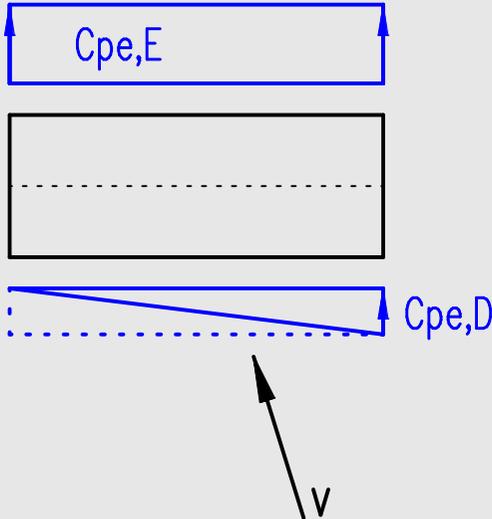
| Höhenstreifen von U_k bis O_k in m | 0,00 | 45,00 | 45,00 | 80,00 | | |
|---|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--|--|
| Höhenabhängiger Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4, Tabelle NA.B.2) in kN/m^2 : | | 0,96 | | 1,11 | | |
| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 | | |
| A | -1,21 | -1,45 | -1,39 | -1,66 | | |
| B | -0,77 | -1,06 | -0,89 | -1,22 | | |
| C | -0,48 | -0,54 | -0,55 | -0,62 | | |
| D | 0,77 | 0,96 | 0,89 | 1,11 | | |
| E | -0,48 | -0,54 | -0,55 | -0,62 | | |



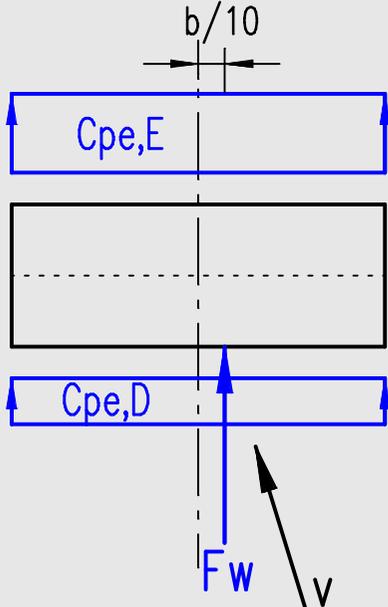
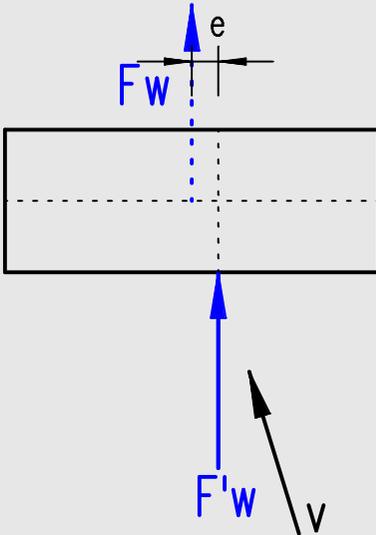
Beispiel 4: Hochhaus Zoneneinteilung



Beispiel 4: Hochhaus Torsionsbeanspruchung - Vergleich

| DIN 1055-4 | DIN EN 1991-1-4 |
|---|--|
| <p>Für die Gesamtwindkräfte ist eine Ausmitte von $e=b/10$ anzusetzen (DIN 1055-4, 9.1 (4)). Mit dieser Ausmitte wird ein Torsionsmoment berechnet, welches als Beanspruchung anzusetzen ist. Ziel ist es eine angemessene Torsionssteifigkeit der aussteifenden Kerne zu erreichen.</p> | <p>Gemäß DIN EN 1991-1-4, 7.1.2 ist das Torsionsmoment dadurch zu erzeugen, dass eine dreieckförmige Druckverteilung auf der Luvseite angesetzt wird (durchgezogenen Druckverteilung im nachfolgenden Bild).</p> |
|  |  |

Beispiel 4: Hochhaus Torsionsbeanspruchung - Vergleich

| DIN 1055-4 | DIN EN 1991-1-4 |
|--|---|
| <p>Dieses Torsionsmoment ist auch für den Fall zu ermitteln, dass nur mit Drücken gearbeitet wird! Alternativ können die Kräfte auch direkt durch Verwendung von Kraftbeiwerten ermittelt werden. Die anzusetzenden Kräfte sind dann:</p> $\max \text{Kraft} = F_w = q \cdot b \cdot (c_{pe,D} - c_{pe,E})$ $\max \text{Moment} = e \cdot F'_w = \frac{b}{10} \cdot q \cdot b \cdot (c_{pe,D} - c_{pe,E})$ | <p>Zusätzlich muß der Lastfall „volle Windkraft“ ohne Torsion untersucht werden (NA, NDP zu 7.1.2(2), im vorhergehenden Bild gestrichelt). Die anzusetzenden Kräfte sind dann wie folgt anzusetzen:</p> $\max \text{Kraft} = F_w = q \cdot b \cdot (c_{pe,D} - c_{pe,E})$ $\max \text{Moment} = e \cdot F'_w = \frac{b}{6} \cdot q \cdot b \cdot c_{pe,D} \cdot \frac{1}{2}$ <p>→ für $c_{pe,D}=0,8$ und $c_{pe,E}=-0,5$ ist das EN Moment ca. 50% kleiner als in DIN 1055-4</p> |
|  |  |

Beispiel 5: Reihenhauses bzw. Riegelbebauung



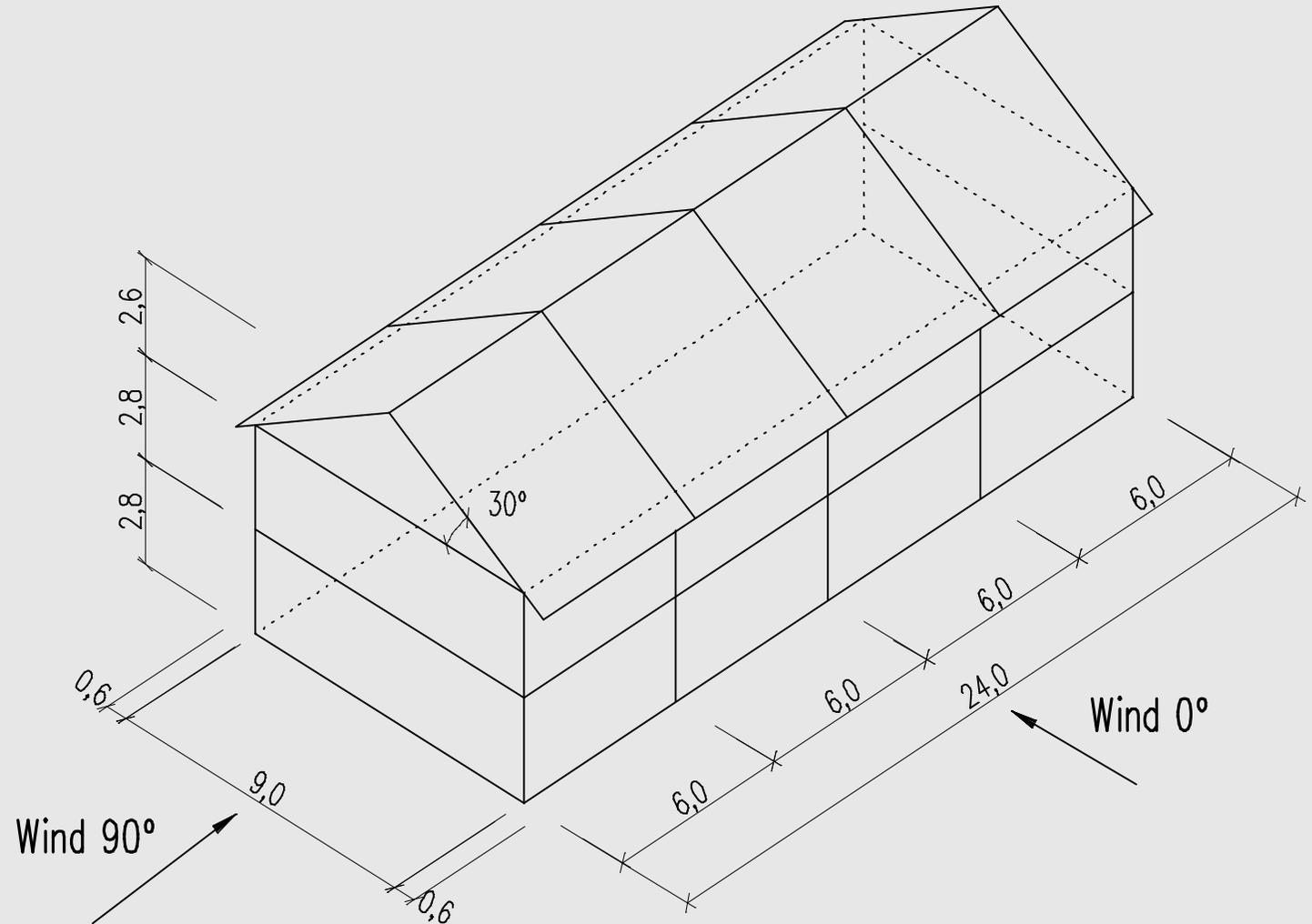
Beispiel 5: Riegelbebauung



Beispiel 5: Reihenhäuser



Beispiel 5: Reihenhäuser Systemabmessungen



Beispiel 5: Reihenhäuser Basisdaten

| | | | | |
|---|-------------|------------|-------------------|--------------------|
| Reihenhäuser | | | | |
| Standort: | | Freiburg | | |
| Windzone | | 1 | | |
| Referenzgeschwindigkeitsdruck: | $q_{ref} =$ | 0,32 | kN/m ² | DIN EN 1991-1-3/NA |
| Referenzwindgeschwindigkeit: | $v_{ref} =$ | 22,5 | m/s | Anhang NA.A |
| Bezugshöhe: | $z_e =$ | 8,2 | m | |
| Hinweis: Ermittlung des Böengeschwindigkeitsdruckes n. vereinfachtem Verfahren möglich (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2) | | | | |
| Profilart: | | Binnenland | | |
| Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2): | $q =$ | 0,50 | kN/m ² | |
| Höhenabhängiger Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3): | $q =$ | 0,51 | kN/m ² | |



