

COMPENDIUM EUROCODE 2

Ontwerp en berekening van betonconstructies

- ONTWERPEN EN BEREKENEN IN OVEREENSTEMMING MET DE BELGISCHE NATIONALE BIJLAGEN (ANB)
- GRONDSLAGEN VAN ONTWERP EN BEREKENING
- GEWAPEND BETON



COMPENDIUM EUROCODE 2

Auteursrechten: FEBELCEM.

Met dank aan

- de European Concrete Platform vzw die de originele publicatie ter beschikking gesteld heeft aan haar leden.
- Prof. Jean-François Cap (UCL) die het Europees document omgezet heeft naar de Belgische context.
- Prof. Luc Taerwe (UGent) voor zijn vertaling van deze publicatie uit het Frans in het Nederlands.
- Jef Marinus (FEBE) voor zijn zorgvuldige herlezing van deze publicatie

Alle rechten voorbehouden. Noch het geheel, noch een deel van deze publicatie mag gereproduceerd worden, opgenomen worden in een databank of overgemaakt worden onder gelijk welke vorm of via gelijk welk middel, hetzij elektronisch, mechanisch, fotokopie, opname of andere, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van FEBELCEM.

Gepubliceerd door FEBELCEM voor rekening van infobeton.be

Verantwoordelijke uitgever: André Jasienski

Vorstlaan, 68 bus 11

1170 Brussel

Coördinatie en opmaak: Jean-François Denoël (FEBELCEM)

Alle informatie die opgenomen is in onderhavig document wordt door FEBELCEM geacht nauwkeurig te zijn op het ogenblik van druk en te goeder trouw te zijn opgenomen.

De informatie opgenomen in dit FEBELCEM document creëert in geen enkel geval een verantwoordelijkheid uit hoofde van zijn Leden. Alhoewel het onze betrachting is om informatie juist en actueel te houden, kan FEBELCEM noch het een noch het ander garanderen. We zullen iedere fout die ons gerapporteerd wordt, verbeteren.

De lezer moet er zich van bewust zijn dat alle publicaties van FEBELCEM van tijd tot tijd herzien worden en moet dus zorgen dat hij/zij over de laatste versie beschikt.

Alle raadgevingen en informatie die door FEBELCEM ter beschikking gesteld worden, zijn bedoeld voor degenen die het belang en de beperkingen van de inhoud kunnen inschatten en die de verantwoordelijkheid opnemen voor het gebruik en de toepassing ervan. Geen enkele verantwoordelijkheid (nalatigheid inbegrepen) zal aanvaard worden voor verliezen voortvloeiend uit deze raadgevingen of informatie.

De toelating voor reproductie van uittreksels uit de Eurocodes werd door het NBN, het Belgisch Bureau voor Normalisatie, toegekend aan infobeton.be.

De Belgische normen kunnen online besteld worden op de website van het NBN

<<http://www.nbn.be>> of op het adres Bureau voor Normalisatie - NBN; Birminghamstraat, 131, 1070 Brussel; Tel. 02 738 01 11.

De volgende verenigingen of organisaties zijn lid van infobeton.be:

FEBE, FEBELCEM, FEDBETON, FEDIEX, FIPAH, GBB-BBG, IMPORGRASA, ZEEGRA

Secretariaat:

Vorstlaan, 68 bus 11 - 1170 Brussel

© FEBELCEM, september 2017

ISBN 978-2-9600430-6-8

EAN 9782960043068

D/2017/0280/07

Navigatierichtlijnen

Zoals reeds vermeld, kan de gebruiker steeds over de laatste versie van dit document beschikken door bovenaan iedere bladzijde te klikken op de link [Laatste versie](#). Dit document is opgevat als een elektronisch document. Het is voorzien van hyperlinks die een directe toegang mogelijk maken tot de Figuren, Tabellen en Hoofdstukken via een in de tekst vermelde onderlijnde verwijzing in het blauw.

De navigatie doorheen het document is vergemakkelijkt door « bookmarks » die verschijnen in het linkerluik van het venster, waarin de inhoudsopgave is opgenomen met daarin de lijst van Figuren en Tabellen. Deze inhoudsopgave kan zowel vergroot (« expand ») als verkleind (« collapse ») worden.

In de navigators INTERNET EXPLORER, MOZILLA FIREFOX, en ADOBE ACROBAT, leidt de combinatie van de toetsen ALT +  naar het vorig beeld.

Bij het gebruik van de navigator FIREFOX, moet de optie “use ADOBE ACROBAT (in FIREFOX)” gekozen worden onder het “open the menu” icoon (in de rechter bovenhoek van het venster van de browser) > options > Applications > search “pdf”.

Op die manier kan het document correct afgedrukt worden. Indien men met de optie “preview in FIREFOX” blijft werken, loopt men het risico dat de symbolen in formules verkeerd afgedrukt worden.

Woord vooraf

In 1954 werd het CEB, *Comité Européen International du Béton*, opgericht met als doel het opstellen van nieuwe rekenvoorschriften voor beton, waarmee alle Europese technici akkoord konden gaan.

In 1964, publiceerde het CEB de « *Recommandations Pratiques* » die in 1966 in het Nederlands vertaald werden.

Daarna volgden in 1970 de « *Recommandations Internationales CEB-FIP 1970 pour le calcul et l'exécution des ouvrages en béton* ».

In 1978 werd een herziene versie uitgebracht onder de titel « *CEB-FIP Model Code for Concrete Structures* ». De toenmalige Europese Economische Gemeenschap oordeelde dat deze versie het meest geschikte uitgangspunt was voor het opstellen van Eurocode 2 « Beton ».

Sinds 31 maart 2010 is Eurocode 2 immers van toepassing in alle lidstaten van de CEN (*European Committee for Standardization*).

De Eurocodes zijn vrij algemeen van opvatting. Ze zijn zeer systematisch gestructureerd en de verwijzingen van de ene naar de andere Eurocode maken een gelijktijdige raadpleging van verschillende Eurocodes noodzakelijk teneinde hun verband te begrijpen.

Met de invoering van de Eurocodes stonden de praktijk en het onderwijs voor een grote uitdaging, namelijk de beroepsgroep vertrouwd maken met nieuwe voorschriften, rekenregels en rekenmethodieken.

Zich bewust zijnde van deze situatie heeft het Europees Betonplatform (European Concrete Platform (ECP)), waaraan wordt deelgenomen door de Europese federaties CEMBUREAU (cement), BIBM (prefab beton) en ERMCO (stortklaar beton), enkele jaren geleden het initiatief genomen om lesmateriaal voor de betonontwerper te ontwikkelen, teneinde de implementatie van Eurocode 2 te faciliteren. Er werden vier documenten in Engels opgesteld:

1. In de ‘*Concise Eurocode 2*’ wordt Eurocode 2 en de context ervan, op een praktische manier uitgelegd. Met dit document is het mogelijk om de meeste betonconstructies te ontwerpen en te berekenen.

2. Acht 'How to...' folders van een tiental bladzijden elk, behandelen de berekening van platen, balken, kolommen, ... op een nog pragmatischer en meer gerichte manier.
3. In de 'Worked examples' wordt de manier, waarop de berekening van bouwwerken met de aanbevolen waarden uit de Eurocodes wordt aangepakt, geïllustreerd aan de hand van concrete gevallen.
4. De 'Eurocode 2 – Commentary' geeft de achtergrond van Eurocode 2.

De eerste twee documenten zijn omgezet naar de Belgische context, in overeenstemming met de Belgische nationale bijlagen, en vertaald in het Nederlands met als titel 'Compendium Eurocode 2' en 'Hoe ontwerpen en berekenen met Eurocode 2'.

Het 'Compendium Eurocode 2' en 'Hoe ontwerpen en berekenen met Eurocode 2' kunnen gedownload worden van de website van FEBELCEM <http://www.febelcem.be> via de link Publicatie Download / Andere publicaties.

De laatste twee documenten van de ECP kunnen via de volgende website gedownload worden <https://www.theconcreteinitiative.eu/about-us/the-partners/publications-2>

Het 'Compendium Eurocode 2' werd opgesteld op basis van de originele publicatie van de BCA (British Cement Association) en The Concrete Center¹. Voor België heeft infobeton.be de exclusieve auteursrechten bekomen van het ECP via haar leden FEBELCEM, FEDBETON en FEBE.

Laat ons hopen dat de publicatie van dit 'Compendium Eurocode 2' de toepassing van Eurocode 2 zal vergemakkelijken.

De uitgever, september 2017

Rev0 18-09-2017 eerste editie

¹ R S Narayanan FREng and C H Goodchild BSc CEng MCIOB MStructE. : Concise Eurocode 2 : For the design of in-situ concrete framed buildings to BS EN 1992-1-1: 2004 and its UK National Annex: 2005, British Cement Association & The Concrete Center, 2006

Compendium Eurocode 2

Inhoud

Navigatierichtlijnen.....	5
Woord vooraf.....	5
Inhoud	7
1. Inleiding	11
2. Grondslagen van het ontwerp en de berekening	13
2.1. Algemeen	13
2.2. Basiseisen	13
2.2.1. Algemeen	13
2.2.2. Voorkomen van schade	13
2.2.3. Grenstoestanden	13
2.3. Ontwerp en berekening op basis van grenstoestanden	14
2.3.1. Ontwerpsituaties	14
2.3.2. Belastingen	14
2.3.3. Toetsing	14
2.3.4. Rekenwaarden van belastingen	15
2.3.5. Materiaaleigenschappen	16
2.4. Aannames	17
2.5. Funderingsontwerp	17
3. Materialen.....	19
3.1. Beton	19
3.2. Betonstaal	19
4. Duurzaamheid en betondekking	21
4.1. Algemeen	21
4.2. Betondekking voor aanhechting, $c_{min,b}$	21
4.3. Betondekking voor duurzaamheid, $c_{min,dur}$	22
4.4. Δc_{dev} en andere toeslagen	25
4.5. Asafstand voor brandweerstand	25
4.5.1. Algemeen	25
4.5.2. Kolommen	26
4.5.3. Dragende wanden	29
4.5.4. Balken	30
4.5.5. Massieve platen	31
4.5.6. Vlakke plaatvloeren rustend op kolommen	32
4.5.7. In één richting dragende ribbenvloeren	33
4.5.8. In twee richtingen dragende ribbenvloeren	33
4.5.9. Betondekking voor brandweerstand bij meer dan 15 % herverdeling	34
4.5.10. Ontwerpen op brand	34
5. Constructieve berekening	35
5.1. Algemeen	35
5.2. Schematisering van de constructie	35
5.2.1. Definities	35
5.2.2. Meewerkende flensbreedte	35
5.2.3. Theoretische overspanning	36
5.3. Berekeningsmethoden	37
5.3.1. Uiterste grenstoestanden (UGT)	37
5.3.2. Bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT)	38

5.3.3. Algemene opmerking	38
5.4. Belastingen	39
5.4.1. Belastingsgevallen en -combinaties	39
5.4.2. Belastingsschikkingen	39
5.4.3. Belastingsfactoren	39
5.5. Geometrische imperfecties	39
5.5.1. Algemeen	39
5.5.2. Imperfecties en de globale analyse van constructies	39
5.5.3. Andere toleranties in de berekening	41
5.6. Rekenwaarden van kolommomenten	41
5.6.1. Definities	41
5.6.2. Rekenwaarden van momenten	47
5.6.3. Dubbele buiging	49
5.7. Vlakke plaatvloeren	50
5.7.1. Definitie	50
5.7.2. Berekening	50
5.8. Consoles	52
5.8.1. Definitie	52
5.8.2. Berekening	52
6. Buiging met of zonder normaalkracht	55
6.1. Aannames	55
7. Dwarskracht	59
7.1. Algemeen	59
7.1.1. Definities	59
7.1.2. Vereisten met betrekking tot dwarskrachtwapening	59
7.1.3. Gelijkmatic verdeelde belastingen	59
7.1.4. Getrokken langswapening	59
7.2. Weerstand van elementen zonder dwarskrachtwapening	59
7.3. Weerstand van elementen met dwarskrachtwapening	61
7.3.1. Basis	61
7.3.2. Controle van de dwarskrachtweerstand	62
7.3.3. Benodigde hoeveelheid dwarskrachtwapening, A_{sw}/s	63
7.3.4. Bijkomende trekkrachten	64
7.3.5. Elementen met belastingen aangrijpend aan de bovenzijde in de nabijheid van steunpunten	64
7.3.6. Elementen met belastingen aangrijpend aan de onderzijde	65
8. Pons	67
8.1. Algemeen	67
8.1.1. Ontwerputgangspunten	67
8.1.2. Rekenmethode	67
8.2. Optredende schuifspanning	67
8.2.1. Algemeen	67
8.2.2. Waarden van β (conservatieve forfaitaire waarden)	68
8.2.3. Waarden van β (via berekening)	68
8.3. Controle-omtrekken	71
8.3.1. Eerste controle-omtrek u_1 (middenkolommen)	71
8.3.2. Openingen	72
8.3.3. Kolommen nabij een rand of hoek	72
8.3.4. Kolomkoppen	72
8.4. Ponsweerstand zonder ponswapening	73
8.5. Ponsweerstand met ponswapening	73
8.6. Ponsweerstand direct langs kolommen	74
8.7. Controle-omtrek waarvoor geen ponswapening vereist is, u_{out}	74

8.8. Ponsweerstand van funderingszolen.....	75
9. Wringing	77
9.1. Algemeen	77
9.2. Wringweerstand	77
9.3. Combinatie van wringing en dwarskracht	78
10. Bruikbaarheidsgrenstoestanden	79
10.1. Inleiding	79
10.2. Scheurbeheersing	79
10.3. Minimum langswapening	80
10.4. Minimale dwarskrachtwapening	81
10.4.1. Balken	81
10.4.2. Vlakke plaatvloeren.....	81
10.5. Doorbuigingsbegrenzing	81
10.5.1. Algemeen	81
10.5.2. Referentiewaarden voor de verhouding overspanning/nuttige hoogte	81
11. Detaillering – algemene eisen	85
11.1. Algemeen	85
11.2. Staafafstanden	85
11.3. Toelaatbare doorndiameters voor gebogen staven	85
11.4. Verankering van wapening.....	86
11.4.1. Algemeen	86
11.4.2. Rekenwaarde van de verankeringslengte l_{bd}	87
11.4.3. Basisverankeringslengte $l_{b,rqd}$	88
11.4.4. Gelijkwaardige verankeringslengte $l_{b,eq}$	88
11.5. Uiterst opneembare aanhechtspanning	89
11.6. Overlappingsen	89
11.6.1. Algemeen	89
11.6.2. Overlapping van staven.....	89
11.6.3. Overlapping van gelaste wapeningsnetten	90
11.6.4. Dwarswapening.....	91
11.6.5. Overlapping van staven met grote diameter	92
12. Detaillering – specifieke regels	93
12.1. Algemeen	93
12.2. Balken	93
12.2.1. Langswapening	93
12.2.2. Schorsing van op trek belaste langswapening	93
12.2.3. Bovenwapening bij een eindsteunpunt	94
12.2.4. Onderwapening bij een eindsteunpunt	94
12.2.5. Tussensteunpunten	94
12.2.6. Dwarskrachtwapening	94
12.2.7. Wringwapening	95
12.2.8. Indirecte opleggingen	95
12.3. In één en twee richtingen dragende massieve platen	96
12.3.1. Hoofdwapening	96
12.3.2. Verdeelwapening.....	96
12.3.3. Wapening bij opleggingen.....	96
12.3.4. Dwarskrachtwapening.....	97
12.4. Vlakke plaatvloeren.....	97
12.4.1. Detaillering ter hoogte van middenkolommen	97
12.4.2. Detaillering ter hoogte van rand- en hoekkolommen	97
12.4.3. Ponswapening	98
12.5. Kolommen.....	100