Beispiel 5: Reihenhäuser Geometrie 0°, Dach, Druckbeiwerte

| | | | | | |
|---|----------------|---------------------------------|--|------------------------------|-------------------------|
| Winddruck Dach: | | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.5) | | | |
| Dachneigung: | | 30 | Grad | | |
| Anströmung | | 0 | Grad | | |
| Geometrie: | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 24,00 | m | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 10,20 | m | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 8,20 | m | | |
| | h/d = | 0,80 | | | |
| Einteilung der Dachfläche in 5 Zonen F, G, H, I und J: | | | | | |
| (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.8) | | | | | |
| | | Tiefe | | Breite | |
| Bezugsmaß | e = | 16,40 | m | | |
| Zone F | e/10= | 1,64 | m | e/4= | 4,10 m |
| Zone G | e/10= | 1,64 | m | b-e/2= | 15,80 m |
| Zone H | d/2-e/10 | 3,46 | m | b = | 24,00 m |
| Zone I | d/2-e/10 | 3,46 | m | b = | 24,00 m |
| Zone J | e/10= | 1,64 | m | b = | 24,00 m |
| Höhenabstufung: | | | | | |
| (DIN EN 1911-1-4, Bild 7.4) | | | | | |
| | h/b | 0,34 | keine Höhenabstufung | | |
| Druckbeiwerte: | | | (DIN EN 1991-1-4, Tabelle 7.4a) | | |
| | Bereich | c_{pe,10} | c_{pe,1} | DIN 1055-4, Tabelle 6 | |
| | F | -0,50 | -1,50 | c_{pe,10} | c_{pe,1} |
| | F | 0,70 | 0,70 | -0,50 | -1,50 |
| | G | -0,50 | -1,50 | 0,70 | 0,70 |
| | G | 0,70 | 0,70 | -0,50 | -1,50 |
| | H | -0,20 | -0,20 | 0,70 | 0,70 |
| | H | 0,40 | 0,40 | -0,20 | -0,20 |
| | I | -0,40 | -0,40 | 0,40 | 0,40 |
| | I | 0,00 | 0,00 | -0,40 | -0,40 |
| | J | -0,50 | -0,50 | | |
| | J | 0,00 | 0,00 | -0,50 | -0,50 |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend

==> mehrere Lastfälle untersuchen



Beispiel 5: Reihenhäuser Winddruck, Dach, 0°

Winddruck mit Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 |
|---------|-------------------------------|------------------------------|
| F | -0,25 | -0,75 |
| F | 0,35 | 0,35 |
| G | -0,25 | -0,75 |
| G | 0,35 | 0,35 |
| H | -0,10 | -0,10 |
| H | 0,20 | 0,20 |
| I | -0,20 | -0,20 |
| I | 0,00 | 0,00 |
| J | -0,25 | -0,25 |
| J | 0,00 | 0,00 |

für globale Nachweise:
theoretisch 4 Kombinationen untersuchen

| Winddruck $w_{e,10}$ in kN/m^2 in Zonen | | | | |
|--|-------|-------|--------|--------|
| Komb. | F(G) | H | I | J |
| 1 | 0,35 | 0,20 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,35 | 0,20 | -0,200 | -0,250 |
| 3 | -0,25 | -0,10 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | -0,25 | -0,10 | -0,200 | -0,250 |

Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 |
|---------|-------------------------------|------------------------------|
| F | -0,25 | -0,76 |
| F | 0,35 | 0,35 |
| G | -0,25 | -0,76 |
| G | 0,35 | 0,35 |
| H | -0,10 | -0,10 |
| H | 0,20 | 0,20 |
| I | -0,20 | -0,20 |
| I | 0,00 | 0,00 |
| J | -0,25 | -0,25 |
| J | 0,00 | 0,00 |

für globale Nachweise:
theoretisch 4 Kombinationen untersuchen

| Winddruck $w_{e,10}$ in kN/m^2 in Zonen | | | | |
|--|-------|-------|--------|--------|
| Komb. | F(G) | H | I | J |
| 1 | 0,35 | 0,20 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,35 | 0,20 | -0,202 | -0,253 |
| 3 | -0,25 | -0,10 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | -0,25 | -0,10 | -0,202 | -0,253 |



Beispiel 5: Reihenhäuser Geometrie 0°, Wände, Druckbeiwerte

| | | | | |
|--|---|-------------------------------|------------------------------|---------------|
| Winddruck Wände: | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.2) | | | |
| Anströmung | | 0 | Grad | |
| Geometrie: | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 24,00 | m | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 9,00 | m | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 8,20 | m | |
| | h/d = | 0,91 | | |
| Einteilung der windparallelen Wände in 3 vertikale Streifen A, B und C: | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.5) | | | Tiefe |
| Bezugsmaß | e = | 16,40 | m | |
| Zone A | e/5 = | 3,28 | m | 3,28 m |
| Zone B | 4/5e = | 13,12 | m | 5,72 m |
| Zone C | d-e = | -7,40 | m | 0,00 m |
| Höhenabstufung: | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.4) | | | |
| | h/b | 0,34 | keine Höhenabstufung | |
| Druckbeiwerte: | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4/NA, Tabelle NA.1) | | | |
| | Bereich | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | |
| | A | -1,20 | -1,40 | |
| | B | -0,80 | -1,10 | |
| | C | -0,50 | -0,50 | |
| | D | 0,79 | 1,00 | |
| | E | -0,48 | -0,50 | |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend



Beispiel 5: Reihenhäuser Winddruck, Wände, 0°

| Winddruck mit Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2): | | | |
|--|-------------------------------|------------------------------|--|
| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 | |
| A | -0,60 | -0,70 | |
| | | | |
| B | -0,40 | -0,55 | |
| | | | |
| C | -0,25 | -0,25 | |
| | | | |
| D | 0,40 | 0,50 | |
| | | | |
| E | -0,24 | -0,25 | |
| | | | |
| Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3): | | | |
| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 | |
| A | -0,61 | -0,71 | |
| | | | |
| B | -0,40 | -0,56 | |
| | | | |
| C | -0,25 | -0,25 | |
| | | | |
| D | 0,40 | 0,51 | |
| | | | |
| E | -0,24 | -0,25 | |
| | | | |



Beispiel 5: Reihenhäuser Geometrie 90°, Dach, Druckbeiwerte

| | | | | | |
|---|------------------------------------|-------------------------|----------------------|--------|----------------|
| Winddruck Dach: | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.5) | | | | |
| Dachneigung: | | 30 | Grad | | |
| Anströmung | | 90 | Grad | | |
| Geometrie: | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 10,20 | m | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 24,00 | m | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 8,20 | m | | |
| | h/d = | 0,34 | | | |
| Einteilung der Dachfläche in 5 Zonen F, G, H, I und J: | | | | | |
| (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.8) | | Tiefe | | Breite | |
| Bezugsmaß | e = | 10,20 | m | | |
| Zone F | e/10= | 1,02 | m | e/4= | 2,55 m |
| Zone G | e/10= | 1,02 | m | b-e/2= | 5,10 m |
| Zone H | e/2-e/10= | 4,08 | m | b = | 10,20 m |
| Zone I | d-e/2= | 18,90 | m | b = | 10,20 m |
| Zone J | | 0,00 | m | | 0,00 m |
| Höhenabstufung: | | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.4) | | | | |
| | h/b | 0,80 | keine Höhenabstufung | | |
| Druckbeiwerte: (DIN EN 1991-1-4, Tabelle 7.4b) | | | | | |
| Bereich | c_{pe,10} | c_{pe,1} | | | |
| F | -1,10 | -1,50 | | | |
| G | -1,40 | -2,00 | | | |
| H | -0,80 | -1,20 | | | |
| I | -0,50 | -0,50 | | | |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend.



Beispiel 5: Reihenhäuser Winddruck, Dach, 90°

Winddruck mit Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m ² | $w_{e,1}$ in kN/m ² |
|---------|------------------------------------|-----------------------------------|
| F | -0,55 | -0,75 |
| G | -0,70 | -1,00 |
| H | -0,40 | -0,60 |
| I | -0,25 | -0,25 |

Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3):

| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m ² | $w_{e,1}$ in kN/m ² |
|---------|------------------------------------|-----------------------------------|
| F | -0,56 | -0,76 |
| G | -0,71 | -1,01 |
| H | -0,40 | -0,61 |
| I | -0,25 | -0,25 |



Beispiel 5: Reihenhäuser Geometrie 90°, Wände, Druckbeiwerte

| | | | | | |
|--|---|--------------------------|-------------------------|--------------|----------|
| Winddruck Wände: | (DIN EN 1991-1-4, 7.2.2) | | | | |
| Anströmung | | 90 | Grad | | |
| Geometrie: | | | | | |
| Abmessung quer zum Wind | b = | 9,00 | m | | |
| Länge der windparallelen Wände | d = | 24,00 | m | | |
| Höhe des Bauwerks | h = | 8,20 | m | | |
| | h/d = | 0,34 | | | |
| Einteilung der windparallelen Wände in 3 vertikale Streifen A, B und C: | | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4, Bild 7.5) | | | Tiefe | |
| Bezugsmaß | e = | 9,00 | m | | |
| Zone A | e/5 = | 1,80 | m | 1,80 | m |
| Zone B | 4/5e = | 7,20 | m | 7,20 | m |
| Zone C | d-e = | 15,00 | m | 15,00 | m |
| Höhenabstufung: | | | | | |
| | (DIN EN 1911-1-4, Bild 7.4) | | | | |
| | h/b | 0,91 | keine Höhenabstufung | | |
| Druckbeiwerte: | | | | | |
| | (DIN EN 1991-1-4/NA, Tabelle NA.1) | | | | |
| | Bereich | c_{pe,10} | c_{pe,1} | | |
| | A | -1,20 | -1,40 | | |
| | B | -0,80 | -1,10 | | |
| | C | -0,50 | -0,50 | | |
| | D | 0,71 | 1,00 | | |
| | E | -0,32 | -0,50 | | |

e = b oder
e = 2 h,
der kleinere Wert ist maßgebend



Beispiel 5: Reihenhäuser Winddruck, Wände, 90°

Winddruck mit Böengeschwindigkeitsdruck nach vereinfachtem Verfahren (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.2):

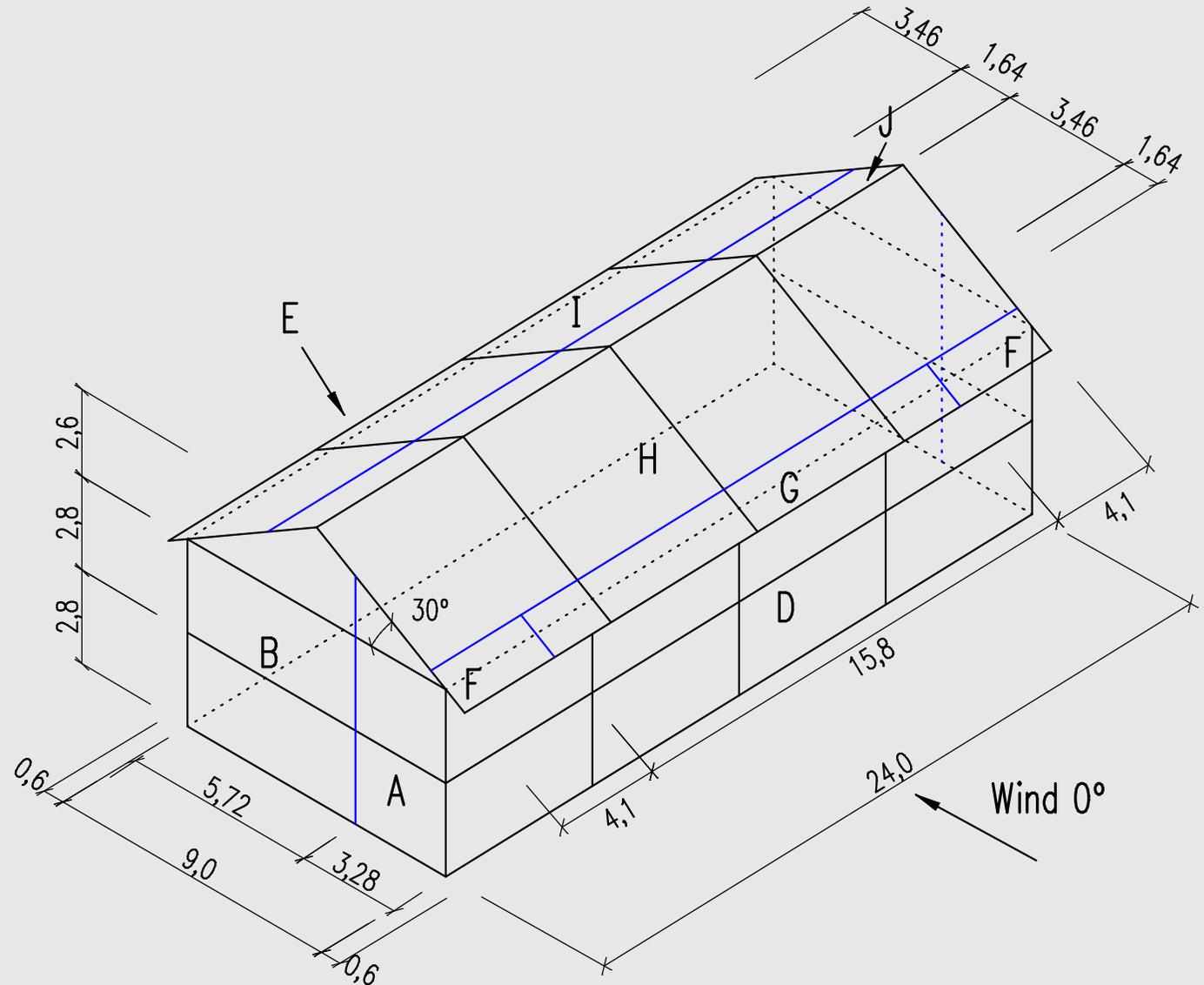
| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 |
|---------|-------------------------------|------------------------------|
| A | -0,60 | -0,70 |
| B | -0,40 | -0,55 |
| C | -0,25 | -0,25 |
| D | 0,36 | 0,50 |
| E | -0,16 | -0,25 |

Winddruck mit höhenabhängigem Böengeschwindigkeitsdruck im Regelfall (DIN EN 1991-1-4/NA, NA.B.3.3):

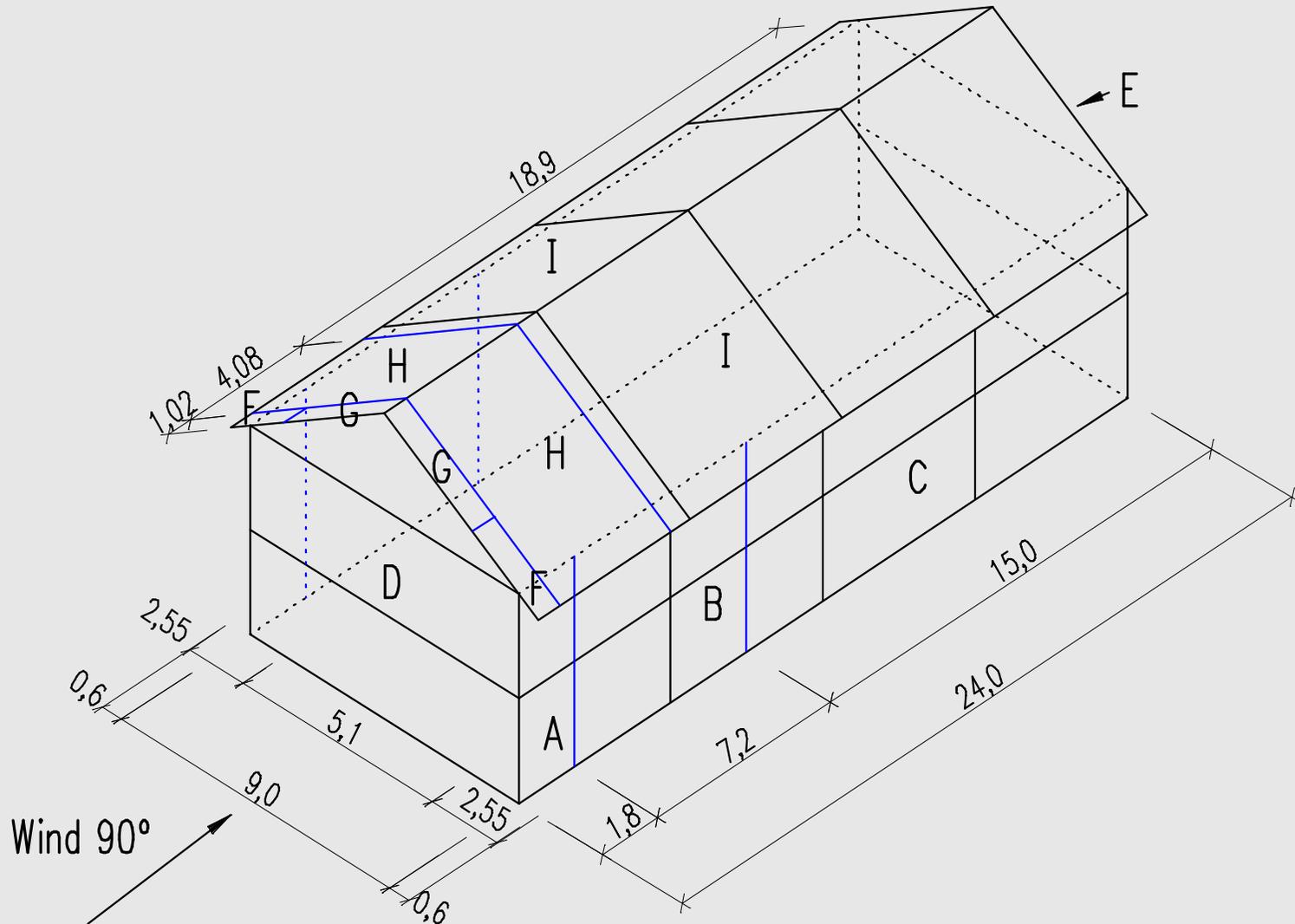
| Bereich | $w_{e,10}$ in kN/m^2 | $w_{e,1}$ in kN/m^2 |
|---------|-------------------------------|------------------------------|
| A | -0,61 | -0,71 |
| B | -0,40 | -0,56 |
| C | -0,25 | -0,25 |
| D | 0,36 | 0,51 |
| E | -0,16 | -0,25 |