12.5.1. Langswapening	100
12.5.2. Dwarswapening (beugels, spelden)	100
12.6. Wanden	100
12.6.1. Verticale wapening.....	101
12.6.2. Horizontale wapening	101
12.6.3. Dwarswapening.....	101
12.7. Poeren.....	101
12.8. Boorpalen	101
13. Trekbanden.....	103
13.1. Algemeen	103
13.2. Trekbanden langs de omtrek	103
13.3. Inwendige trekbanden	103
13.4. Horizontale trekbanden aan kolommen en wanden.....	104
13.5. Verticale trekbanden.....	104
14. Ongewapend of lichtgewapend beton	105
14.1. Algemeen	105
14.2. Buiging en normaalkracht	105
14.3. Dwarskrachtweerstand	106
14.4. Knikweerstand van kolommen en wanden	107
14.5. Bruikbaarheidsgrenstoestanden.....	108
14.6. Funderingsstroken en -zolen.....	108
15. Ontwerphulpmiddelen	111
15.1. Rekenwaarden voor belastingen.....	111
15.2. Belastingen	111
15.3. Ontwerpen van rechthoekige doorsneden op enkelvoudige buiging	111
15.4. Balken ontwerpen op dwarskrachtweerstand	113
15.4.1. Vereisten met betrekking tot dwarskrachtwapening.....	113
15.4.2. Controle van de weerstand van een doorsnede.....	116
15.4.3. Dimensioneren van dwarskrachtwapening	116
15.5. Dimensioneren op ponsweerstand	117
15.6. Controle van de doorbuiging	119
15.7. Scheurbeheersing	122
15.8. Dimensioneren op samengestelde buiging	123
15.8.1. Algemeen	123
15.8.2. Dimensionering	123
16. Referenties	135
17. Symbolen – Definities.....	137

1. Inleiding

NBN EN 1992-1-1 (Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies Deel 1-1^[1]) geeft algemene regels voor het ontwerpen en berekenen van betonconstructies en specifieke regels voor gebouwen. Noodzakelijkerwijs wordt een brede waaier van constructies behandeld waardoor deze norm voor routinematig ontwerpen en berekenen als te complex kan worden ervaren.

Bij het opstellen van dit ‘*Compendium Eurocode 2*’, zijn alle delen uit NBN EN 1992 en de Nationale Bijlagen ^[1-4] geselecteerd, die veelvuldig worden gebruikt bij het ontwerpen en berekenen van gebouwen. **Deze publicatie beperkt zich dan ook tot de sterkteklassen van beton tot en met C50/60 en behandelt geen voorgespannen beton noch licht beton.** Ondanks deze beperkingen wordt aangenomen dat het overgrote deel van de dagelijkse ontwerpen en berekeningen binnen het toepassingsgebied van dit document zal vallen.

Zo veel als mogelijk is getracht de teksten van de Eurocode letterlijk te vertalen – tenzij herformuleren van de tekst de duidelijkheid ten goede komt of, zoals soms het geval is (gemarkeerd met grijze arcering) tekst, afgeleide uitdrukkingen, tabellen, schema’s of figuren zijn toegevoegd. Dit laatste is met name het geval in [Hoofdstuk 15](#). Indien relevant worden andere Europese normen aangehaald. Verwijzingen naar artikelnummers in Eurocode 2 of andere Eurocodes zijn gemarkeerd met een pijl om deze goed herkenbaar te maken.

Het systeem van Eurocodes biedt aan individuele landen de mogelijkheid om, voor een aantal onderwerpen zoals veiligheid en courante praktijk, aan sommige constructieve parameters eigen waarden toe te kennen binnen hun eigen normalisatie of reglementering. Deze getallen worden de *Nationally Determined Parameters* (NDPs) (of Nationaal Bepaalde Parameters, NBPs) genoemd en zijn gepubliceerd in de Nationale Bijlage van het betreffende land.

In het algemeen wordt de informatie in dezelfde volgorde behandeld als in Eurocode 2. Evenwel moet het constructief ontwerp in zijn globaliteit voldoen aan NBN EN 1990 (Eurocode: *Grondslagen van het constructief ontwerp*^[5]) die informatie verschaft die van toepassing is op alle constructiematerialen. De relevante basisinformatie uit NBN EN 1990 wordt besproken in [Hoofdstuk 2](#).

Deze publicatie, die gebaseerd is op de thans beschikbare informatie, bevat al hetgeen voor constructeurs van belang is bij het ontwerpen en berekenen van de meeste betonconstructies.

Om het opzoekwerk in dit document te vergemakkelijken is de elektronische versie van dit document voorzien van hyperlinks naar alle interne referenties (artikels, figuren, tabellen en bibliografische referenties).

Presentatiewijze

Grijs gearceerde tekst, tabellen en figuren	Bijkomende tekst, afgeleide uitdrukkingen, tabellen en figuren die niet opgenomen zijn in Eurocode 2
► 6.4.4	Nummer van een artikel, figuur of tabel uit NBN EN 1992-1-1 (als wordt verwezen naar andere delen, andere Eurocodes of andere documenten wordt dit aangegeven)
► 5.1.1(6) & AC	Nummer van een artikel, figuur of tabel uit NBN EN 1992-1-1, vermeld in de corrigenda AC:2008 en 2010
ANB	Informatie afkomstig uit de Belgische Nationale Bijlage
► 6.4.4 & ANB	Informatie afkomstig uit zowel NBN EN 1992-1-1 als de Belgische Nationale Bijlage
Zie Lid 5.2	Het relevante gedeelte uit deze publicatie

2. Grondslagen van het ontwerp en de berekening

2.1. Algemeen

NBN EN 1992-1-1^[1] moet worden gebruikt in combinatie met de norm NBN EN 1990: *Grondslagen van het constructief ontwerp*^[5], waarin:

- de principes van en vereisten met betrekking tot veiligheid, bruikbaarheid en duurzaamheid van constructies zijn opgenomen
- de grondslagen van het ontwerp en de berekening evenals de toetsing worden beschreven
- richtlijnen worden gegeven voor aspecten met betrekking tot constructieve betrouwbaarheid

2.2. Basiseisen

2.2.1. Algemeen

► NBN EN 1990^[5] 2.1(1) tot (4) Een constructie moet worden ontworpen en uitgevoerd op een zodanige wijze dat deze, gedurende de beoogde levensduur, met voldoende mate van betrouwbaarheid en op economische wijze:

- weerstand biedt tegen alle belastingen en invloeden die verwacht worden op te treden tijdens uitvoering en gebruik
- geschikt blijft voor de beoogde toepassing

Zij moet zodanig worden ontworpen en berekend dat voldoende stabiliteit, constructieve draagkracht, bruikbaarheid en duurzaamheid wordt verkregen.

In geval van brand moet de constructieve draagkracht gedurende een vereiste tijdsduur voldoende groot zijn.

Een constructie moet op een zodanige wijze worden ontworpen, berekend en uitgevoerd, dat deze in omstandigheden zoals explosie, impact en de gevolgen van menselijke fouten, niet in disproportionele mate ten opzichte van de oorzaak, wordt beschadigd.

2.2.2. Voorkomen van schade

► NBN EN 1990: 2.1(5) Mogelijke schade moet worden vermeden of beperkt door de juiste keuze van een of meer van de volgende opties:

- het voorkomen, elimineren of reduceren van de bedreigingen/gevaren waaraan de constructie kan worden blootgesteld
- het kiezen van een constructieve vormgeving die weinig gevoelig is voor de beschouwde bedreigingen
- het kiezen van een constructieve vormgeving en een constructief ontwerp dat het accidenteel wegvallen van een individuele constructieve component of een beperkt deel van de constructie, of het lokaal optreden van schade, adequaat kan weerstaan
- het zoveel als mogelijk vermijden van constructieve systemen die zonder waarschuwing kunnen bezwijken
- het onderling verbinden van constructieve elementen

2.2.3. Grenstoestanden

► NBN EN 1990: 2.2(1) Het gebruik van de NBN EN 1990 impliceert dat het ontwerp moet worden uitgevoerd volgens het principe van de grenstoestanden.

► NBN EN 1990: 2.3, Tab. 2.1 Een indicatieve waarde van 50 jaar is vastgelegd voor de ontwerp levensduur van gebouwen en andere gebruikelijke constructies.

2.3. Ontwerp en berekening op basis van grenstoestanden

►NBN EN 1990: 3.1 Grenstoestanden zijn toestanden waarboven de constructie niet langer voldoet aan de relevante ontwerpcriteria.

- De uiterste grenstoestanden (UGT) worden geassocieerd met de instorting of andere vormen van constructief bezwijken.
- De bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT) komen overeen met omstandigheden waarboven niet meer wordt voldaan aan de vooropgestelde gebruikseisen.

Grenstoestanden moeten worden geverifieerd in alle relevante ontwerpsituaties, met inachtneming van de omstandigheden waarin de constructie haar functies moet vervullen.

2.3.1. Ontwerpsituaties

►NBN EN 1990: 3.2 In het algemeen moeten in niet-aardbevingsgevoelige gebieden de volgende ontwerpsituaties worden beschouwd:

- blijvende situaties die betrekking hebben op omstandigheden tijdens normaal gebruik
- tijdelijke situaties die betrekking hebben op tijdelijke omstandigheden, zoals tijdens uitvoering of herstelling
- buitengewone situaties die betrekking hebben op uitzonderlijke omstandigheden met betrekking tot de constructie zelf of de belastingen waaraan deze is blootgesteld (bv. brand, explosie, impact of de gevolgen van lokaal bezwijken)

2.3.2. Belastingen

►NBN EN 1990: 1.5 Belastingen hebben betrekking op krachten die direct worden uitgeoefend op de constructie of op opgelegde vervormingen, zoals ongelijkmatige zettingen of temperatuureffecten die inwendige krachten in de constructie veroorzaken.

- ►NBN EN 1990: 1.5.3.3 Blijvende belastingen zijn belastingen waarvan de verandering van de grootte in de tijd verwaarloosbaar klein is.
- ►NBN EN 1990: 1.5.3.4 Veranderlijke belastingen zijn belastingen waarvan de verandering van de grootte in de tijd niet verwaarloosbaar is.
- ►NBN EN 1990: 1.5.3.5 Buitengewone belastingen zijn belastingen die kortstondig optreden maar met een beduidende grootte en die een kleine kans hebben om op te treden gedurende de levensduur van de constructie.

►NBN EN 1990: 4.1.2 De karakteristieke waarde van een belasting wordt gedefinieerd volgens een van de volgende drie manieren:

- ►NBN EN 1990: 4.1.2(1) Haar gemiddelde waarde – in het algemeen gebruikt voor blijvende belastingen.
- ►NBN EN 1990: 4.1.2(7) Een bovengrenswaarde met een zekere kans dat deze niet wordt overschreden of een ondergrenswaarde met een zekere kans dat deze niet wordt onderschreden - in het algemeen gebruikt voor veranderlijke belastingen met een bekende statistische verdeling zoals wind of sneeuw.
- ►NBN EN 1990: 4.1.2(8) Een nominale waarde – gebruikt voor bepaalde veranderlijke en buitengewone belastingen.

De waarden voor een belasting zoals gegeven in de verschillende delen van NBN EN 1991: *Belastingen op constructies*^[6], worden beschouwd als karakteristieke waarden.

2.3.3. Toetsing

►NBN EN 1991^[6]: Toetsing op basis van de methode van de partiële factoren wordt in detail besproken in NBN EN 1990^[5]. Met deze methode wordt geverifieerd of in alle van toepassing zijnde ontwerpsituaties geen enkele relevante grenstoestand wordt overschreden, wanneer in de rekenmodellen rekenwaarden voor de belastingen en sterkten worden gebruikt.

2.3.4. Rekenwaarden van belastingen

► **NBN EN 1990: 6.3.1** De rekenwaarde van een belasting is: $\gamma_F \psi F_k$ waarin:

ψ = een factor waarmee de karakteristieke waarde van een belasting wordt omgerekend tot een representatieve waarde. Op deze wijze wordt de grootte van een belasting aangepast rekening houdend met de kans voor het gelijktijdig optreden van andere, onafhankelijke belastingen. De grootte ervan is gelijk aan:

= 1,0 voor een blijvende belasting

= ψ_0 (karakteristieke waarde) of ψ_1 (frequente waarde) of ψ_2 (quasi-blijvende waarde) voor een veranderlijke belasting als deze gelijktijdig optreedt met een andere veranderlijke belasting (zie [Tabel 2.1](#) en [Tabel 2.2](#), ontleend aan NBN EN 1990).

γ_F = de partiële factor voor de belasting (zie [Tabel 2.2](#))

ψF_k mag worden beschouwd als zijnde de representatieve belasting, F_{rep} , van toepassing in de beschouwde grenstoestand.

► **NBN EN 1990: A1.2.2 & ANB [Tabel 2.2](#)** geeft de partiële factoren die moeten gebruikt worden voor de representatieve belastingscombinaties in gebouwen. Met de waarden opgenomen in [Tabel 2.1](#) kunnen de karakteristieke waarden van de veranderlijke belastingen worden omgerekend naar representatieve waarden.

Tabel 2.1 Aanbevolen ψ -waarden voor gebouwen ► **NBN EN 1990: Tabel A1.1 ANB**

Belasting	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Opgelegde belastingen voor gebouwen volgens categorie			
Categorie A: woon-, verblijfruimtes	0,7	0,5	0,3
Categorie B: kantoorruimtes	0,7	0,5	0,3
Categorie C: vergaderruimtes	0,7	0,7	0,6
Categorie D: winkelruimtes	0,7	0,7	0,6
Categorie E: opslagruimtes	1,0	0,9	0,8
Categorie F: verkeerszones, voertuigen met gewicht ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Categorie G: verkeerszones, $30 \text{ kN} < \text{voertuigen met gewicht} \leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Categorie H: daken ► NBN EN 1991-1-1 3.3.2(1)	0,0	0,0	0,0
Sneeuwbelastingen waar de hoogte boven de zeespiegel ≤ 1000 m is	0,5	0,0	0,0
Windbelastingen ► NBN EN 1991-1-4	0,6	0,2	0,0
Temperatuurbelastingen (uitgezonderd brand) ► NBN EN 1991-1-5	0,6	0,5	0,0
Zettingen ► NBN EN 1997	1,0	1,0	1,0
Bijzondere belastingen tijdens de uitvoering ► NBN EN 1991-1-6	1,0	-	0,2

► **NBN EN 1990: A1.3.1(5)** Voor het ontwerp en de berekening van constructieve elementen (funderingen op staal, palen, kelderwanden, enz.) (STR) waarbij geotechnische belastingen en de weerstand van de grond betrokken zijn (GEO), kan gebruik gemaakt worden van de 'Benadering 1' voor geotechnische belastingen en weerstanden in de NBN EN 1997.