Beispiel 5: Reihenhäuser Zoneneinteilung graphisch 0°



Beispiel 5: Reihenhäuser Zoneneinteilung graphisch 90°



Beispiel 5: Reihenhäuser Einzelhäuser auch freistehend nachweisen

- Die Einzelhäuser (insbesondere Reihenmittelhäuser) müssen auch wenn sie alleine stehen standsicher sein
- Bei Anströmung 0° ändern sich die Druckbeiwerte nicht – die Zonen werden allerdings kleiner
 - ➔ maßgebend für diese Richtung bleiben die Windlasten für die Gesamtanordnung
- Bei Anströmung 90° erhalten auch die Giebelwände Windlasten, die im Endzustand abgeschattet sind. Die Wände sind auf Druck (Zone D) bzw. Sog (Zone E) nachzuweisen. Die Soglasten in Zone E werden größer.
- Die Aussteifung in Windrichtung für den Fall 90° braucht nur für Sog oder Druck alleine nachgewiesen werden. Der Fall Druck und Sog gemeinsam darf als außergewöhnliche Einwirkung angesetzt werden (siehe Technische Baubestimmungen).

Beispiel 6: Unterseitendruck



Beispiel 6: Unterseitendruck

Empfehlung:

- Die Unterseite wie ein Flachdach behandeln
- Bezugshöhe gleich Oberkante Dach ansetzen
damit werden Beschleunigungseffekte am Boden näherungsweise berücksichtigt
- ! Sogkräfte wirken nach unten !



Beispiel 7: Solaranlagen

Deutsches Institut für Bautechnik - Juli 2012

Hinweise für die Herstellung, Planung und Ausführung von Solaranlagen

Definitionen:

- Solaranlagen: Solarstromanlagen (Photovoltaikanlagen)
Solarwärmeanlagen (Solarthermieanlagen)
- Komponenten: PV-Modul (photovoltaisches Modul)
Solarkollektor (bei Solarwärmeanlagen)
Montagesystem (Modulträger)
Befestigungsmittel

Solaranlagen egal welcher Bauart fallen in den Geltungsbereich der Landesbauordnungen!



Beispiel 7: Solaranlagen

Bauteile und wichtige Vorgaben für Nachweise:

PV-Module

kein Verwendbarkeitsnachweis erforderlich wenn:

Fläche eines Einzelmoduls kleiner $2,0 \text{ m}^2$ und Dachneigung $<75^\circ$
oder integrierte Module (in Dachfolie)

Modul gilt als Fassadenelemente gemäß Liste C lfd. Nr. 2.1
für alle anderen wird i.d.R. eine ABZ benötigt

Solarkollektoren

kein Verwendbarkeitsnachweis erforderlich wenn:

Fläche eines Einzelmoduls kleiner $3,0 \text{ m}^2$ und Dachneigung $<75^\circ$

Modul gilt als Fassadenelemente gemäß Liste C lfd. Nr. 2.1
für alle anderen wird i.d.R. eine ABZ benötigt

Montagesysteme

Nachweis der Standsicherheit gemäß den Regeln der Technischen
Baubestimmungen

ABZ erforderlich bei : Nachweis der Tragfähigkeit durch Versuch, bei
Verwendung von Kunststoffen, bei Verwendung von Klebeverbindungen



Beispiel 7: Solaranlagen

Bauteile und wichtige Vorgaben für Nachweise:

Befestigungsmittel

kein Verwendbarkeitsnachweis erforderlich wenn: Befestigungselemente Bauregelliste B Teil 1 entsprechen und CE Kennzeichnung tragen

Für alle anderen wird i.d.R. eine ABZ benötigt

Das gilt auch für adhäsive Verbindungen; hierbei ist nachzuweisen, dass Schub- und Zugkräfte durch alle Schichten bis in die tragende Konstruktion weitergeleitet werden.

Anmerkung: Auf den Nachweis für die Einleitung der Schubkräfte über Reibung wird nicht explizit eingegangen. Die Anforderungen für adhäsive Verbindungen gelten hier sinngemäß. Eine ABZ wird für diesen Fall nicht explizit gefordert.

Standortsicherheitsnachweise

Es gelten die technischen Regeln der Liste der Technischen Baubestimmungen, insbesondere für Wind- und Schneelasten (DIN EN 1991-1-4 und DIN EN 1991-1-3)

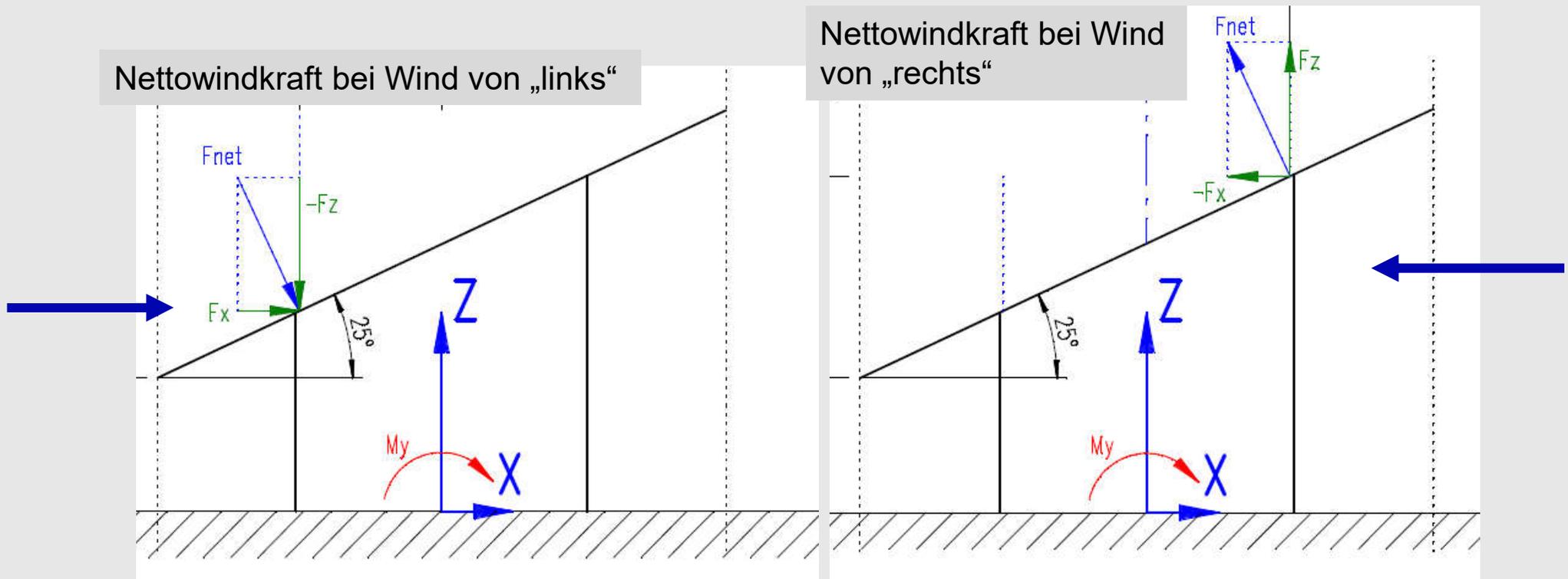
DIN EN 1990 ist anzuwenden, das heißt Nachweise müssen mit Teilsicherheitsbeiwerten erfolgen!



Beispiel 8: Photovoltaikanlagen

Annahmen für Freifeldanlagen

Systeme und Beanspruchungen (schematisch)



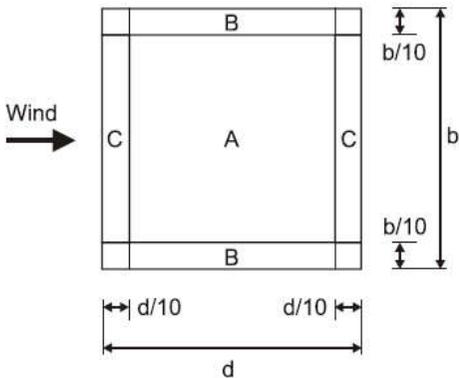
Die Windbeanspruchung darf gemäß Empfehlung DIBT wie für freistehende Pultdächer gemäß DIN EN 1991-1-4, Abschnitt 7.3 abgeschätzt werden

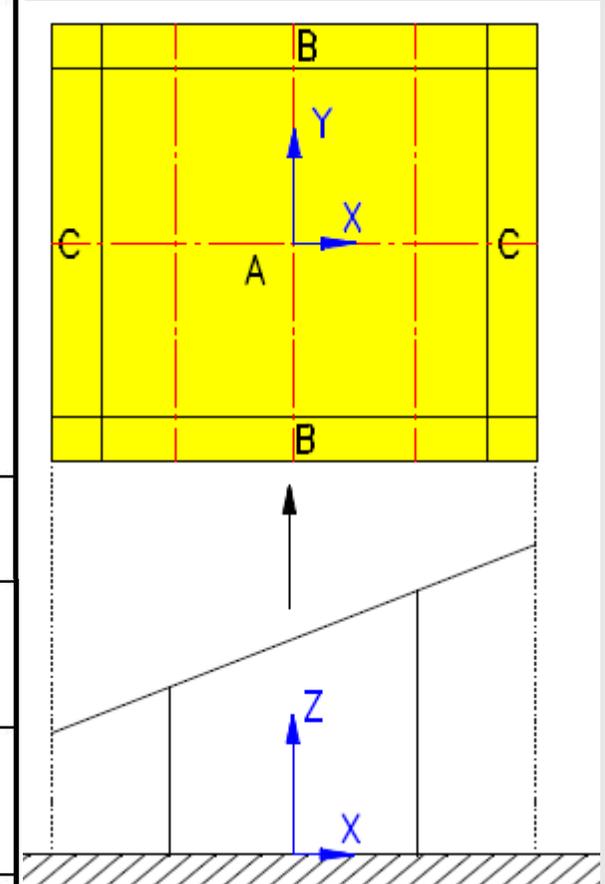
Beispiel 8: Photovoltaikanlagen

Annahmen für Freifeldanlagen

Beiwerte aus Norm

Entnommen aus: DIN EN 1991-1-4, Abschnitt 7.3

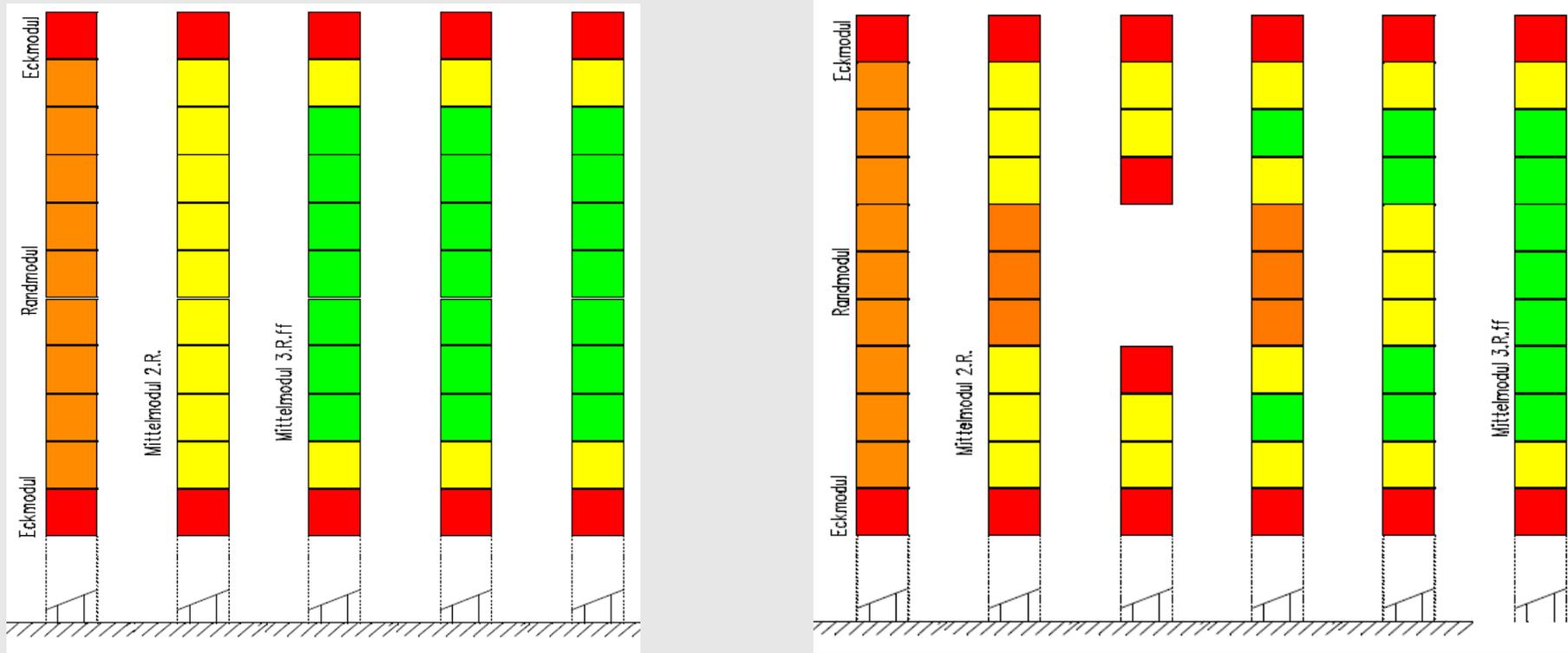
| | | | Gesamtdruckbeiwerte $c_{p,net}$ Flächeneinteilung | | |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------|---|-----------|-----------|
| | | |  | | |
| Neigungs- winkel α | Versperrungs- grad φ | Kraftbeiwert c_f | Bereich A | Bereich B | Bereich C |
| 15° | Maximum alle φ | + 0,7 | + 1,4 | + 2,7 | + 1,8 |
| | Minimum $\varphi = 0$ | - 1,1 | - 1,8 | - 2,4 | - 2,5 |
| | Minimum $\varphi = 1$ | - 1,4 | - 1,6 | - 2,9 | - 3,0 |
| 20° | Maximum alle φ | + 0,8 | + 1,7 | + 2,9 | + 2,1 |
| | Minimum $\varphi = 0$ | - 1,3 | - 2,2 | - 2,8 | - 2,9 |
| | Minimum $\varphi = 1$ | - 1,4 | - 1,6 | - 2,9 | - 3,0 |
| 25° | Maximum alle φ | + 1,0 | + 2,0 | + 3,1 | + 2,3 |
| | Minimum $\varphi = 0$ | - 1,6 | - 2,6 | - 3,2 | - 3,2 |
| | Minimum $\varphi = 1$ | - 1,4 | - 1,5 | - 2,5 | - 2,8 |



Beispiel 8: Photovoltaikanlagen

Annahmen für Freifeldanlagen

Modultypen innerhalb einer Gesamtanlage (schematisch)



Abhängig von der Position in der Gesamtanlage kann es die Zone B nicht mehr geben.

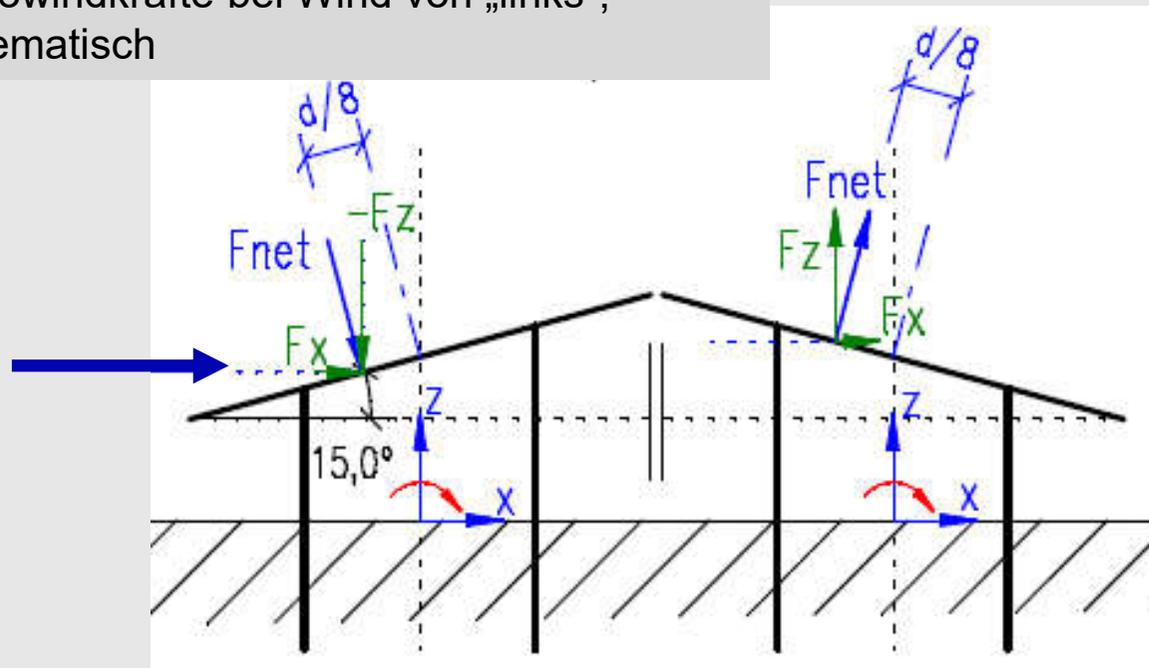
Abschattungseffekte sind möglich – Abschätzung z.B. mit Abschattungsfaktoren für Zäune und Wände gemäß DIN EN 1991-1-4, Abschnitt 7.4.2 oder (eingeschränkt) Tabelle 7.8 für freistehende Sheddächer (oder, zur Überprüfung, für hintereinanderliegende gleiche Bauteile gemäß DIN 1055-4, Abschnitt 12.10 – gilt aber nur für Queranströmung bis 5°)