Bij 'Benadering 1' worden, in afzonderlijke berekeningen, de rekenwaarden in ► **NBN EN 1990 tabel A1.2(C)** (groep C) en ► **NBN EN 1990 tabel A1.2(B)** (groep B) voor geotechnische belastingen alsook voor de andere belastingen op de constructie of uitgaande ervan, toegepast.

In normale gevallen wordt de dimensionering van funderingen bepaald door groep C en de constructieve weerstand door groep B.

Tabel 2.2 Partiële factoren (γ_F) te gebruiken bij toetsing van de grenstoestanden in blijvende en tijdelijke ontwerpsituaties

Grenstoestand	Blijvende belastingen (G_k)	Overheersende veranderlijke belasting ($Q_{k,1}$)	Gelijktijdig optredende veranderlijke belastingen ($Q_{k,i}$)	Referentie	
a) Evenwicht (EQU) Groep A					
	$\gamma_{G,sup} (\gamma_{G,inf})^a$	$\gamma_{Q,1}$	$\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}$	► NBN EN 1990: Tabel A1.2(A) (groep A)	
Waarden	1,10 (0,9) ^a	1,50 (0,0) ^a	1,50 $\psi_{0,i}$ (0,0) ^a		
b) Draagvermogen in UGT (STR/GEO) zonder geotechnische belastingen, Groep B					
Vgl. (6.10)	γ_G	$\gamma_{Q,1}$	$\gamma_{Q,i}\psi_{0,i}$	► NBN EN 1990: Vgl. (6.10) & Tabel A1.2(B)	
Waarden	1,35 (1,0) ^a	1,5 (0,0) ^a	1,5 $\psi_{0,i}$ (0,0) ^a		
c) Draagvermogen in UGT (STR/GEO) met geotechnische belastingen					
Ongunstigste van groep B	γ_G	γ_{Q1}	$\psi_{0,i}\gamma_Q$	► NBN EN 1990: Tabel A1.2(B)	
Waarden	1,35 (1,0) ^a	1,5 (0,0) ^a	1,5 $\psi_{0,i}$ (0,0) ^a		
of groep C	γ_G	γ_{Q1}	$\psi_{0,i}\gamma_Q$	► NBN EN 1990: Tabel A1.2(C) ANB	
Waarden	1,0	1,3	1,1 $\psi_{0,i}$		
d) Bruikbaarheid					
Karakteristiek	1,00	1,00	1,00 $\psi_{0,i}$	► NBN EN 1990: Tabel A1.4	
Frequent	1,00	1,00 $\psi_{1,1}$	1,00 $\psi_{2,i}$		
Quasi-blijvend	1,00	1,00 $\psi_{2,1}$	1,00 $\psi_{2,i}$		
e) Buitengewone ontwerpsituaties		Overheersend veranderlijke buitengewone belasting	voor-naamste	andere	
	$\gamma_{G,sup}$ Of ($\gamma_{G,inf}$)	γ_{Ad}^b	$\psi_{1,1}$ of $\psi_{2,1}$	$\psi_{2,i}$	► NBN EN 1990: Vgl. (6.11b)
Waarden (brand)	1,00	1,00 ^b	0,2 ^c of $\psi_{2,1}$	$\psi_{2,i}$	
Waarden (aardbevingen)	1,00	1,00 ^b	$\psi_{2,1}$	$\psi_{2,i}$	► NBN EN 1990: Vgl. (6.12b)
Waarden (andere gevallen)	1,00	1,00 ^b	$\psi_{1,1}$	$\psi_{2,i}$	► NBN EN 1990: Vgl. (6.11b) ANB
Legende					
^a Waarde te hanteren bij een gunstig werkende belasting.					
^b Overheersende buitengewone belasting (A_d)					
^c ► NBN EN 1991-1-2 ANB 4.3.1(2) OPMERKING De waarde 0,2 slaat op de windbelasting indien wind de voornaamste gelijktijdig optredende belasting is.					
Opmerkingen					
De waarden van ψ worden gegeven in Tabel 2.1 .					
► NBN EN 1990: Tabel A1.2 (B) ANB Opmerking 2 Indien het verschil tussen $G_{k,sup}$ en $G_{k,inf}$ gering is, zijnde een variatiecoëfficiënt kleiner dan 10 %, wordt de gemiddelde waarde G_k genomen als representatieve waarde voor de blijvende belasting.					
De geotechnische belastingscombinaties die in de Tabel opgenomen zijn, zijn gebaseerd op 'Benadering 1' in NBN EN 1990: A1.3.1(5) , die normatief is in België.					

2.3.5. Materiaaleigenschappen

Materiaaleigenschappen worden voorgeschreven onder de vorm van karakteristieke waarden die in het algemeen overeenkomen met een bepaalde fractiel uit een aangenomen statistische distributiefunctie van de betreffende eigenschap (meestal de 5 %-ondergrens).

► 2.4.2.4(1) & ANB en NBN EN 1992-1-2: 2.3(2) & ANB De waarden van de partiële factoren voor materialen γ_c en γ_s , zijn gegeven in [Tabel 2.3](#).

De informatieve bijlage A van de NBN EN1992-1-1, aangevuld met de ANB, geeft de voorwaarden waaronder de partiële factoren mogen gereduceerd worden.

Tabel 2.3 Partiële factoren voor materiaaleigenschappen

► Tabel 2.1 N & ANB

Ontwerpsituatie	γ_c – beton	γ_s – betonstaal
UGT – blijvend en tijdelijk	1,50	1,15
Buitengewoon - geen brand	1,20	1,00
Buitengewoon - brand	1,00	1,00
BGT	1,00	1,00

2.4. Aannames

► 1.3 Buiten de algemene aannames van de NBN EN 1990, wordt in de Eurocode uitgegaan van:

- constructies worden ontworpen en berekend door voldoende gekwalificeerd en ervaren personeel
- er wordt gezorgd voor deskundig toezicht en een adequate kwaliteitsbeheersing
- de bouwmaterialen en -producten worden gebruikt zoals voorgeschreven in de materiaal- of productspecificaties
- de constructie zal adequaat worden onderhouden en zal worden gebruikt in overeenstemming met de ontwerpvoorschriften
- aan de eisen voor uitvoering en vakbekwaamheid zoals gegeven in de NBN ENV 13670 wordt voldaan

2.5. Funderingsontwerp

► NBN EN 1997: 2.4.6.4 Bij het ontwerpen en berekenen van funderingen in beton, wordt Eurocode 7 ^[9] gebruikt voor de geotechnische aspecten en Eurocode 2 voor het ontwerpen en berekenen van de betonconstructie.

► NBN EN 1997: 2.1(4) Eurocode 7 heeft een zeer breed toepassingsgebied en geeft alle eisen die nodig zijn voor het geotechnisch ontwerp. Gesteld wordt dat geen van de grenstoestanden zoals bv. evenwicht, stabiliteit, sterkte of bruikbaarheid, zoals gedefinieerd in NBN EN 1990, mag worden overschreden. Aan de bepalingen met betrekking tot ontwerpen in UGT en BGT mag worden voldaan door op een correcte wijze één of meerdere van de volgende werkwijzen te gebruiken:

- berekeningen
- voorgeschreven maatregelen
- beproevingen
- observatietechnieken

3. Materialen

3.1. Beton

► 3.1.2(3) Het beton moet in overeenstemming zijn met de NBN EN 206-1 *Beton: Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit*^[10] en naar het corresponderend nationaal toepassingsdocument ^[10a]. De betonsterkteklassen en -eigenschappen zijn gegeven in [Tabel 3.1](#). In de notatie gebruikt voor de druksterkteklasse verwijst de 'C' naar beton met normale volumieke massa ($\rho \leq 2600 \text{ kg/m}^3$ ► EN 206-1 5.5.2); het eerste getal verwijst naar de cilinderdruksterkte f_{ck} en het tweede naar de kubusdruksterkte $f_{ck,cube}$.

Tabel 3.1 Betonsterkteklassen en -eigenschappen ► Tabel 3.1

Eigenschap	Sterkteklasse (MPa)								
	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
f_{ck}	12,0	16,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0
$f_{ck,cube}$	15,0	20,0	25,0	30,0	37,0	45,0	50,0	55,0	60,0
f_{cm}	20,0	24,0	28,0	33,0	38,0	43,0	48,0	53,0	58,0
f_{ctm}	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
$f_{ctk,0,05}$	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
$f_{ctk,0,95}$	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3
E_{cm} (GPa)	27,0	29,0	30,0	31,0	33,0	34,0	35,0	36,0	37,0

► 3.1.2 Alle uitdrukkingen in Eurocode 2 ^[1-4] hebben betrekking op de cilinderdruksterkte f_{ck} . Opgemerkt wordt dat het toepassingsgebied van deze publicatie beperkt is tot beton met een druksterkteklasse tot en met C50/60, zoals vermeld in de inleiding.

► 3.1.6(1) & NB De rekenwaarde van de betondruksterkte f_{cd} wordt gedefinieerd als:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c}$$

waarin:

- f_{ck} = de karakteristieke betondruksterkte
- γ_c = de partiële veiligheidsfactor voor beton
- α_{cc} = een coëfficiënt die rekening houdt met langeduureffecten op de druksterkte en met ongunstige effecten als gevolg van de manier waarop de belasting aangrijpt. Voor het nazicht van de sterkte aan buiging en/of langskracht van doorsneden in de UGT, wordt $\alpha_{cc} = 0,85$ aangenomen. Voor alle andere gevallen is $\alpha_{cc} = 1,00$.

De rekenwaarde van de betontreksterkte f_{ctd} is gelijk aan:

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} f_{ctk,0,05}}{\gamma_c}$$

met $\alpha_{ct} = 1$

► 3.1.6(2) & ANB

3.2. Betonstaal

► 3.2 De eigenschappen van betonstaal zijn weergegeven in [Tabel 3.2](#).

Er wordt opgemerkt dat Bijlage C uitgaat van waarden voor f_{yk} gelegen tussen 400 en 500 MPa.

Tabel 3.2 Eigenschappen van betonstaal ► NBN EN 1992-1-1 Bijlage C Tabel C.1-ANB ^[1a]

Productvorm		Staven en gerechte draden			Wapeningsnetten			Eis of onderschrijdingskans (%)						
Klasse		A	B	C	A	B	C	-						
Karakteristieke waarde van de vloeigrens f_{yk} of $f_{0,2k}$ (MPa)		400 tot 500						5,0						
Minimumwaarde van $k = (f_t/f_y)_k$		$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$	10,0						
Karakteristieke vervorming bij de maximale kracht ϵ_{uk} (%)		$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0						
Buigbaarheid		Heen- en terugbuigproef			Heen- en terugbuigproef			-						
Afschuifsterkte		-			$0,25 A f_{yk}$ (<i>A is de oppervlakte van de draaddoorsnede</i>)			Minimum						
Maximale afwijking van de nominale massa (afzonderlijke staaf of draad) (%)	Nominale afmeting (mm):							5,0						
	≤ 8								$\pm 6,0$					
	> 8								$\pm 4,5$					

Volgens de Belgische nomenclatuur (normen van de reeks NBN A 24 en overeenstemmende PTV's), beantwoordt de staalsoort DE 500 BS aan de klasse A en beantwoorden de staalsoorten BE 500 S en BE 500 TS aan de klasse B.

4. Duurzaamheid en betondekking

4.1. Algemeen

► 4.1(1) Een duurzame constructie moet gedurende zijn ontwerplevensduur voldoen aan de eisen van bruikbaarheid, sterkte en stabiliteit, zonder belangrijk verlies aan gebruiksnut en zonder overdreven onvoorzien onderhoud.

► 4.3(1) Teneinde de vereiste ontwerplevensduur voor de constructie te bereiken, moeten geschikte maatregelen worden getroffen om elk constructie-element te beschermen tegen de optredende omgevingsomstandigheden. ► 4.2(1) De blootstellingsvoorwaarden omvatten zowel chemische en fysische voorwaarden als mechanische belastingen.

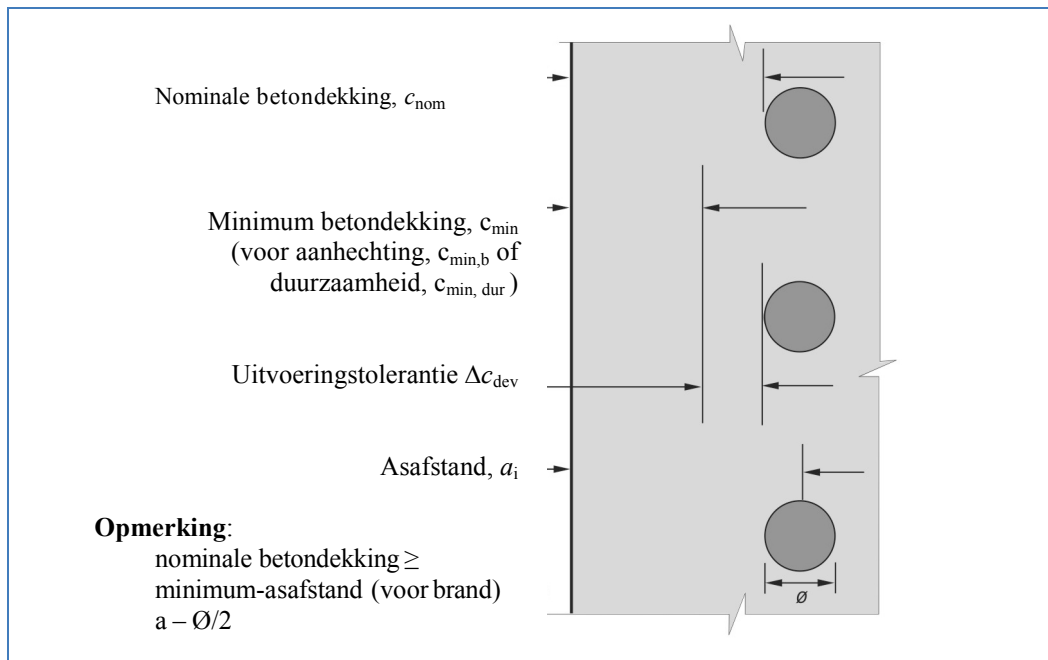
► 4.3(2) Vereisten met betrekking tot duurzaamheid moeten in acht worden genomen in alle stadia van ontwerp, berekening en constructie, inclusief de selectie van materialen, constructiedetails, uitvoering en kwaliteitsbewaking.

► 4.4.1.2(1) Voldoende betondekking moet zorgen voor:

- a) een veilige overdracht van de aanhechtkrachten (zie [Lid 4.2](#))
- b) bescherming van het staal tegen corrosie (zie [Lid 4.3](#) en [Lid 4.4](#))
- c) voldoende brandwerendheid (de vereisten met betrekking tot brand zijn gerelateerd aan de asafstand gemeten vanaf het betonoppervlak tot het middelpunt van de wapeningsstaaf) (Zie [Lid 4.5](#))

► 4.4.1.3(2) De betondekking op het betonstaal is de afstand van de buitenzijde van het staal tot het meest nabijgelegen betonoppervlak. Op tekeningen moet de nominale dekking worden aangegeven. Zoals aangegeven in [Figuur 4.1](#) moet de nominale dekking voldoen aan de minimumvereisten die voortvloeien uit de eerder genoemde aspecten a), b) en c) en, in geval van de aspecten a) en b), rekening houden met de voorziene uitvoeringstolerantie (zie [Lid 4.4](#)).