Beispiel 8: Photovoltaikanlagen

Annahmen für Freifeldanlagen

Systeme und Beanspruchungen (schematisch Ost-West Anlagen)

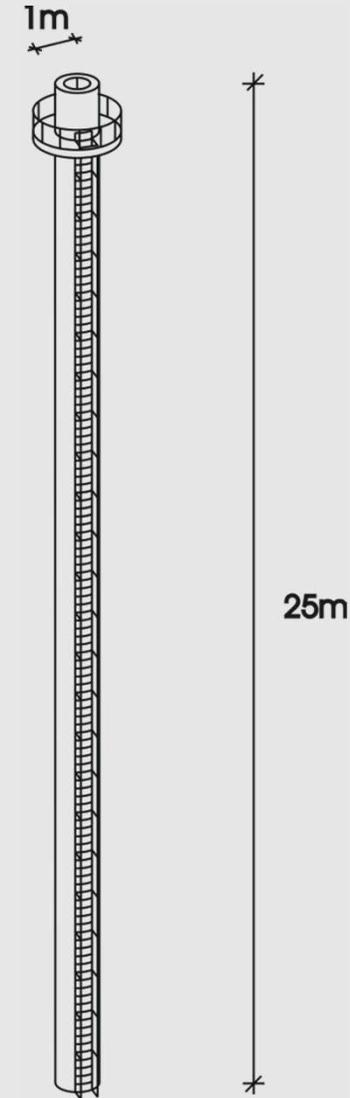
Nettowindkräfte bei Wind von „links“,
schematisch



Die Windbeanspruchung darf gemäß Empfehlung DIBT wie für freistehende Pultdächer gemäß DIN EN 1991-1-4, Abschnitt 7.3 (u.A. Tabelle 7.7.) abgeschätzt werden

Beispiel 8: Wirbelerregung Schornstein

- $h=25\text{ m}$
- Querschnittswerte:
- $b=1,0\text{ m}$
- $t=10\text{ mm}$
- $A=311\text{ cm}^2$
- $W_y=7620\text{ cm}^3$



Beispiel 8: Wirbelerregung Schornstein

| Querschwingungsberechnung nach Anhang D, DIN EN 1991-1-4 | | | |
|---|---|--------------------------|------------------|
| Parameter | Formel | Quelle | Wert |
| Eigenfrequenz | $n_1 = \frac{\varepsilon_1 \cdot b}{h_{eff}^2} \cdot \sqrt{\frac{W_s}{W_t}} = \frac{1000 \cdot 1,0}{25,0^2} \cdot \sqrt{1,0}$ | F.3 | 1,6 Hz |
| äquivalente Masse | m_e | F.14 | 244,7 kg/m |
| Scrutzahl | $Sc = \frac{2 \cdot m \cdot \delta}{\rho \cdot b^2} = \frac{2 \cdot 244,7 \cdot 0,015}{1,25 \cdot 1,0^2}$ | E.4 | 5,9 |
| Strouhalzahl | St | Tabelle E.1 | 0,18 |
| v_{crit} | $v_{crit} = \frac{n_1 \cdot b}{St}$ | Formel E.2 | 8,9 m/s |
| Reynoldszahl | $Re(v_{crit}) = \frac{v_{crit} \cdot b}{\nu} = \frac{8,9 \cdot 1,0}{15} \cdot 10^6$ | Formel E.5 | $5,9 \cdot 10^5$ |
| Erregerkraftbeiwert | $C_{lat,0}$ | Tabelle E.2 Bild E.2 | 0,2 |
| Beiwert der Schwingungsform | K | Tabelle E.5 (Zeile 2) | 0,13 |
| Wirklängenfaktor | $K_w \text{ mit } L_j/b=6 \text{ und } \lambda=l/b=25$ | E.1.5.2.4 Tabelle E.5 | 0,56 |



Beispiel 8: Wirbelerregung Schornstein

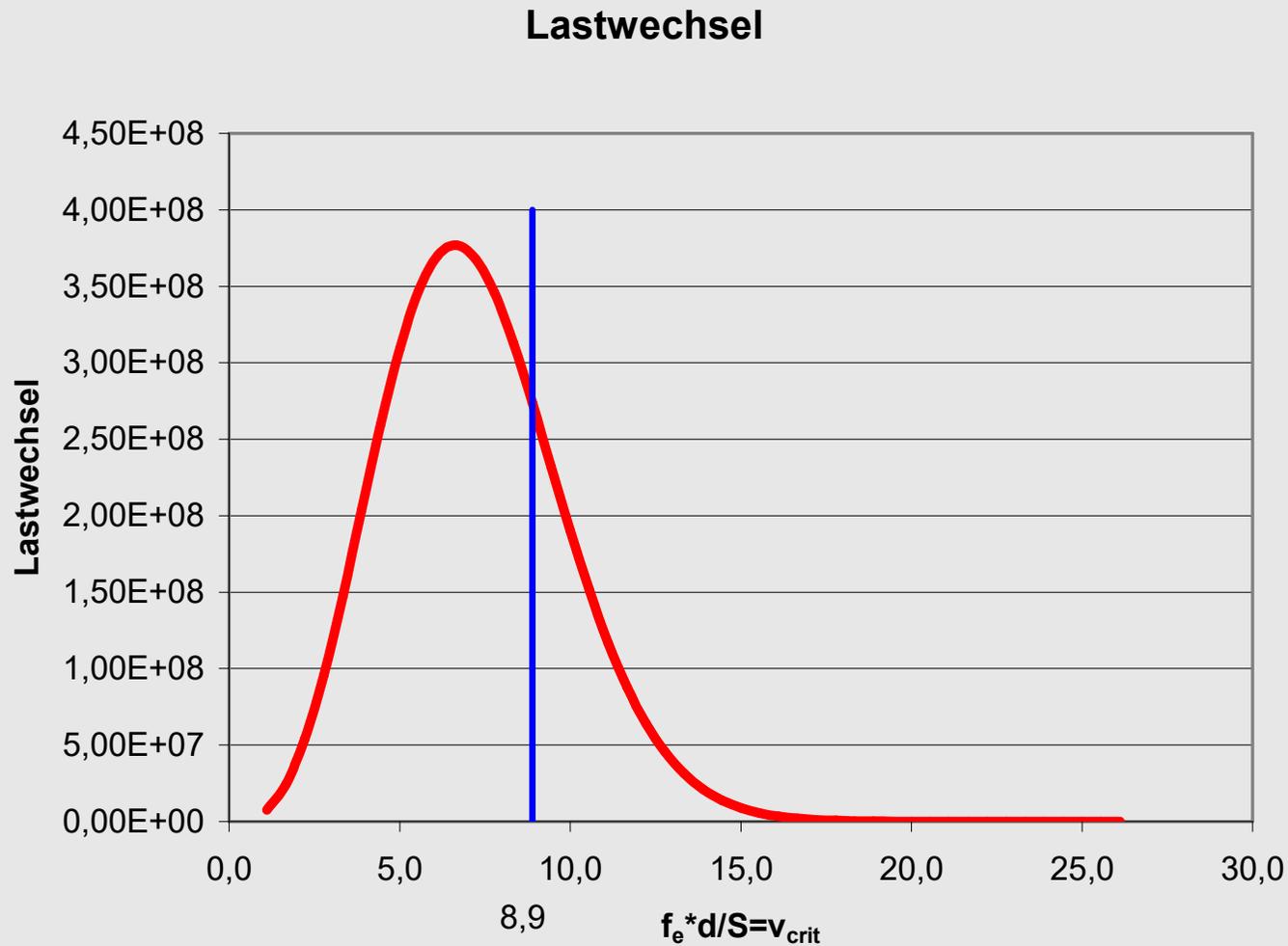
| Querschwingungsberechnung nach Anhang D, DIN EN 1991-1-4 | | | |
|--|--|----------------------------------|------------------------|
| Parameter | Formel | Quelle | Wert |
| Querschwingungsamplitude max y | $b \cdot K \cdot K_w \cdot c_{lat} \cdot \frac{1}{St^2} \cdot \frac{1}{Sc} = 1,0 \cdot 0,13 \cdot 0,56 \cdot 0,2 \cdot \frac{1}{0,18^2} \cdot \frac{1}{5,9}$ | E.7 | 77mm |
| Trägheitslasten F_i | $m_i \cdot (2 \cdot \pi \cdot n_i)^2 \cdot \Phi_i \cdot \max y = m_i \cdot (2 \cdot \pi \cdot 1,6)^2 \cdot \Phi_i \cdot 0,077$ | Formel E.6 | |
| Eigenform | $\Phi_i = \left(\frac{x_i}{h}\right)^2$ | | |
| Einspannmoment | $M = \int_0^h m(x) \cdot \omega^2 \cdot \left(\frac{x}{h}\right)^2 \cdot \max y \cdot x \, dx$ | | 322 kNm |
| Biegespannung | $\sigma = \frac{M}{W_y} = \frac{322 \cdot 1000}{7620} = 42,3 \frac{N}{mm^2}$ | | 42,3 N/mm ² |
| Spannungsschwingspiel | $\Delta\sigma = 2 \cdot \sigma$ | | 84,6 N/mm ² |
| Lastwechsel | $N = 6,3 \cdot 10^7 \cdot T \cdot n_i \cdot \varepsilon_0 \cdot \left(\frac{v_{crit,i}}{v_0}\right)^2 \cdot e^{\left(-\left(\frac{v_{crit,i}}{v_0}\right)^2\right)} > 200 \cdot T$ | Formel E.10 | |
| Lastwechsel | $N = 6,3 \cdot 10^7 \cdot 50 \cdot 1,6 \cdot 0,3 \cdot \left(\frac{8,9}{5,4}\right)^2 \cdot e^{\left(-\left(\frac{8,9}{5,4}\right)^2\right)}$ | Formel E.10 | 2,7*10 ⁸ |
| Modalwert v_0 | $v_0 = \frac{1}{5} \cdot v_{m,Lj} \quad ; \quad v_{m,Lj} = 25 \cdot 0,86 \cdot \left(\frac{25}{10}\right)^{0,25} = 27 \frac{m}{s}$ | Anmerkung 2 zu Formel E.10 | 5,4 m/s |