Figuur 4.1 Betondekking



4.2. Betondekking voor aanhechting, $c_{min,b}$

► 4.4.1.2(3) & ANB Teneinde de aanhechtkrachten veilig over te dragen en voldoende verdichting van het beton te verzekeren, mag de minimum dekking niet kleiner zijn dan de diameter van de wapeningsstaaf (of de gelijkwaardige diameter van een staafbundel.) Dit minimum moet worden verhoogd met 5 mm indien de grootste korrelafmeting groter is dan

32 mm.

4.3. Betondekking voor duurzaamheid, $c_{\min, \text{dur}}$

Omgevingsomstandigheden zijn geclassificeerd volgens [Tabel 4.1A](#), die gebaseerd is op NBN EN 206-1^[10]. De voor duurzaamheid vereiste minimum betondekking op wapening in beton met normale volumieke massa, rekening houdend met de verschillende milieu- en constructieclassen, wordt gegeven door $c_{\min, \text{dur}}$.

De waarden van de minimum betondekking om de duurzaamheid van gewapend beton te verzekeren, voor de constructieklasse S4 (ontwerplevensduur van 50 jaar) en voor de verschillende omgevingsklassen zijn gegeven in [Tabel 4.1B](#). Deze betondekkingen moeten vermeerderd worden met 10 mm in het geval van voorgespannen beton.

Tabel 4.1A Milieuklassen in functie van de omgevingsvoorwaarden ► [Tabel 4.1](#)

Klasse aanduiding	Beschrijving van de omgeving	Informatieve voorbeelden waar de betreffende milieuklasse zich kan voordoen
1. Geen risico op corrosie of aantasting		
X0	- beton zonder wapening of ingesloten metalen onderdelen: alle milieus behalve bij vorst-dooi, afslijting of chemische aantasting - beton met wapening of ingesloten metalen onderdelen: zeer droog	beton binnen gebouwen met zeer lage luchtvochtigheid
2 Corrosie geïnitieerd door carbonatatie		
XC1	droog of blijvend nat	- beton binnen gebouwen met lage luchtvochtigheid - beton blijvend onder water
XC2	nat, zelden droog	- betonoppervlakken langdurig in contact met water - veel funderingen (dikwijls in combinatie met een chemisch agressieve omgeving die gepast is voor de betonklasse)
XC3	matige vochtigheid	- beton binnen gebouwen met matige of hoge luchtvochtigheid - beton buiten beschut tegen regen
XC4	wisselend nat en droog	betonoppervlakken blootgesteld aan contact met water, maar die niet vallen onder milieuklasse XC2
3 Corrosie geïnitieerd door chloriden uit andere bronnen dan zeewater		
XD1	matige vochtigheid	betonoppervlakken blootgesteld aan chloriden uit de lucht
XD2	nat, zelden droog	- beton permanent ondergedompeld in chloridehoudend water, zoals bv. bij zwembaden - beton blootgesteld aan chloridehoudend industriewater
XD3	wisselend nat en droog	- brugdelen blootgesteld aan chloridehoudend spatwater; verhardingen - vloeren van parkeerplaatsen voor voertuigen
4 Corrosie geïnitieerd door chloriden uit zeewater		
XS1	blootgesteld aan zout uit de lucht, maar niet in direct contact met zeewater	constructies bij of aan de kust (tot 3 km van de kustlijn)
XS2	blijvend ondergedompeld in zeewater of brak water	delen van constructies in zee
XS3	getijde-, spat- en nevelzone	delen van constructies in zee
5 Aantasting door vorst/dooicycli met of zonder dooizouten		
XF1	matige waterverzadiging zonder dooizouten	verticale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst
XF2	matige waterverzadiging met dooizouten	verticale betonoppervlakken van wegconstructies blootgesteld aan vorst en met de lucht meegevoerde dooizouten
XF3	hoge waterverzadiging zonder dooizouten	horizontale betonoppervlakken blootgesteld aan regen en vorst

XF4	hoge waterverzadiging met dooizouten of zeewater	- wegen en brugdekken blootgesteld aan dooizouten - betonoppervlakken blootgesteld aan direct gesproeiide dooizouten en aan vorst - spatzone van constructies in zee blootgesteld aan vorst
6 Chemische aantasting		
XA1	zwak agressieve chemische omgeving	natuurlijke grond en grondwater
XA2	matig agressieve chemische omgeving	natuurlijke grond en grondwater
XA3	sterk agressieve chemische omgeving	natuurlijke grond en grondwater

Tabel 4.1B Duurzaamheidseisen voor gewapend (GB) en voorgespannen (VB) beton volgens NBN B 15-001 met waarden voor de minimum betondekking $c_{min,dur}$ vereist met betrekking tot duurzaamheid voor gewapend beton volgens ► **NBN EN 1992-1-1 ANB**.

Omgevingsklasse		Duurzaamheidseisen	$c_{min,dur}$ (mm)	Minimum cementgehalte (kg/m³)	Minimum sterkteklasse
Symbool	Omschrijving	GB of VB	GB		
		Betontype			
E0	Niet schadelijk	Niet van toepassing			
EI	Binnenomgeving	T(0,65)	15	260	C16/20
EE	Buitenomgeving				
EE1	Geen vorst	T(0,60)	25	280	C20/25
EE2	Vorst, geen contact met regen	T(0,55)	25	300	C25/30
EE3	Vorst, contact met regen	T(0,50)	30	320	C30/37
EE4	Vorst en dooizouten (aanwezigheid van ter plaatse ontdooit of opspattend of aflopend dooizouthoudend water)	T(0,45) of T(0,45)A	45	340	C35/45 C30/37
ES	Zee-omgeving				
	Geen contact met zeewater; wel contact met zeelucht (tot 3 km van kust) en/of brak water				
ES1	Geen vorst	T(0,50)	40	320	C30/37
ES2	Vorst	T(0,50)	35	320	C30/37
	Contact met zeewater				
ES3	Ondergedompelde elementen	T(0,45)	40	340	C35/45
ES4	Elementen in getijden- en spatzone	T(0,45) of T(0,45)A	45	340	C35/45 C30/37
EA	Agressieve omgeving				
EA1	Zwak agressieve chemische omgeving volgens tabel 2 van NBN EN 206-1:2001	T(0,55)		300	C25/30
EA2	Middelmatig agressieve chemische omgeving volgens tabel 2 van NBN EN 206-1:2001	T(0,50)		320	C30/37
EA3	Sterk agressieve chemische omgeving volgens tabel 2 van NBN EN 206-1:2001	T(0,45)		340	C30/37
T(0,45)A is een betontype die een luchtbelvormer bevat met een minimum luchtgehalte van het vers beton van 4,5 of 6 %, afhankelijk van D_{max} van de granulaten T(0,50) voor beton ondergedompeld in brak water T(0,60) voor beton in contact met brak water Voor geprefabriceerde betonproducten (NBN EN 13369 + NBN B 21-600=ANB), moet de sterkteklasse met een eenheid verhoogd worden.					

De waarden van $c_{min,dur}$ kunnen bekomen worden uitgaande van [Tabel 4.3](#) met constructieklasse S4 als basis en door deze klasse eventueel aan te passen volgens de aanduidingen opgenomen in [Tabel 4.2](#) (gebouwen worden verondersteld een ontwerplevensduur van 50 jaar te hebben).

Tabel 4.2 Constructieklasse ► **Tabel 4.3N-ANB**

Criterium	Milieu- en omgevingsklasse volgens Tabel 4.1					
	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/ XS3
	EI	EE1, EE2	EE3		ES1, ES2	ES3, EE4, ES4
Ontwerplevensduur 100 jaar	vermeer- dering met 2 klassen	vermeer- dering met 2 klassen	vermeer- dering met 2 klassen	vermeer- dering met 2 klassen	vermeer- dering met 2 klassen	vermeer- dering met 2 klassen
Sterkteklasse	≥ C30/37 vermindering met 1 klasse	≥ C35/45 vermin- dering met 1 klasse	≥ C40/50 vermin- dering met 1 klasse	≥ C40/50 vermin- dering met 1 klasse	≥ C40/50 vermin- dering met 1 klasse	≥ C45/55 vermin- dering met 1 klasse
Element met plaat- geometrie (1)	vermindering met 1 klasse	vermin- dering met 1 klasse	vermin- dering met 1 klasse	vermin- dering met 1 klasse	vermin- dering met 1 klasse	vermin- dering met 1 klasse
Specifieke kwaliteitsbeheersing van de betonproductie gewaarborgd (2)	vermindering met 1 klasse	vermin- dering met 1 klasse	vermin- dering met 1 klasse	vermin- dering met 1 klasse	vermin- dering met 1 klasse	vermin- dering met 1 klasse
(1) Het betreft de oppervlakken van vlakke elementen (of delen ervan) op voorwaarde dat de plaats van de wapening niet beïnvloed wordt door de uitvoeringswijze. Deze regel heeft betrekking op vlakke elementen (platen, vloeren, wanden,...) voor dewelke de aantasting door agressieve stoffen (Cl-, CO₂) slechts in één richting plaatsvindt. Deze vermindering is bijgevolg niet van toepassing op wapening die zich langs de zijvlakken van deze elementen bevindt. De diameter en de eventuele kromming (niet-rechte bekisting) van de wapening, de druk van het verse beton op de wapening, de afstand tussen de afstandshouders en de ondersteunende beugels en spelden, evenals het eventuele belopen van de wapening voor en tijdens het storten zijn verschillende elementen die bij de evaluatie van de invloed van de uitvoeringswijze op de positie van de wapening in beschouwing genomen dienen te worden.. (2) Dit geldt enkel voor geprefabriceerde elementen waarbij simultaan voldaan is aan de volgende voorwaarden: - het kwaliteitsborgingssysteem en de industriële zelfcontrole zijn in overeenstemming met lid 6 van NBN EN 13369:2004 en worden geëvalueerd door een derde partij en staan onder haar voortdurend toezicht - validering door een derde partij van de procedure en de praktische toepassingsmodaliteiten van lid 4.2.1.3. van NBN EN 13369:2004 (nabehandeling – bescherming tegen uitdroging) - het kwaliteitsborgingssysteem en de zelfcontrole behelzen metingen van de betondekking en afwijzing van niet-conforme elementen						

Tabel 4.3: Waarden van de minimale betondekkingseisen $c_{min,dur}$ met betrekking tot duurzaamheid voor betonstaal. ► Tabel 4.4N-ANB

Milieu- en omgevingsklasse volgens Tabel 4.1						
Construc-tieklasse	XC1	XC2, XC3	XC4	XD1, XS1	XD2, XS2	XD3, XS3
	EI	EE1, EE2	EE3	ES2	ES1, ES3	EE4, ES4
S1	10	10	15	20	25	30
S2	10	15	20	25	30	35
S3	10	20	25	30	35	40
S4	15	25	30	35	40	45
S5	20	30	35	40	45	50
S6	25	35	40	45	50	55

Voor gewapend beton dat blootgesteld is aan een chemisch agressieve omgeving (XA en EA) is de grootste waarde $c_{min,dur}$ die vereist is voor de andere milieu- en omgevingsklassen waaraan het beton is blootgesteld, van toepassing.

4.4. Δc_{dev} en andere toeslagen

► 4.4.1.3(1) & ANB De minimum betondekking voor aanhechting uit Lid 4.2 en voor duurzaamheid uit de Tabel 4.2 en Tabel 4.3 moet in het ontwerp als volgt worden verhoogd met een toeslag, Δc_{dev} , om de afwijkingen tijdens de uitvoering in rekening te brengen:

$\Delta c_{dev} = 10$ mm in het algemeen.

Voor geprefabriceerde betonelementen is het mogelijk om de tolerantietoeslag voor uitvoering te reduceren zodanig dat: $10 \text{ mm} \geq \Delta c_{dev} \geq 0 \text{ mm}$, indien gelijktijdig voldaan is aan de volgende drie voorwaarden:

- het kwaliteitsborgingssysteem en de industriële zelfcontrole worden geëvalueerd door een derde partij en staan onder haar voortdurend toezicht
- het kwaliteitsborgingssysteem en de zelfcontrole behelzen metingen van de betondekking en afwijzing van niet-conforme elementen
- tijdens de productie worden geschikte maatregelen, die goedgekeurd zijn door een derde partij, toegepast teneinde te verzekeren dat de Δc_{dev} die verklaard is door de producent, niet overschreden wordt

► 4.4.1.3(4) & AC & ANB Voor beton gestort op een voorbereide ondergrond (inclusief zuiverheidsbeton) moet de nominale betondekking ten minste 40 mm bedragen. Voor beton gestort in rechtstreeks contact met de grond bedraagt deze waarde 75 mm.

► 4.4.1.2(11) Voor oneffen oppervlakken (bijvoorbeeld bij zichtbare granulaten) moet de minimum betondekking uit de Tabel 4.2 en Tabel 4.3 worden vermeerderd met ten minste 5 mm.

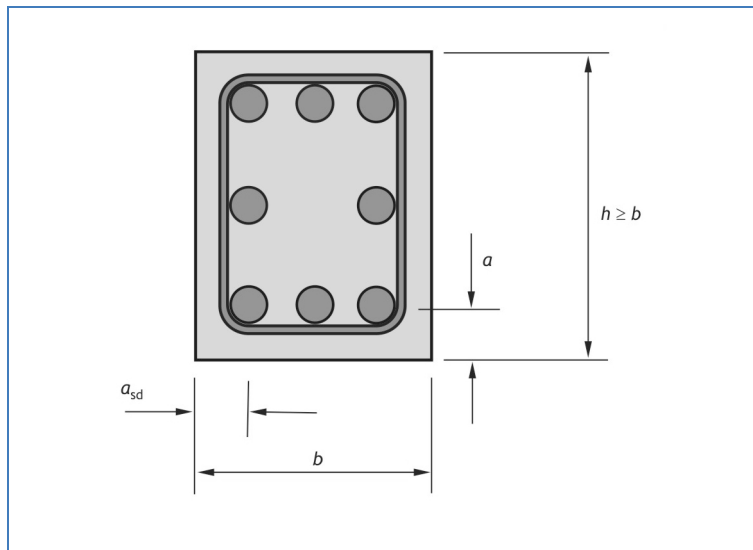
4.5. Asafstand voor brandweerstand

4.5.1. Algemeen

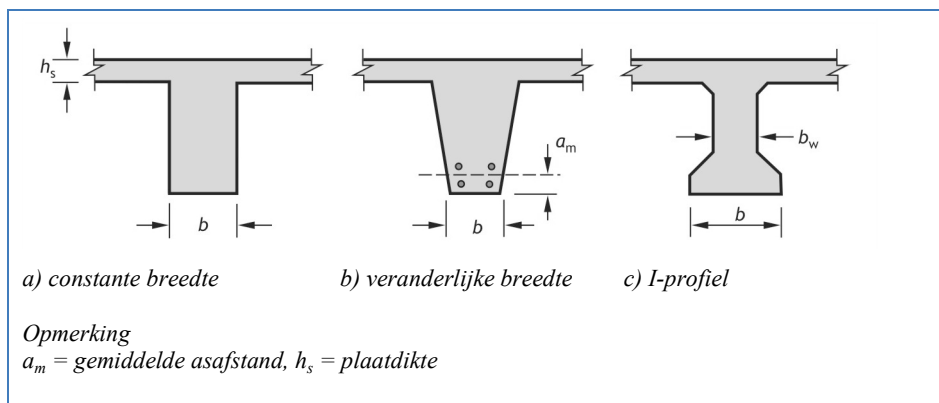
De minimum afmetingen van constructie-elementen en de minimum asafstanden vereist voor het verkrijgen van voldoende brandweerstand, zijn gedefinieerd in Figuur 4.2 en Figuur 4.3 en worden gegeven in de Tabel 4.4A tot en met Tabel 4.10. Deze zijn gebaseerd op de in NBN EN 1992-1-2^[2] en de Nationale Bijlage^[2a] getabelleerde waarden. De tabellen vermelden of de weerstand gerelateerd is aan de dragende functie, R, de integriteit, E, en/of de isolerende functie, I. Rekenmethoden voor brandweerstand worden toegelicht in Lid 4.5.10.