Beispiel 8: Wirbelerregung Schornstein

- Maßnahmen
- Anheben der Eigenfrequenz durch höhere Steifigkeit
 - ◆ → höheres v_{crit}
 - ◆ → niedrigere Lastwechsel N
 - ◆ → aber i.d.R. größere Amplituden
- Dämpfung anheben z.B. durch dynamische Schwingungsdämpfer
 - ◆ → kleinere Amplituden

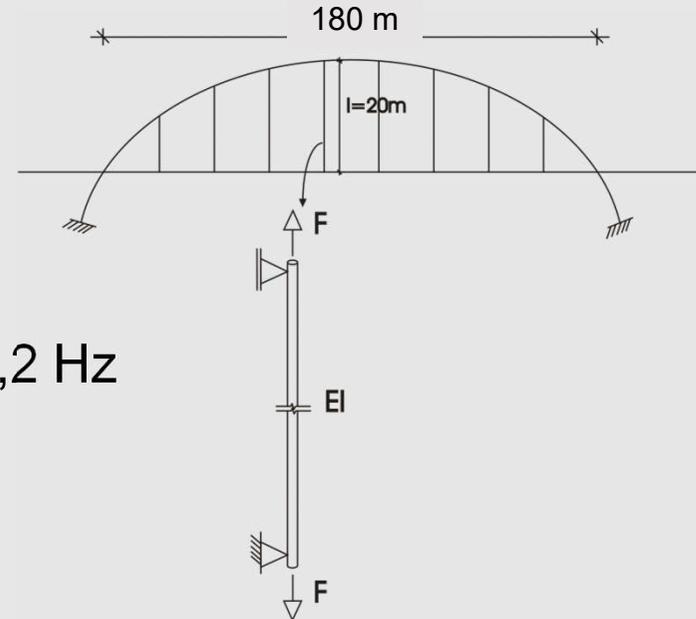


Beispiel 8: Wirbelerregung Schornstein



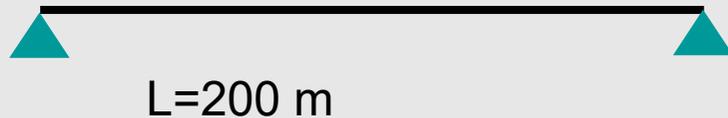
Beispiel 9: Wirbelerregung Brückenhänger

- Zugstange (Brückenhänger)
- Kenndaten
- $d=180$ mm
- $L=20$ m
- $F=2000$ kN
- $n_1=3,5$ Hz, $n_2=7,4$ Hz..... $n_4=18,2$ Hz



| Mode | n_i in Hz | v_{crit} in m/s | max y in mm |
|------|-------------|-------------------|-------------|
| 1 | 3,5 | 3,5 | 1,7 |
| 2 | 7,4 | 7,4 | 3,4 |
| 3 | 12,3 | 12,3 | 5,1 |
| 4 | 18,2 | 18,2 | 6,8 |
| 6 | 34,1 | 34,1 | 10,2 |

Beispiel 10: Wirbelerregung Brücke



- $f_e=120/L=0,6\text{ Hz}$
- Kastenquerschnitt mit $d=30\text{m}$ und $b=3,5\text{m}$
- $St=0,096$ (Tabelle D.1 DIN 1055-4, in DIN EN 1991-1-4 keine Informationen mehr enthalten)
- $m=17,3\text{ t/m}$; $Sc=2*17.300*0,02/1,25/3,5^2=45,2$
- $c_{lat,0}=0,39$ (Tabelle D.1 DIN 1055-4, in DIN EN 1991-1-4 keine Informationen mehr enthalten)
- $L_j/b=6$

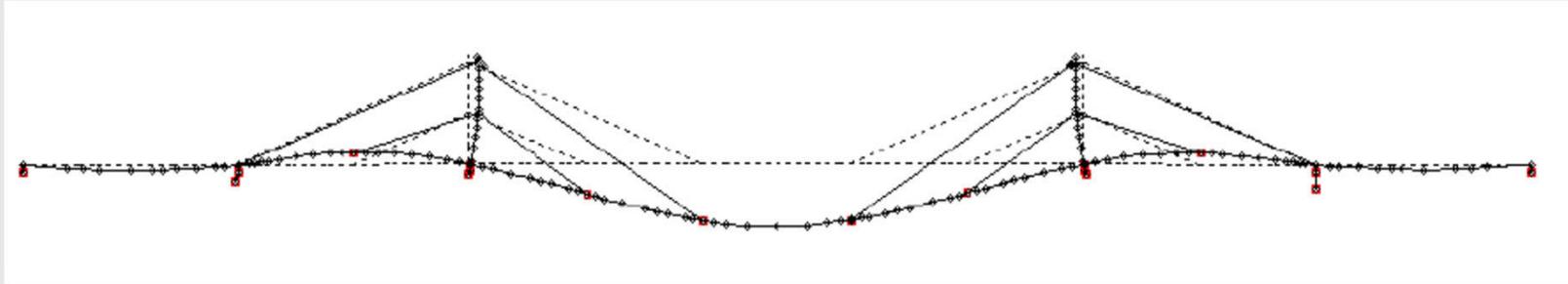
$$K_w = \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot (1 - L_j / b / \lambda)\right) = 0,16 \quad ; \quad \lambda = 200 / 3,5 = 57,1$$

$$\max y / d = 0,1 \cdot 0,16 \cdot 0,39 \cdot \frac{1}{0,096^2} \cdot \frac{1}{45,2} = 0,015 \quad ; \quad y = 5,2\text{ cm}$$

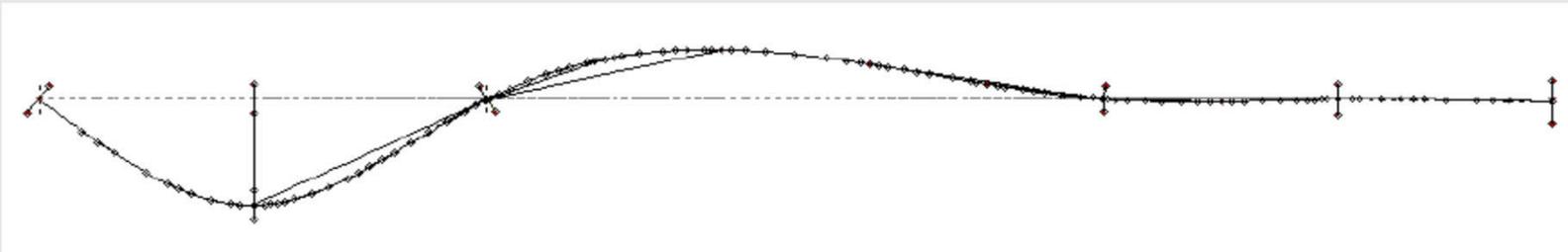
Beispiel 11: Brücken Allgemeines

- Brücken sind im EN 1991-1-4 in Kapitel 8 geregelt.
- DIN EN 1991-1-4/NA enthält den Anhang NA.N, der das vereinfachte Verfahren analog DIN Fachbericht 101 IV, Anhang N enthält
- Regeln gelten nur für ein- und mehrfeldrige Balkenbrücken mit konstanter Bauhöhe und einem Überbau
- Regeln gelten nicht für z.B. Bogenbrücken, Schrägseilbrücken, Hängebrücken oder deutlich gekrümmte Brücken etc. – allgemein: Regelungen in DIN EN 1991-1-4, 8 und NA.N gelten nicht für Brücken mit Schwingungsformen mit wechselndem Vorzeichen!
- Nur bis Stützweiten von 200m
- Anhang NA.N gilt nur für Brücken mit dynamischen Faktoren $\leq 1,1$ (d.h. nicht schwingungsanfällig!!)
- Anhang NA.N gibt nur Lasten in Windrichtung an!