► NBN EN 1992-1-2: 5.2(5) De asafstand moet voor voorspanstaven met 10 mm worden verhoogd en voor voorspandraden en –strengen met 15 mm, ten opzichte van de waarden voor betonstaal.

Figuur 4.2: Dwarsdoorsnede van een constructie-element met aanduiding van de asafstand a tussen de as van de wapening en het ondervlak en de asafstand tot het zijvlak van de doorsnede a_{sd} . ► NBN EN 1992-1-2: Fig. 5.2



Figuur 4.3: Definities van de afmetingen voor verschillende vormen van een dwarsdoorsnede van een ligger ► NBN EN 1992-1-2: Fig. 5.4



4.5.2. Kolommen

► NBN EN 1992-1-2: 5.3 De brandweerstand van geschoorde constructies mag worden geverifieerd met methode A of methode B. Deze methodes hebben betrekking op rechthoekige en cirkelvormige kolommen. Methode A behelst zowel kolommen in gewapend als voorgespannen beton, terwijl methode B enkel op kolommen in gewapend beton van toepassing is.

► NBN EN 1992-1-2: 5.3.1 ANB Voor niet-geschoorde constructies mag methode A of B gebruikt worden op voorwaarde dat:

- de grenswaarden voor de effectieve lengte (kniklengte) en de slankheid gerespecteerd worden
- voor $M_{0Ed,fi}$ de maximale waarde van het eerste-orde moment over de kolomlengte aangenomen wordt

Methode A is eenvoudiger om toe te passen dan methode B, maar heeft een beperkter toepassingsgebied betreffende de excentriciteit van de normaalkracht:

- als de excentriciteit $e \leq 0,4 h$ (of b), mag methode A worden gebruikt (zie [Tabel 4.4A](#))

Deze tabel verschilt van degene die in de EN gegeven wordt, teneinde rekening te

houden met de keuze voor $\alpha_{cc} = 0,85$ in de Belgische norm en om aan de gebruikers een directe aflezing van de oplossingen aan te bieden.

- als $e \leq 0,25 b$ en $e < 100$ mm mag methode B ($b \leq h$) worden gebruikt ([Tabel 4.4B](#))
- als $0,25 b < e \leq 0,5 b$ mag de aanvullende informatie bij methode B ($b \leq h$), zoals vermeld in NBN EN 1992-1-2, bijlage C, worden gebruikt

► NBN EN 1992-1-2: 5.3.2 [Tabel 4.4A](#) is van toepassing onder de volgende voorwaarden:

- de eerste-orde excentriciteit onder brandcondities moet $\leq 0,4 b$ (of h)
De excentriciteit onder brandcondities mag gelijk worden gesteld aan de excentriciteit die geldt bij het ontwerpen onder normale temperatuurcondities.
- de effectieve lengte van de kolom onder brandcondities $l_{0,fi} \leq 3$ m. Bij geschoorde draagconstructies in gebouwen, waarvan de duur van de blootstelling aan een standaardbrand hoger is dan 30 min, mag de waarde van $l_{0,fi}$ gelijk worden gesteld aan 50 % van de werkelijke lengte bij tussenverdiepingen en tussen 50 % en 70 % van de werkelijke lengte bij de bovenste verdieping. In de ANB is ook een tabel opgenomen voor $l_{0,fi} \leq 2$ m. De directe toepassing van vergelijking (5.7) van de EN laat toe om de brandweerstand van kolommen met een effectieve lengte tot 6 m te verifiëren
- se wapeningsdoorsnede is niet groter dan 4 % van de betondoorsnede

Tabel 4.4A: Minimum afmetingen en asafstanden voor kolommen met een rechthoekige of cirkelvormige doorsnede voor $l_{0,fi} \leq 3 \text{ m}$ ► NBN EN 1992-1-2: Tabel 5.2.a.2 – ANB

Standaard brandweerstand	Kolom-breedte	Asafstand a (mm) van de hoofdwapening						b_{min} / a voor kolom blootgesteld aan één zijde
		Kolom aan meer dan één zijde blootgesteld						
		$\mu_{fi} = 0,2$		$\mu_{fi} = 0,5$		$\mu_{fi} = 0,7$		
R (min)	b (mm)	$n_{staven} = 4$	$n_{staven} = 8$	$n_{staven} = 4$	$n_{staven} = 8$	$n_{staven} = 4$	$n_{staven} = 8$	
R 30	200	25	25	25	25	26	25	140/25
	250	25	25	25	25	25	25	
	300	25	25	25	25	25	25	
	350	25	25	25	25	25	25	
	400	25	25	25	25	25	25	
	450	25	25	25	25	25	25	
R 60	200	25	25	32	25	42	35	140/25
	250	25	25	29	25	39	32	
	300	25	25	26	25	37	29	
	350	25	25	25	25	34	26	
	400	25	25	25	25	31	25	
	450	25	25	25	25	28	25	
R 90	200	29	25	45	37	-	-	140/25
	250	26	25	42	34	52	45	
	300	25	25	39	32	49	42	
	350	25	25	36	29	47	39	
	400	25	25	33	26	44	36	
	450	25	25	31	25	41	34	
R 120	200	40	33	-	-	-	-	160/35
	250	37	30	53	45	63	56	
	300	35	27	50	43	61	53	
	350	32	25	47	40	58	50	
	400	29	25	45	37	55	47	
	450	26	25	42	34	52	45	
R 180	200	-	-	-	-	-	-	210/55
	250	56	49	-	-	-	-	
	300	54	46	69	62	-	-	
	350	51	43	66	59	77	69	
	400	48	40	64	56	74	66	
	450	45	38	61	53	71	64	
R 240	200	-	-	-	-	-	-	270/70
	250	-	-	-	-	-	-	
	300	70	62	-	-	-	-	
	350	67	60	-	75	-	-	
	400	64	57	80	72	-	-	
	450	61	54	77	69	-	80	

μ_{fi} is de verhouding tussen de rekenwaarde van de normaalkracht onder brandcondities en de rekenwaarde van de draagkracht van de kolom bij normale temperaturen.

Opmerking 1: Wanneer de asafstand groter is dan of gelijk aan 70 mm, moet eventueel een huidwapening geplaatst worden.

Opmerking 2: Voor kolommen in voorgespannen beton moet bij de waarde van de asafstand a zoals vermeld in de tabel, 10 mm (staven) of 15 mm (draden en strengen) toegevoegd worden.

► NBN EN 1992-1-2: 5.3.3 Tabel 4.4B is van toepassing indien:

- De excentriciteit onder brandcondities,

$$e = M_{0Ed,fi} / N_{0Ed,fi} \leq 0,25 b \leq 100 \text{ mm.}$$

waarin:

$M_{0Ed,fi}$ en $N_{0Ed,fi}$ = het eerste-orde moment en de axiale belasting onder brandcondities.

$N_{0Ed,fi}$ = $0,7 N_{0Ed}$ bij gebrek aan een nauwkeuriger berekening.

De excentriciteit onder brandcondities mag gelijk worden gesteld aan die bij normale temperatuur.

- De slankheid onder brandcondities, $\lambda_{fi} = l_{0,fi} / i \leq 30$ waarin:

$l_{0,fi}$ = de effectieve lengte onder brandcondities en

i = de traagheidsstraal (zie Lid 5.6.1).

- De mechanische wapeningsverhouding bij normale temperatuur

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \leq 1$$

Tabel 4.4B Brandweerstand: kolommen met rechthoekige of ronde doorsnede - methode B

► NBN EN 1992-1-2: Tabel 5.2b

Standaard-brandweerstand	ω	Minimum afmetingen (mm)			
		Kolombreedte b / asafstand a van de hoofdwapening			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
R 30	0,1	150/25 ^a	150/25 ^a	200/30 à 250/25 ^a	300/30 à 350/25 ^a
	0,5	150/25 ^a	150/25 ^a	150/25 ^a	200/30 à 250/25 ^a
	1,0	150/25 ^a	150/25 ^a	150/25 ^a	200/30 à 300/25 ^a
R 60	0,1	150/30 tot 200/25 ^c	200/40 tot 300/25 ^a	300/40 tot 500/25 ^a	500/25 ^a
	0,5	150/25 ^a	150/35 tot 200/25 ^a	250/35 tot 350/25 ^a	350/40 tot 550/25 ^a
	1,0	150/25 ^a	150/30 tot 200/25 ^a	200/40 tot 400/25 ^a	300/50 tot 600/30
R 90	0,1	200/40 tot 250/25 ^c	300/40 tot 400/25 ^a	500/50 tot 550/25 ^a	550/40 tot 600/25 ^a
	0,5	150/35 tot 200/25 ^c	200/45 tot 300/25 ^a	300/45 tot 550/25 ^a	500/50 tot 600/40
	1,0	200/25 ^a	200/40 tot 300/25 ^a	250/40 tot 550/25 ^a	500/50 tot 600/45
R 120	0,1	250/50 tot 350/25 ^c	400/50 tot 550/25 ^a	550/25 ^a	550/60 tot 600/45
	0,5	200/45 tot 300/25 ^c	300/45 tot 550/25 ^a	450/50 tot 600/25 ^a	500/60 tot 600/50
	1,0	200/40 tot 250/25 ^c	250/50 tot 400/25 ^a	450/45 tot 600/30	600/60
R 240	0,1	500/60 tot 550/25 ^c	550/40 tot 600/25 ^a	600/75	^b
	0,5	450/45 tot 500/25 ^c	550/55 tot 600/25 ^a	600/70	^b
	1,0	400/45 tot 500/25 ^c	500/40 tot 600/30	600/60	^b

Legende
^a Meestal zullen de bepalingen uit NBN EN 1992-1-1 bepalend zijn voor de betondekking.
^b Een breedte groter dan 600 mm is vereist. Een specifieke controle op knik is noodzakelijk.
 $n = \frac{N_{0Ed,fi}}{0,7(A_c f_{cd} + A_s f_{yd})}$ = belastingsniveau.

4.5.3. Dragende wanden

Verwezen wordt naar [Tabel 4.5](#), waarbij:

► NBN EN 1992-1-2: 5.4.2(3) en 5.4.2 ANB

- de gegeven wanddikte mag worden gereduceerd met 10 % als kalksteenhoudend toeslagmateriaal wordt gebruikt
- de verhouding tussen wandhoogte en wanddikte niet groter is dan 40
- μ_{fi} is de verhouding tussen de rekenwaarde van de normaalkracht onder brandcondities en de rekenwaarde van de draagkracht van de wand bij normale temperatuur. Deze mag gelijk worden gesteld aan 0,7 hetgeen een conservatieve aanname is.

Tabel 4.5 Brandweerstand van wanden, vastgehouden aan de kop ► NBN EN 1992-1-2: Tabel 5.4

Standaard brandweerstand: dragende functie, R ; integriteit, E ; thermische isolatie, I	Minimum afmetingen (mm)			
	Wanddikte / asafstand a van de hoofdwapening			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	Wand blootgesteld aan één zijvlak	Wand blootgesteld aan twee zijvlakken	Wand blootgesteld aan één zijvlak	Wand blootgesteld aan twee zijvlakken
REI 30	100/10 [*]	120/10 [*]	120/10 [*]	120/10 [*]
REI 60	110/10 [*]	120/10 [*]	130/10 [*]	140/10 [*]
REI 90	120/20 [*]	140/10 [*]	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60

* Meestal zullen de eisen uit NBN EN 1992-1-1 maatgevend zijn voor de betondekking.

4.5.4. Balken

Verwezen wordt naar [Tabel 4.6](#) waarbij:

- a = asafstand en $b_{\min}$ = de breedte van de balk
- de tabel van toepassing is voor balken met constante breedte, met veranderlijke breedte en voor balken met een I-doorsnede
Teneinde de wapening te beschermen, geeft de norm NBN EN 1992-1-2 toepassingsregels met afdoende afmetingen van de dwarsdoorsnede voor balken met een I-doorsnede en voor deze met openingen doorheen hun lijf.
- ► **NBN EN 1992-1-2: 5.6.3(2)** Indien bij de berekening van doorgaande balken bij normale temperatuur, de herverdeling van de buigende momenten groter is aangenomen dan 15 %, dan moeten deze balken als eenvoudig opgelegd beschouwd worden, zonder buigend moment op de steunpunten.
- ► **NBN EN 1992-1-2: 5.6.3(3)** Bij doorgaande liggers met een brandwerendheidsklasse van R90 of hoger mag, over een afstand gelijk aan $0,3 l_{\text{eff}}$ vanaf het hart van elk tussensteunpunt, de doorsnede van het betonstaal bovenin de doorsnede niet kleiner zijn dan de volgende waarde:

$$A_{s,\text{req}}(x) = A_{s,\text{req}}(0) \left(1 - \frac{2,5x}{l_{\text{eff}}} \right)$$

waarin:

- x = de afstand van de beschouwde doorsnede tot het hart van het steunpunt
- $A_{s,\text{req}}(0)$ = de doorsnede van het betonstaal vereist volgens een ontwerp bij normale temperatuur
- $A_{s,\text{req}}(x)$ = de minimum doorsnede van de bovenwapening vereist in de doorsnede gelegen op een afstand x van de as van het steunpunt, maar niet minder dan de hoeveelheid vereist volgens een ontwerp bij normale temperatuur
- L_{eff} = de grootste van de effectieve lengtes van de twee aangrenzende overspanningen

- ► **NBN EN 1992-1-2: 5.6.3(5)** De lijfdikte b_w van I-vormige doorgaande balken mag niet kleiner zijn dan de minimum waarde $b_{\min}$ die vermeld is in de eerste kolom van [Tabel 4.6](#) met betrekking tot doorgaande liggers en dit over een afstand van $2h$ gemeten vanaf een tussensteunpunt, tenzij kan worden aangetoond dat explosief spatten niet zal optreden.
- ► **NBN EN 1992-1-2: 5.6.3(6)** Bij de brandwerendheidsklassen R120 - R240 moet de breedte van doorlopende liggers bij het eerste tussensteunpunt minimaal gelijk zijn aan 250 mm bij R120 of 480 mm bij R240, indien aan de volgende twee voorwaarden gelijktijdig voldaan is:
 - a) de eindoplegging vertoont geen enkele buigweerstand (noch op het niveau van de verbinding noch van de balk)
 ► **9.2.1.2(1)** In dit kader wordt erop gewezen dat, indien een balk monolithisch verbonden is met zijn steunpunten, de doorsneden bij de opleggingen moeten berekend zijn op een buigend moment als gevolg van gedeeltelijke inklemming, van ten minste 0,15 het maximale veldmoment, zelfs indien in het ontwerp is uitgegaan van vrije opleggingen
 - b) De optredende dwarskracht ter plaatse van het eerste tussensteunpunt bij normale temperatuur voldoet aan $V_{\text{Ed}} > 0,67 V_{\text{Rd,max}}$, waarin $V_{\text{Rd,max}}$ de maximale weerstandbiedende dwarskracht is corresponderend met verbrijzeling van de betondrukschoren, zie [Lid 7.3.2](#)

Tabel 4.6 Brandwerendheid van balken ► NBN EN 1992-1-2: Tabel 5.5 & 5.6 ANB

Standaard- brand- weerstand	Mogelijke combinaties van minimum afmetingen b_{min} en a (mm)									
	Afm.	Lijfdikte b_{wmin}	Vrij opgelegde balken				Doorgaande balken			
			a	a	a	a	a	a		
R 30	$b_{min}=$ $a=$	80	80 25	120 20	160 15*	200 15*	80 15*	160 12*		
R 60	$b_{min}=$ $a=$	100	120 40	160 35	200 30	300 25	120 25	200 12*		
R 120	$b_{min}=$ $a=$	120	200 65	240 60	300 55	500 50	200 45	300 35	450 35	500 30
R 240	$b_{min}=$ $a=$	160	280 90	350 80	500 75	700 70	280 75	500 60	650 60	700 50

Legende:
 b_{min} = minimum breedte van de balk of van de flens
 a = gemiddelde asafstand van de wapening tot het betonoppervlak

^a geval waarbij de balkbreedte gelijk is aan b_{min} en de balk slechts één wapeningslaag bevat; in dit geval is a_{sd} , de wapeningsafstand tot de zijkant van de balk voor hoekstaven, minstens gelijk aan $a + 10$ mm.

Voor voorgespannen balken moet de asafstand uit de tabel, verhoogd worden met 10mm (staven) of 15 mm (draden en strengen).

* Meestal zullen de eisen uit NBN EN 1992–1–1 maatgevend zijn voor de betondekking.

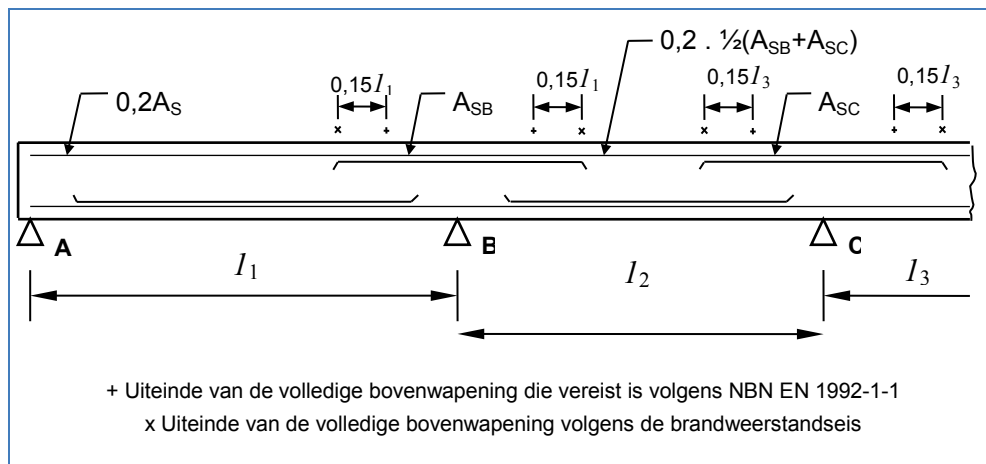
4.5.5. Massieve platen

Verwezen wordt naar [Tabel 4.7](#), waarin:

- NBN EN 1992-1-2: 5.7.1(2) De plaatdikte h_s is som van de dikte van de plaat en de dikte van elke niet-brandbare vloerafwerkingslaag. Deze waarde laat toe om de scheidende functie op een voldoende manier te verzekeren (criteria E en I). Voor de dragende functie (criterium R), mag enkel de nodige dikte van de betonplaat, berekend volgens NBN EN 1992-1-1, in aanmerking genomen worden.
- l_x en l_y zijn de overspanningen van een in twee richtingen dragende plaat (twee onderling loodrechte richtingen), waarbij l_y de grootste overspanning is.
- NBN EN 1992-1-2: 5.7.2(2) Bij in twee richtingen dragende platen heeft de wapeningsafstand betrekking op het betonstaal in de meest aan de buitenzijde gelegen laag.
- NBN EN 1992-1-2: Tabel 5.8 De asafstand a voor in twee richtingen dragende platen heeft betrekking op platen die aan alle vier de randen worden ondersteund. Is dit niet het geval, dan moeten zij worden beschouwd als zijnde in één richting dragende platen.
- NBN EN 1992-1-2: 5.7.3(2) & ANB De afmetingen gegeven voor doorgaande in één richting of in twee richtingen dragende platen zijn van toepassing als de herverdeling van buigende momenten niet groter is dan 15 % bij de berekening bij normale temperatuur. Zo niet, dan moet elk veld worden beschouwd als zijnde vrij opgelegd.

Teneinde de vorming van brosse scharnieren te vermijden en de vorming van plastische scharnieren te bevorderen, is het nodig om voor de bovenwapening de volgende regels toe te passen. De bovenwapening moet voldoen aan de volgende eisen (zie fig. 5.7.a-ANB):

- ten minste 20 % van de bovenwapening die vereist is volgens NBN EN 1992-1-1 moet doorgetrokken worden over alle overspanningen
- de bovenwapening ter plaatse van de steunpunten met verlengd worden over een afstand $0,15 l_{eff}$ voorbij hetgeen nodig is volgens NBN EN 1992-1-1
- men moet vermijden om boven steunpunten meer wapening te plaatsen dan hetgeen vereist is volgens NBN EN 1992-1-1

Figuur 4.4: Schikking van de bovenwapening (gekozen voorbeeld: $l_1 > l_2$ en $l_3 > l_2$)

- **NBN EN 1992-1-2: 5.7.3(3)** De volgende aanvullende eis is van toepassing op doorgaande massieve platen: minimum steunpuntwapening $A_s \geq 0,005 A_c$ moet worden aangebracht boven een tussensteunpunt als aan één van volgende punten voldaan is:
 - koudvervormd betonstaal wordt gebruikt
 - er geen belemmering van de rotatie is bij de eindopleggingen van een plaat met twee velden
 - herverdeling van belastingseffecten in de dwarsrichting niet mogelijk is

Tabel 4.7 Brandweerstand van in één richting en in twee richtingen dragende massieve platen

► **NBN EN 1992-1-2: Tabel 5.8 en 5.7.3(1)**

Standaard brandweerstand: dragende functie, R ; integriteit, E ; thermische isolatie, I	Minimum afmetingen (mm)				
	Plaatdikte l_s	Asafstand a tot het ondervlak van de plaat (vrij opgelegd)		Asafstand a tot het ondervlak van de plaat (doorgaande platen)	
		in één richting dragend	in twee richtingen dragend		
$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$				
REI 60	80	20	10	15	10
REI 90	100	30	15	20	15
REI 120	120	40	20	25	20
REI 240	175	65	40	50	40

Voor voorgespannen platen moet de asafstand uit de tabel, verhoogd worden met 10 mm (staven) of 15 mm (draden en strengen).

4.5.6. Vlakke plaatvloeren rustend op kolommen

Verwezen wordt naar [Tabel 4.8](#), waar:

- **NBN EN 1992-1-2: 5.7.4(3)** De plaatdikte h_s = som van de dikte van de dragende plaat met uitsluiting van alle afwerkingslagen.
- **NBN EN 1992-1-2: 5.7.4(1)** De afmetingen gegeven in [Tabel 4.8](#) zijn alleen van toepassing als in het ontwerp bij normale temperatuur de momentenherverdeling niet groter is dan 15 %. Als hieraan niet wordt voldaan, moet de asafstand voor de in één richting dragende platen uit [Tabel 4.7](#) worden aangehouden.
- **NBN EN 1992-1-2: 5.7.4(4)** De asafstand heeft betrekking op de afstand tussen de as van de meest naar buiten gelegen wapeningslaag en het ondervlak.

- **NBN EN 1992-1-2: 5.7.4(2)** Bij brandweerstandsklassen REI90 en hoger moet continue bovenwapening voorzien worden over de volledige overspanningen in de kolomstroken. De doorsnede van deze wapening moet minstens 20 % bedragen van de totale bovenwapening aanwezig boven een tussensteunpunt, die noodzakelijk is volgens een ontwerp bij normale temperatuur.

Tabel 4.8 Brandweerstand van vlakke plaatvloeren

► **NBN EN 1992-1-2: Tabel 5.9**

Standaard brandweerstand: dragende functie, R ; integriteit, E ; thermische isolatie, I	Minimum afmetingen (mm)	
	Plaatdikte h_s	Asafstand a
REI 60	180	15
REI 90	200	25
REI 120	200	35
REI 240	200	50

4.5.7. In één richting dragende ribbenvloeren

► **NBN EN 1992-1-2: 5.7.5(1)** Voor vrij opgelegde in één richting dragende ribbenvloeren, zijn [Lid 4.5.4](#) en [Tabel 4.6](#) van toepassing voor de ribben en de kolommen " h_s " en " $1,5 < l_y/l_x \leq 2$ " van [Tabel 4.7](#) voor de flenzen.

► **NBN EN 1992-1-2: 5.7.5(5)** Voor doorgaande ribbenvloeren moet de bovenwapening geplaatst worden in de bovenste helft van de flens.

4.5.8. In twee richtingen dragende ribbenvloeren

Verwezen wordt naar de [Tabel 4.9](#) en [Tabel 4.10](#), waarbij:

- **NBN EN 1992-1-2: 5.7.5(3)** de tabellen zijn van toepassing op platen die voornamelijk worden onderworpen aan een gelijkmatig verdeelde belasting
- de asafstand gemeten ten opzichte van het zijvlak van een rib, a , moet minimaal gelijk zijn aan $a + 10$ mm.

► **NBN EN 1992-1-2: 5.7.5(6)** [Tabel 4.9](#) is van toepassing op vrij opgelegde ribbenvloeren. Hij is eveneens van toepassing op ribbenvloeren met ten minste één ingeklemde zijde en met een standaardbrandweerstand van minder dan REI180, waarbij de detaillering van de bovenwapening niet voldoet aan de eisen gesteld in [Lid 4.5.4](#), vierde punt.

Tabel 4.9 Brandweerstand voor vrij opgelegde ribbenvloeren die in twee richtingen dragen

► **NBN EN 1992-1-2: Tabel 5.10**

Standaard brandweerstand: dragende functie, R ; integriteit, E ; thermische isolatie, I	Minimum afmetingen (mm)			
	Mogelijke combinaties van ribbreedte b_{min} en asafstand a			Plaatdikte h_s en asafstand a in de flens
REI 60	$b_{min} =$ $a =$	100 35	120 25	≥ 200 15
REI 90	$b_{min} =$ $a =$	120 45	160 40	≥ 250 30
REI 120	$b_{min} =$ $a =$	160 60	190 55	≥ 300 40
REI 240	$b_{min} =$ $a =$	280 90	350 75	≥ 500 70
Voor voorgespannen ribvloeren moet de asafstand uit de tabel, verhoogd worden met 10 mm (staven) of 15 mm (draden en strengen).				

Verder is [Tabel 4.10](#) van toepassing op ribbenvloeren met ten minste één ingeklemde zijde:

- **NBN EN 1992-1-2: 5.7.5(5)** De bovenwapening moet geplaatst worden in de bovenste helft van de flens.
- **NBN EN 1992-1-2: 5.7.5(7)** Voor alle genormaliseerde brandweerstandsklassen mag over een afstand gelijk aan $0,3 l_{\text{eff}}$ vanaf het hart van elk tussensteunpunt, de doorsnede van het betonstaal bovenin de doorsnede niet kleiner zijn dan

$$A_{s,\text{req}}(x) = A_{s,\text{req}}(0) \left(1 - \frac{2,5x}{l_{\text{eff}}} \right)$$

zoals vermeld in [Lid 4.5.4](#). Als niet aan deze detailleringseis wordt voldaan, moet de plaat worden beschouwd als zijnde vrij opgelegd.

Tabel 4.10 Brandweerstand: in twee richtingen dragende doorgaande vloeren met ten minste één ingeklemde zijde ► **NBN EN 1992-1-2: Tab. 5.11**

Standaard brandweerstand: dragende functie, R ; integriteit, E ; thermische isolatie, I	Minimum afmetingen (mm)			
	Mogelijke combinaties van ribbreedte b_{min} en asafstand a			Plaatdikte h_s en asafstand a in de flens
REI 60	$b_{\text{min}} =$ $a =$	100 25	120 15	≥ 200 10
REI 90	$b_{\text{min}} =$ $a =$	120 35	160 25	≥ 250 15
REI 120	$b_{\text{min}} =$ $a =$	160 45	190 40	≥ 300 30
REI 240	$b_{\text{min}} =$ $a =$	450 70	700 60	$h_s = 175$ $a = 40$

Voor voorgespannen ribvloeren moet de asafstand uit de tabel, verhoogd worden met 10 mm (staven) of 15 mm (draden en strengen).

4.5.9. Betondekking voor brandweerstand bij meer dan 15 % herverdeling

[Tabel 4.6 \(balken\)](#), [Tabel 4.7 \(platen\)](#) en [Tabel 4.8 \(vlakke plaatvloeren\)](#) zijn beperkt in hun toepassing omdat, bij het ontwerp voor normale temperatuur, de herverdeling van buigende momenten de 15 % niet mag overschrijden.

Voor liggers (en doorgaande ribbenvloeren) waar de herverdeling de 15 % overschrijdt, geldt dat deze moeten worden behandeld als waren deze vrij opgelegd of dat de rotatiecapaciteit bij de opleggingen moet worden gecontroleerd of dat een nauwkeuriger berekening nodig is om te bepalen in welke doorsnede de wapeningsstaven mogen geschorst worden (bijvoorbeeld door gebruik te maken van NBN EN 1992-1-2, bijlage E).