Beispiel 11: Brücken



Schwingungsform 1. Mode, mit wechselndem VZ



Einflußlinie für horizontale Lagerkraft

Beispiel 11: Brücken Vereinfachtes Verfahren - Voraussetzungen

Voraussetzungen:

nicht schwingungsanfällig →

Windzonen:

c_d maximal 1,1

1+2 $q_{ref}=0,39 \text{ kN/m}^2$

3+4 $q_{ref}=0,56 \text{ kN/m}^2$

Höhenabhängigkeit:
beiden Zonen

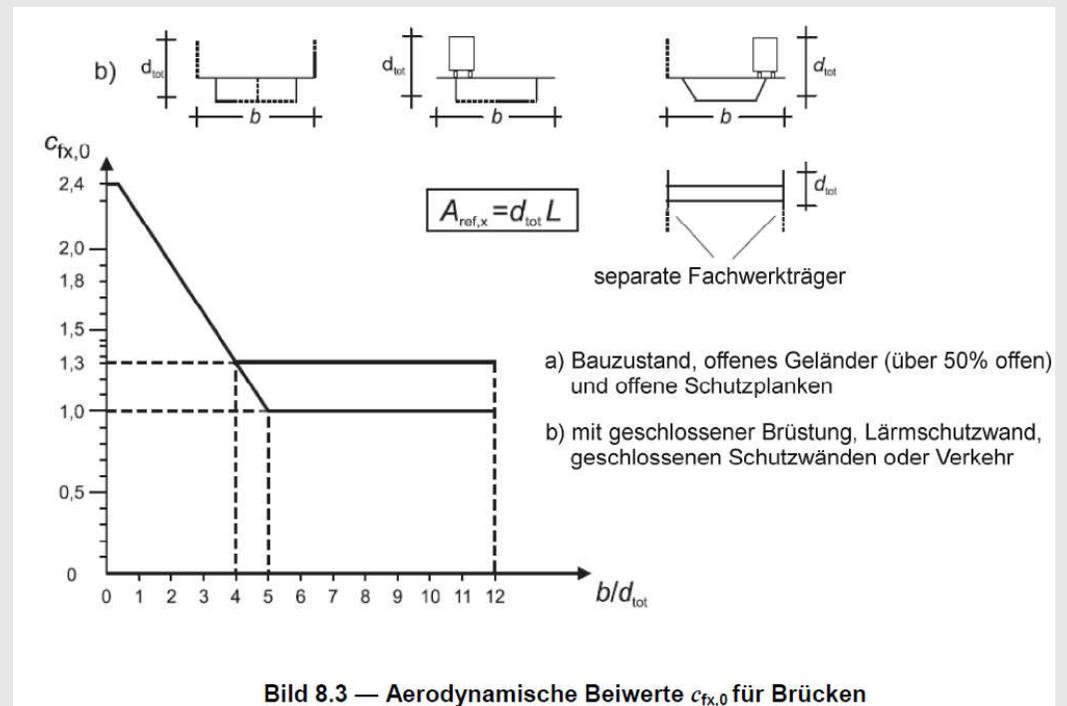
Mischprofile f. Binnenland und Küste in

Bezogene Windkraft ist:

$$w = \frac{F_W}{A_{ref,x}} = q(z) \times c_{fx} = q(z) \times c_{fx,0} \times \psi_{3D}$$

mit $c_{fx,0}$ nach Bild 8.3

bzw. nach Bild 7.23



Beispiel 11: Brücken Vereinfachtes Verfahren - Voraussetzungen

Voraussetzungen:

Faktor ψ_{3D} dient zur näherungsweise Berücksichtigung von 3-D Effekten an Auflagern und Stützen; ψ_{3D} ist abhängig von l/d (wie bei Schlankheitsfaktor ψ_{λ})

| | | |
|--------------|--------------------|----------------------------------|
| Es gilt für: | Deck ohne Wände | $l/d \leq 70$ mit $\lambda = 40$ |
| | $\psi_{3D} = 0,85$ | |
| | Deck mit Wänden | $l/d \leq 70$ mit $\lambda = 10$ |
| | $\psi_{3D} = 0,70$ | |
| | Stützen/Pfeiler | $l/d \leq 70$ mit $\lambda = 40$ |
| | $\psi_{3D} = 0,85$ | |



Beispiel 11: Brücken Vereinfachtes Verfahren - Tabellen

Tabelle NA.N.5 — Windeinwirkungen w in kN/m^2 auf Brücken für Windzone 1 und 2 (Binnenland)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|--|--|---|--|---|---|
| | Ohne Verkehr und ohne Lärmschutzwand | | | Mit Verkehr ^a oder mit Lärmschutzwand | | |
| | auf Überbauten | | | | | |
| b/d^b | $z_e \leq 20 \text{ m}$ | $20 \text{ m} < z_e \leq 50 \text{ m}$ | $50 \text{ m} < z_e \leq 100 \text{ m}$ | $z_e \leq 20 \text{ m}$ | $20 \text{ m} < z_e \leq 50 \text{ m}$ | $50 \text{ m} < z_e \leq 100 \text{ m}$ |
| $\leq 0,5$ | 1,75 | 2,45 | 2,90 | 1,45 | 2,05 | 2,40 |
| $= 4$ | 0,95 | 1,35 | 1,60 | 0,80 | 1,10 | 1,30 |
| ≥ 5 | 0,95 | 1,35 | 1,60 | 0,60 | 0,85 | 1,00 |
| | auf Stützen und Pfeilern ^c | | | | | |
| d/b^b | $z_e \leq 20 \text{ m}$ | | $20 \text{ m} < z_e \leq 50 \text{ m}$ | | $50 \text{ m} < z_e \leq 100 \text{ m}$ | |
| $\leq 0,5$ | 1,70 | | 2,35 | | 2,80 | |
| ≥ 5 | 0,75 | | 1,05 | | 1,25 | |
| ^a | Es gilt der Kombinationsbeiwert $\psi_0 = 0,4$ (Windzone 3+4) und $\psi_0 = 0,55$ (Windzone 1+2). Für Eisenbahnbrücken gilt der Kombinationsbeiwert $\psi_0 = 0,6$. | | | | | |
| ^b | Bei Zwischenwerten kann linear interpoliert werden. | | | | | |
| ^c | Bei quadratischen Stützen- oder Pfeilerquerschnitten mit abgerundeten Ecken, bei denen das Verhältnis $r/d \geq 0,20$ beträgt, können die Windeinwirkungen auf Pfeiler und Stützen um 50 % reduziert werden. Für $0 < r/d < 0,2$ darf linear interpoliert werden. Hierbei ist r = Radius der Ausrundung. | | | | | |

Beispiel: Geländekategorie Binnenland,
Windzonen 1 und 2, DIN EN 1991-1-4



Beispiel 11: Brücken

Tabelle NA.N.6 — Windeinwirkungen w in kN/m^2 auf Brücken für Windzone 3 und 4 (Binnenland)

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--|---------------------------------------|--|---|--|---|---|
| | Ohne Verkehr und ohne Lärmschutzwand | | | Mit Verkehr ^a oder mit Lärmschutzwand | | |
| | auf Überbauten | | | | | |
| b/d^b | $z_e \leq 20 \text{ m}$ | $20 \text{ m} < z_e \leq 50 \text{ m}$ | $50 \text{ m} < z_e \leq 100 \text{ m}$ | $z_e \leq 20 \text{ m}$ | $20 \text{ m} < z_e \leq 50 \text{ m}$ | $50 \text{ m} < z_e \leq 100 \text{ m}$ |
| $\leq 0,5$ | 2,55 | 3,55 | 4,20 | 2,10 | 2,95 | 3,45 |
| $= 4$ | 1,40 | 1,95 | 2,25 | 1,15 | 1,60 | 1,90 |
| ≥ 5 | 1,40 | 1,95 | 2,25 | 0,90 | 1,25 | 1,45 |
| | auf Stützen und Pfeilern ^c | | | | | |
| d/b^b | $z_e \leq 20 \text{ m}$ | | $20 \text{ m} < z_e \leq 50 \text{ m}$ | | $50 \text{ m} < z_e \leq 100 \text{ m}$ | |
| $\leq 0,5$ | 2,40 | | 3,40 | | 4,00 | |
| ≥ 5 | 1,05 | | 1,50 | | 1,75 | |
| <p>^a Es gilt der Kombinationsbeiwert $\psi_0 = 0,4$ (Windzone 3+4) und $\psi_0 = 0,55$ (Windzone 1+2). Für Eisenbahnbrücken gilt der Kombinationsbeiwert $\psi_0 = 0,6$.</p> <p>^b Bei Zwischenwerten kann linear interpoliert werden.</p> <p>^c Bei quadratischen Stützen- oder Pfeilerquerschnitten mit abgerundeten Ecken, bei denen das Verhältnis $r/d \geq 0,20$ beträgt, können die Windeinwirkungen auf Pfeiler und Stützen um 50 % reduziert werden. Für $0 < r/d < 0,2$ darf linear interpoliert werden. Hierbei ist r = Radius der Ausrundung.</p> | | | | | | |

Beispiel: Geländekategorie Binnenland,
Windzonen 3 und 4 , DIN EN 1991-1-4