4.5.10. Ontwerpen op brand

► **NBN EN 1992-1-2: 4.2, 4.3** NBN EN 1992-1-2 staat toe dat eenvoudige en geavanceerde rekenmethoden worden gebruikt om de weerstand van een doorsnede bij brand te bepalen. Ontwerpen bij brand is gebaseerd op het verifiëren dat de belastingseffecten bij brand niet groter zijn dan de weerstanden bij brand na een zekere tijd, t , hetgeen wil zeggen dat $E_{d,\text{fi}} \leq R_{d,\text{fi}}(t)$. Hierbij geldt:

- de belastingen worden ontleend aan NBN EN 1991-1-2^[6]
- de analyse van het constructie-element is gebaseerd op de vergelijking $E_{d,\text{fi}} = \eta_{\text{fi}} E_d$

waarin:

E_d = de rekenwaarde van de overeenkomstige kracht of moment bij een ontwerp bij normale temperatuur

η_{fi} = de reductiefactor voor de rekenwaarde van het belastingsniveau bij de betreffende brand

Vereenvoudigde rekenmethoden zijn bijvoorbeeld de 500 °C isotherm methode, de zonemethode en het nazicht van knik van kolommen. Deze methoden en de geavanceerde rekenmethoden gebruikt voor zeer complexe constructies, vallen buiten het toepassingsgebied van deze publicatie.

5. Constructieve berekening

5.1. Algemeen

► 5.1.1 Het doel van een constructieve berekening is het bepalen van de verdeling van de snedekrachten en –momenten, de vervormingen en de doorbuigingen over de gehele of een deel van de constructie en de maatgevende ontwerpsituaties te bepalen voor alle doorsneden.

5.2. Schematisering van de constructie

5.2.1. Definities

► 5.3.1 Voor gebouwen zijn de volgende bepalingen van toepassing:

- ► 5.3.1(3) Een balk is een element waarvan de overspanning niet kleiner is dan driemaal de totale hoogte van de doorsnede; anders moet het element worden beschouwd als een gedrongen ligger.
- ► 5.3.1(4) Een plaat is een element waarvan de lengte en breedte niet kleiner zijn dan vijfmaal de totale plaatdikte.
- ► 5.3.1(5) Een in één richting dragende plaat heeft ofwel twee vrije (niet-opgelegde) en praktisch evenwijdige zijden of, indien op vier zijden opgelegd, een langste overspanning die groter is dan tweemaal de kortste overspanning.
- ► 5.3.1(6) Ribben- of cassettenvloeren behoeven voor de berekening niet te worden opgedeeld in afzonderlijke elementen, indien:
 - de hart-op-hartafstand van de ribben niet groter is dan 1500 mm
 - de hoogte van de rib onder de flens (spiegel) niet groter is dan viermaal zijn breedte
 - de dikte van de flens ten minste gelijk is aan de grootste waarde van 1/10 van de vrije afstand tussen de ribben en 50 mm (40 mm indien tussen de ribben holle blokken op blijvende wijze zijn aangebracht)
 - dwarsribben zijn aangebracht met een vrije tussenafstand die niet groter is dan tienmaal de totale dikte van de plaat
- ► 5.3.1(7) Een kolom is een element waarvan de langste zijde van de doorsnede niet groter is dan viermaal de kortste zijde en waarvan de hoogte ten minste gelijk is aan driemaal de langste zijde van de doorsnede; anders moet het element worden beschouwd als een wand.

5.2.2. Meewerkende flensbreedte

► 5.3.2.1(2) De meewerkende breedte van een flens, b_{eff} , wordt berekend op basis van de afstand l_0 tussen momentennulpunten zoals aangegeven in [Figuur 5.1](#) en de afmetingen aangeduid in [Figuur 5.2](#).

► 5.3.2.1(3)

$$b_{\text{eff}} = b_w + b_{\text{eff},1} + b_{\text{eff},2}$$

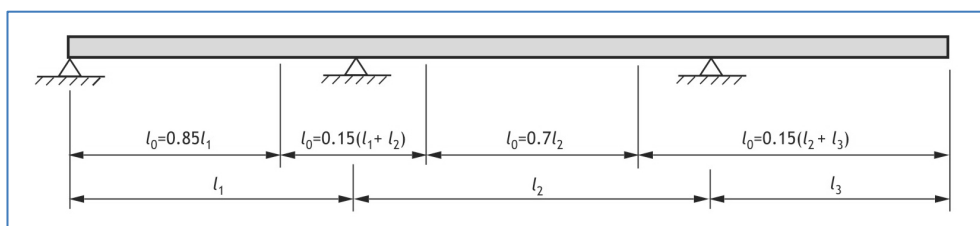
waarin:

$$b_{\text{eff},1} = (0,2 b_1 + 0,1 l_0) \text{ mits } \leq 0,2 l_0 \text{ en } \leq b_1$$

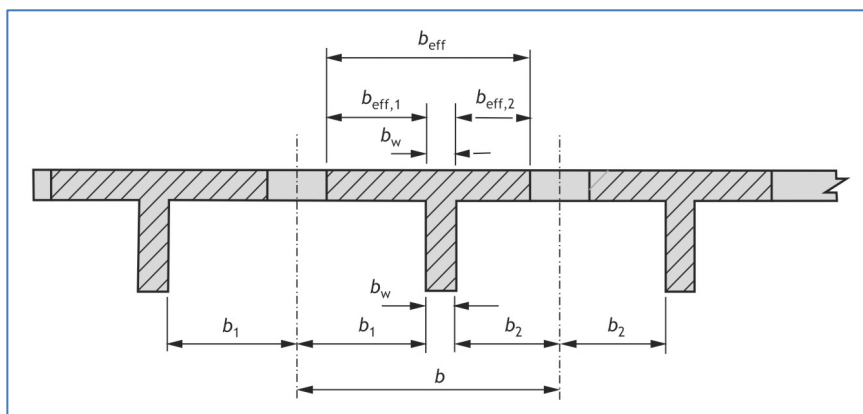
$$b_{\text{eff},2} = (0,2 b_2 + 0,1 l_0) \text{ mits } \leq 0,2 l_0 \text{ en } \leq b_2$$

is te berekenen op overeenkomstige wijze als $b_{\text{eff},1}$ indien b_1 wordt vervangen door b_2 .

Figuur 5.1: Definitie van l_0 voor het berekenen van de meewerkende flensbreedte ► Fig. 5.2

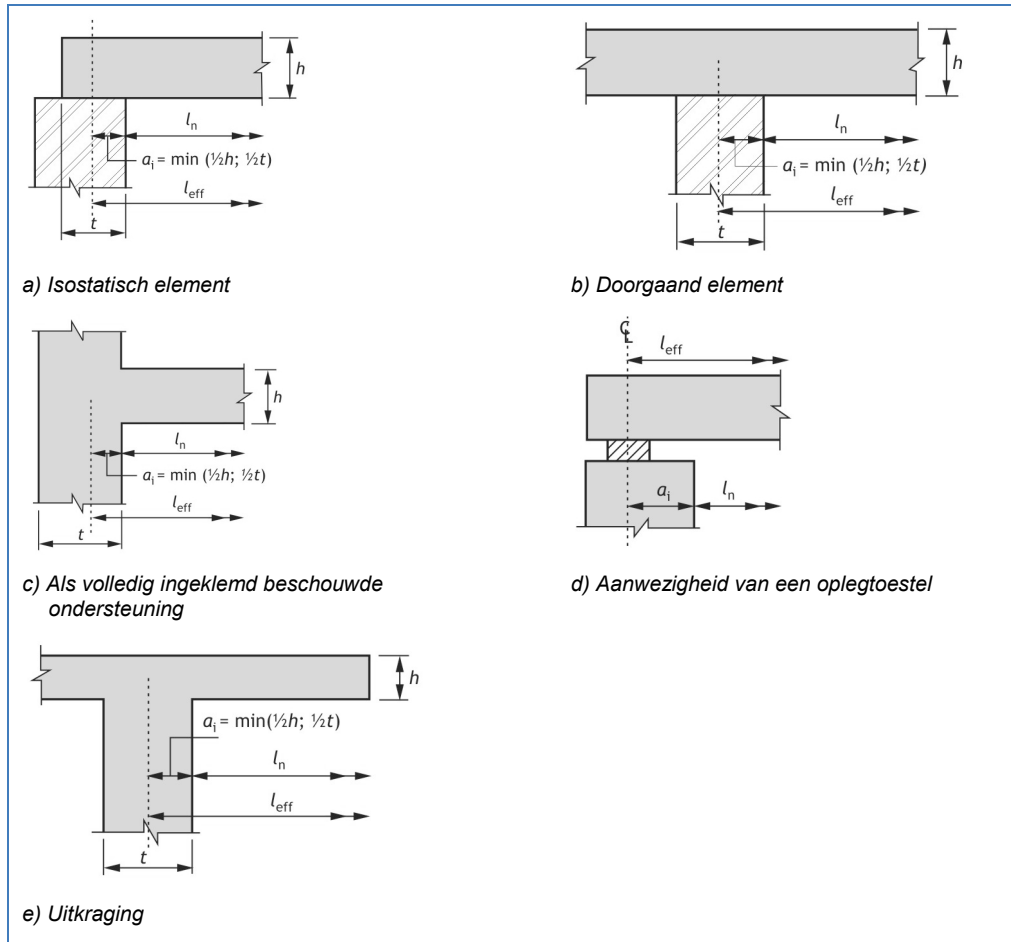


Figuur 5.2 Parameters voor de bepaling van de meewerkende flensbreedte ► Fig. 5.3



5.2.3. Theoretische overspanning

► 5.3.2.2 De theoretische overspanning, l_{eff} , is de som van de afstand tussen de dagvlakken van de ondersteuning l en een tolerantie a bij elke oplegging zoals aangegeven in [Figuur 5.3](#).

Figuur 5.3 Theoretische overspanning (l_{eff}) voor verschillende ondersteuningscondities ► Fig. 5.4

5.3. Berekeningsmethoden

5.3.1. Uiterste grenstoestanden (UGT)

► 5.1.1(6) AC De berekeningsmethode moet geschikt zijn voor het te beschouwen probleem. De volgende berekeningsmethodes worden gewoonlijk gebruikt: lineair-elastische analyse, lineair-elastische analyse met beperkte herverdeling, niet-lineaire analyse en plastische analyse.

5.3.1.1. Lineair-elastische analyse

Een lineair-elastische berekening mag worden uitgevoerd uitgaande van: ► 5.4(2)

- ongescheurde doorsneden, die vlak blijven na vervorming (berekening met de bruto-betonddoorsnede)
- lineaire spanning-vervormingsrelaties
- gemiddelde waarden van de elasticiteitsmodulus

5.3.1.2. Lineair-elastische analyse met beperkte herverdeling

► 5.5(3) De momenten in de UGT, bepaald op basis van een lineair-elastische analyse, mogen worden herverdeeld, op voorwaarde dat de verkregen verdeling van de momenten in evenwicht blijft met de optredende belastingen.

► 5.5(4) & ANB In doorgaande balken of platen die overwegend zijn onderworpen aan buiging en een verhouding tussen de lengtes van aangrenzende overspanningen hebben in een bereik van 0,5 tot 2,0 mogen voor beton met $f_{ck} \leq 50$ MPa de volgende regels worden toegepast

$\delta \geq 0,44 + 1,25 x_u/d \geq 0,7$ indien wapening van de klasse B of C wordt gebruikt

$\delta \geq 0,54 + 1,25 x_u/d \geq 0,8$ indien wapening van de klasse A wordt gebruikt

waarin:

- δ = verhouding tussen het herverdeelde moment en het lineair-elastisch berekend moment
- x_u = de hoogte van de drukzone in de uiterste grenstoestand na herverdeling
- d = de nuttige hoogte van de doorsnede

In het geval dat geen herverdeling in rekening gebracht wordt ($\delta = 1$), leidt de toepassing van deze regel tot de volgende beperking van de verhouding van de hoogte van de drukzone tot de nuttige hoogte: $x_u/d \leq 0,45$

►5.5(6) Voor het berekenen van kolommen moeten de elastische momenten uit de raamwerkberekening zonder enige herverdeling worden aangehouden.

5.3.1.3. Plastische analyse

►5.6.1(3)P Een plastische berekening behoort te worden gebaseerd op de statische of de kinematische methode.

►5.6.1(2) De ductiliteit van kritieke doorsneden moet voldoende groot zijn om het beoogde mechanisme te laten optreden.

►5.6.2(1)P en 5.6.2(2) Een plastische analyse van platen, balken en raamwerken mag worden uitgevoerd zonder expliciet nazicht van de plastische rotatiecapaciteit op voorwaarde dat:

- a) $x_u/d \leq 0,25$ (beperkte hoeveelheid getrokken wapening)
- b) het wapeningsstaal is van de klasse B of C en
- c) de verhouding van de tussensteunpuntsmomenten tot de veldmomenten ligt tussen 0,5 en 2

5.3.2. Bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT)

►5.4(2) Een lineair-elastische berekening van de snedekrachten mag worden uitgevoerd uitgaande van de volgende hypothesen:

- ongescheurde doorsneden, die vlak blijven na vervorming (berekening met de bruto-betonddoorsnede)
- lineaire spanning-vervormingsrelaties
- gemiddelde waarden van de elasticiteitsmodulus

►5.4(3) De momenten verkregen uit een lineair-elastische berekening behoren niet te worden herverdeeld. Wel moet rekening worden gehouden met een geleidelijke ontwikkeling van scheurvorming.

5.3.3. Algemene opmerking

Onafhankelijk van de gekozen berekeningsmethode gelden de volgende bepalingen:

- ►5.3.2.2(3) Indien een balk of een plaat een monolithisch geheel vormt met zijn ondersteuning, moet voor de rekenwaarde van het moment bij de ondersteuning de waarde worden genomen die geldt aan het dagvlak van de ondersteuning. Dit moment mag niet kleiner zijn dan 65 % van het inklemmingsmoment.
- ►5.3.2.2(4) Indien een balk of een plaat doorloopt over een ondersteuning die de hoekverdraaiing niet verhindert mag de rekenwaarde van het steunpuntsmoment, bepaald op basis van een overspanning gelijk aan de hart-op-hart afstand van de ondersteuning, worden verminderd met de waarde $F_{Ed,sup}t/8$,

waarin:

- $F_{Ed,sup}$ = de rekenwaarde van de oplegreactie
- t = de breedte van de ondersteuning ([Figuur 5.3b](#))
of de breedte van het oplegtoestel in voorkomend geval

5.4. Belastingen

5.4.1. Belastingsgevallen en -combinaties

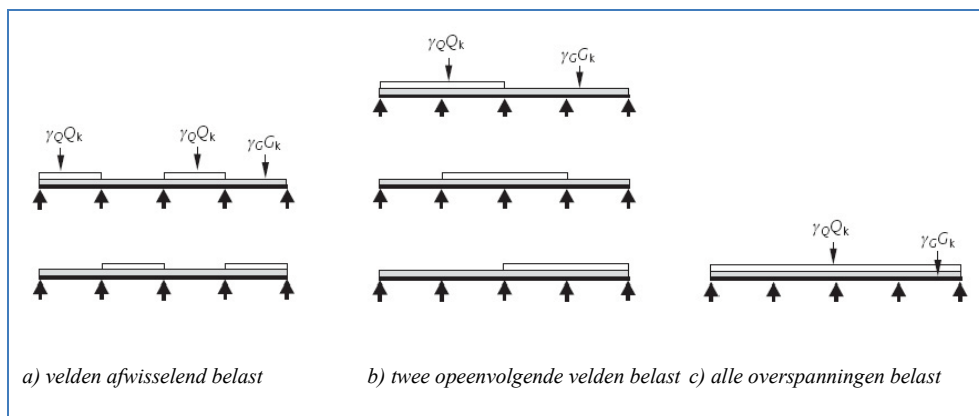
Belastingsgevallen zijn schikkingen van de veranderlijke belastingen die tegelijk met de permanente belastingen worden beschouwd. Belastingscombinaties hebben betrekking op de grootte van belastingen zoals die in een belastingsgeval optreden.

5.4.2. Belastingsschikkingen

► **5.1.3(1)P & ANB** In gebouwen mag, voor doorgaande liggers met vergelijkbare overspanningen, om het even welke van de volgende groepen van vereenvoudigde belastingsschikkingen worden gebruikt voor de UGT en voor de BGT (zie [Figuur 5.4](#)).

- De meest kritieke van:
 - a) afwisselend overspanningen belast met $\gamma_k Q_k + \gamma_G G_k$ en de andere overspanningen belast met $\gamma_G G_k$
 - b) twee opeenvolgende overspanningen belast met $\gamma_k Q_k + \gamma_G G_k$, alle andere overspanningen belast met $\gamma_G G_k$
 - c) alle overspanningen belast met $\gamma_k Q_k + \gamma_G G_k$.

Figuur 5.4 Vereenvoudigde belastingsschikkingen voor balken en platen



5.4.3. Belastingsfactoren

Voor de numerieke waarden van de voor een belastingsgeval te hanteren factoren wordt verwezen naar [Lid 2.3.4](#).

5.5. Geometrische imperfecties

5.5.1. Algemeen

► **5.2(1)** Bij de UGT moet, bij het nazicht van de stabiliteit, rekening worden gehouden met de ongunstige effecten van mogelijke afwijkingen in de geometrie van de constructie en in het aangrijpingspunt van de belastingen. Deze effecten zijn additioneel ten opzichte van andere destabiliserende krachten die werkzaam zijn op de constructie (bv. windbelastingen).

5.5.2. Imperfecties en de globale analyse van constructies

► **5.2(5) & ANB** Imperfecties worden weergegeven door een scheefstand θ_i :

$$\theta_i = \alpha_h \alpha_m \frac{1}{200}$$

waarin

α_h een reductiecoëfficiënt is voor de lengte of de hoogte:

$$\alpha_h = 2 / \sqrt{l} \quad \text{met} \quad 2/3 \leq \alpha_h \leq 1$$

α_m een reductiecoëfficiënt is die betrekking heeft op het aantal verticale elementen m dat bijdraagt aan het globale effect:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + 1/m\right)}$$

► 5.2(6) In de bovenstaande uitdrukkingen hangt de definitie van l en m af van het beschouwde effect. Men onderscheidt drie hoofgevallen:

- effect op een afzonderlijk element: l = werkelijke lengte van het element, $m = 1$
- effect op een schorende constructie: l = hoogte van het gebouw, m = aantal verticale elementen die een horizontale kracht uitoefenen op de schorende constructie
- effect op vloer- of dakschijven die horizontale belastingen overbrengen: l = verdiepingshoogte, m = aantal verticale elementen in de verdieping(en) dat bijdraagt aan de totale horizontale kracht op de vloer

► 5.2(7) In het geval van afzonderlijke elementen mag het effect van imperfecties in rekening worden gebracht op twee alternatieve wijzen a) of b), naar keuze:

a) als een excentriciteit e_i gegeven door:

$$e_i = \theta_i \frac{l_0}{2}$$

waarin l_0 de effectieve lengte is, zie [Lid 5.6.1.2](#)

Voor wanden en afzonderlijke kolommen in geschoorde constructies mag men als

vereenvoudiging altijd $e_i = \frac{l_0}{400}$ aannemen, hetgeen overeenstemt met $\alpha_h = 1$.

b) als een loodrecht op het element gerichte kracht H_i , op de plaats die leidt tot het maximum moment:

$$H_i = \theta_i N \quad \text{voor niet-geschoorde elementen}$$

$$H_i = 2 \theta_i N \quad \text{voor geschoorde elementen}$$

waarbij N de normaalkracht is.

Opmerking: Het gebruik van de excentriciteit is geschikt voor statisch bepaalde elementen, terwijl de loodrecht op het element gerichte kracht zowel voor statisch bepaalde als statisch onbepaalde elementen kan toegepast worden.

► 5.2(8) Voor de analyse van de constructie mag het effect van de scheefstand θ_i worden weergegeven door horizontale krachten die in de analyse aan de andere belastingen worden toegevoegd. De horizontale krachten worden op elk niveau zodanig aangebracht dat het grootste moment wordt verkregen.

Effect op de schorende constructie (zie [Figuur 5.5 a](#)):

$$H_i = \theta_i (N_b - N_a)$$

Effect op de vloerschijf (zie [Figuur 5.5 b](#)):

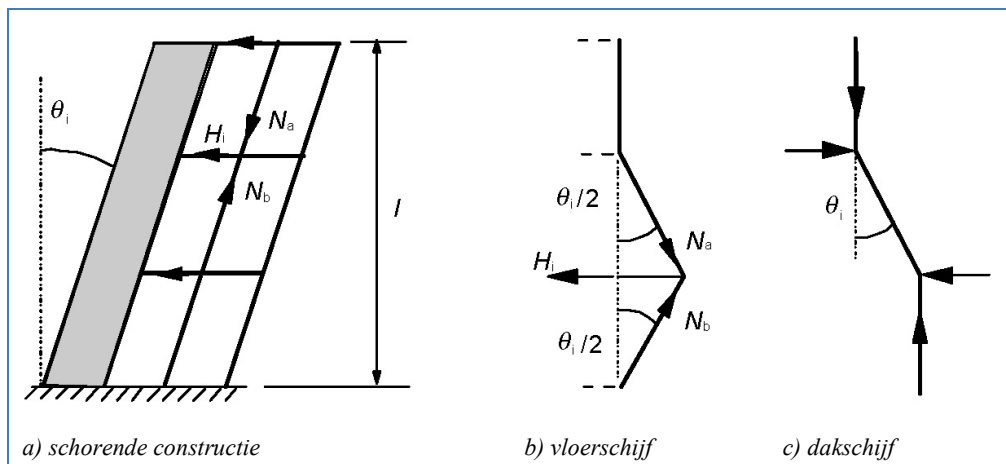
$$H_i = \theta_i (N_b + N_a) / 2$$

Effect op de dakschijf (zie [Figuur 5.5 c](#)):

$$H_i = \theta_i N_a$$

In deze uitdrukkingen zijn N_a en N_b normaalkrachten die bijdragen aan H_i

Figuur 5.5 Voorbeelden van het effect van geometrische imperfecties ► Fig. 5.1



5.5.3. Andere toleranties in de berekening

Toleranties voor imperfecties komen eveneens tussen bij:

- de partiële factoren gebruikt voor de berekening van dwarsdoorsneden
- gedrukte elementen (zie [Lid 5.6.2](#))

5.6. Rekenwaarden van kolommomenten

5.6.1. Definities

5.6.1.1 Schorende elementen

► 5.8.1 Schorende elementen zijn structurele elementen waarvan men voor de constructieve berekening aanneemt dat ze bijdragen aan de totale horizontale stabiliteit van de constructie.

5.6.1.2 Effectieve lengte l_0 **► 5.8.3.2(3)**

Voor geschoorde elementen geldt:

$$l_0 = \frac{l}{2} \sqrt{\left(1 + \frac{k_1}{0,45 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{0,45 + k_2}\right)}$$

Voor ongeschoorde elementen is l_0 de grootste waarde van:

$$l_0 = l \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right)$$

of

$$l_0 = l \sqrt{1 + 10 \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}}$$

waarin:

l = de vrije lengte van de kolom tussen de eindaansluitingen;

k_1, k_2 = de relatieve flexibiliteiten van de gedeeltelijke inklemmingen, respectievelijk aan uiteinde 1 en 2.

$$k = \left(\frac{\theta}{M}\right)_{\text{beam}} \left(\frac{EI}{l}\right)_{\text{col}}$$

θ is de hoekverdraaiing van de gedeeltelijke inklemming door het buigend moment M

EI is de buigstijfheid van de kolom

Opmerkingen:

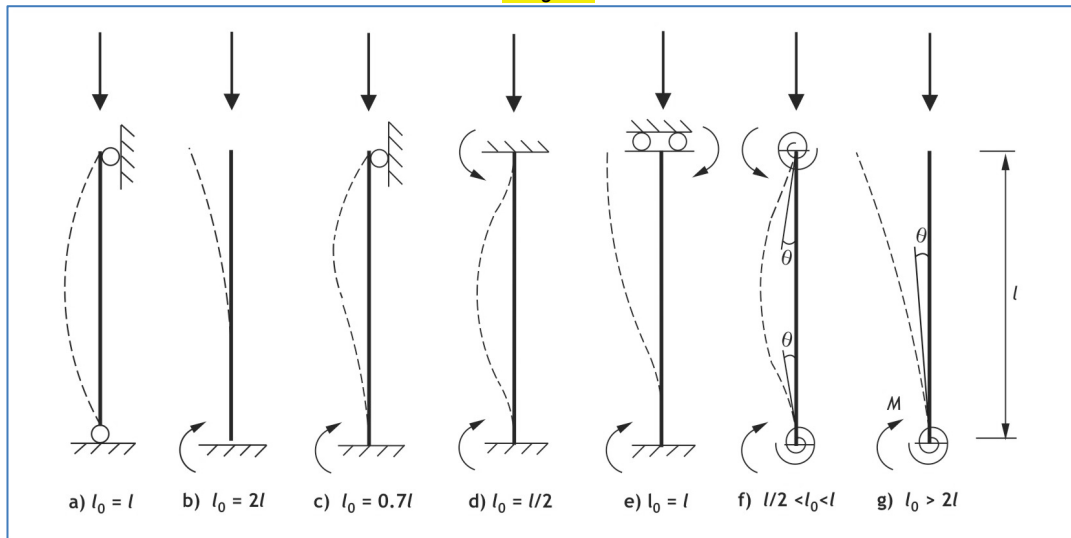
- **► 5.8.3.2(5)** Scheurvorming moet in rekening gebracht worden bij de berekening van de stijfheid van de elementen die zich tegen de vervorming verzetten.
- **► 5.8.3.2(4)** Indien een aansluitend op druk belast element (kolom) in een knooppunt naar verwachting bijdraagt aan de rotatie bij knik, moet (EI / l) in de definitie van k vervangen worden door $\left[\left(\frac{EI}{l}\right)_a + \left(\frac{EI}{l}\right)_b\right]$,

waarin a en b verwijzen naar het op druk belaste element (kolom) boven en onder het knooppunt.

- **► 5.8.3.2(3) OPMERKING** $k = 0$ is de theoretische grens voor een perfecte inklemming en $k = \infty$ is de grens voor een volledig vrij steunpunt (scharnier). Omdat een perfecte inklemming in de praktijk zelden voorkomt, wordt voor k_1 en k_2 een minimum waarde van 0,1 aanbevolen.
- Een overschatting van de effectieve lengte leidt steeds tot een rekenresultaat dat zich aan de veilige kant situeert.

► 5.8.3.2(2) Voorbeelden van verschillende knikvormen en de bijbehorende effectieve lengtes voor afzonderlijke elementen zijn gegeven in [Figuur 5.6](#).

Figuur 5.6 Voorbeelden van knikvormen en corresponderende effectieve lengtes voor afzonderlijke elementen ► Fig. 5.7



5.6.1.3 Slankheid λ

► 5.8.3.2(1)

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

waarin:

i = de traagheidsstraal van de niet-gescheurde betondoorsnede

Als de invloed van betonstaal buiten beschouwing wordt gelaten:

$$\lambda = \frac{l_0 \sqrt{12}}{h} \quad \text{voor rechthoekige doorsneden}$$

$$\lambda = \frac{4l_0}{d} \quad \text{voor cirkelvormige doorsneden}$$

waarin

h = de hoogte van de doorsnede in de beschouwde richting

d = de diameter van de cirkelvormige doorsnede

5.6.1.4 Slankheidscriterium λ_{lim}

► 5.8.3.1(1) De grenswaarde voor de slankheid, λ_{lim} , waarboven tweede-orde effecten moeten worden beschouwd, wordt gegeven door:

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}}$$

waarin

$$A = \frac{1}{(1 + 0,2\varphi_{ef})} \quad (\text{indien } \varphi_{ef} \text{ niet gekend is, kan men aannemen } A = 0,7)$$

waarin

► 5.8.4

φ_{ef} = de effectieve kruipcoëfficiënt

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}}$$

met

$\varphi(\infty, t_0)$ = de eindwaarde van de kruipcoëfficiënt. Bij gebrek aan nauwkeuriger gegevens, mag deze worden ontleend aan [Tabel 5.1](#) of aan [Figuur 5.7](#), daarbij gebruikmakend van de procedure zoals aangegeven in [Figuur 5.8](#):

► 3.1.4(5)

- t_0 = de ouderdom in dagen van het beton op het moment van belasten (in dagen)
 h_0 = de fictieve dikte $2A_c/u$, waarbij A_c de oppervlakte van de betondoorsnede is en u de omtrek van het deel dat blootstaat aan uitdroging
 S = cementtype CEM 32,5N **► 3.1.2(6)**
 N = cementtypes CEM 32,5R, CEM 42,5N
 R = cementtypes CEM 42,5R, CEM 52,5N en CEM 52,5R

M_{0Eqp} = het eerste-orde buigend moment in de quasi-blijvende belastingscombinatie (BGT)

M_{0Ed} = het eerste-orde buigend moment in de uiterste grenstoestand (UGT)

► 5.8.4(3)

Indien M_{0Eqp} / M_{0Ed} varieert in het element of in de constructie, mag men deze verhouding berekenen voor de doorsnede met het maximum moment of mag men een representatieve gemiddelde waarde gebruiken.

Opmerking: φ_{ef} mag gelijk worden gesteld aan 0 als aan de volgende drie voorwaarden wordt voldaan:

► 5.8.4(4)

- $\varphi(\infty, t_0) \leq 2,0$
- $\lambda \leq 75$ en
- $M_{0Ed} / N_{Ed} \geq h$, de hoogte van de doorsnede in de relevante richting

► 5.8.3.1(1)

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} \quad (\text{als } \omega \text{ niet gekend, mag } B = 1,1 \text{ worden aangenomen})$$

waarin

$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$ de mechanische wapeningsverhouding is, met A_s is de totale oppervlakte van de doorsnede van de langswapening

$C = 1,7 - r_m$ (als r_m onbekend is, mag $C = 0,7$ worden aangehouden. C is de meest kritieke factor onder A , B en C)

waarin

$r_m = M_{01}/M_{02}$, waarin M_{01} en M_{02} de eerste-orde eindmomenten in de UGT zijn, met $|M_{02}| \geq |M_{01}|$. Indien M_{01} en M_{02} trek aan dezelfde zijde geven, is r_m positief (en $C \leq 1,7$)

$r_m = 1,0$ ($C=0,7$) voor niet-geschoorde elementen en voor geschoorde elementen waarin de eerste-orde effecten alleen of voornamelijk worden veroorzaakt door imperfecties of dwarse belastingen (zie [Figuur 5.9](#))

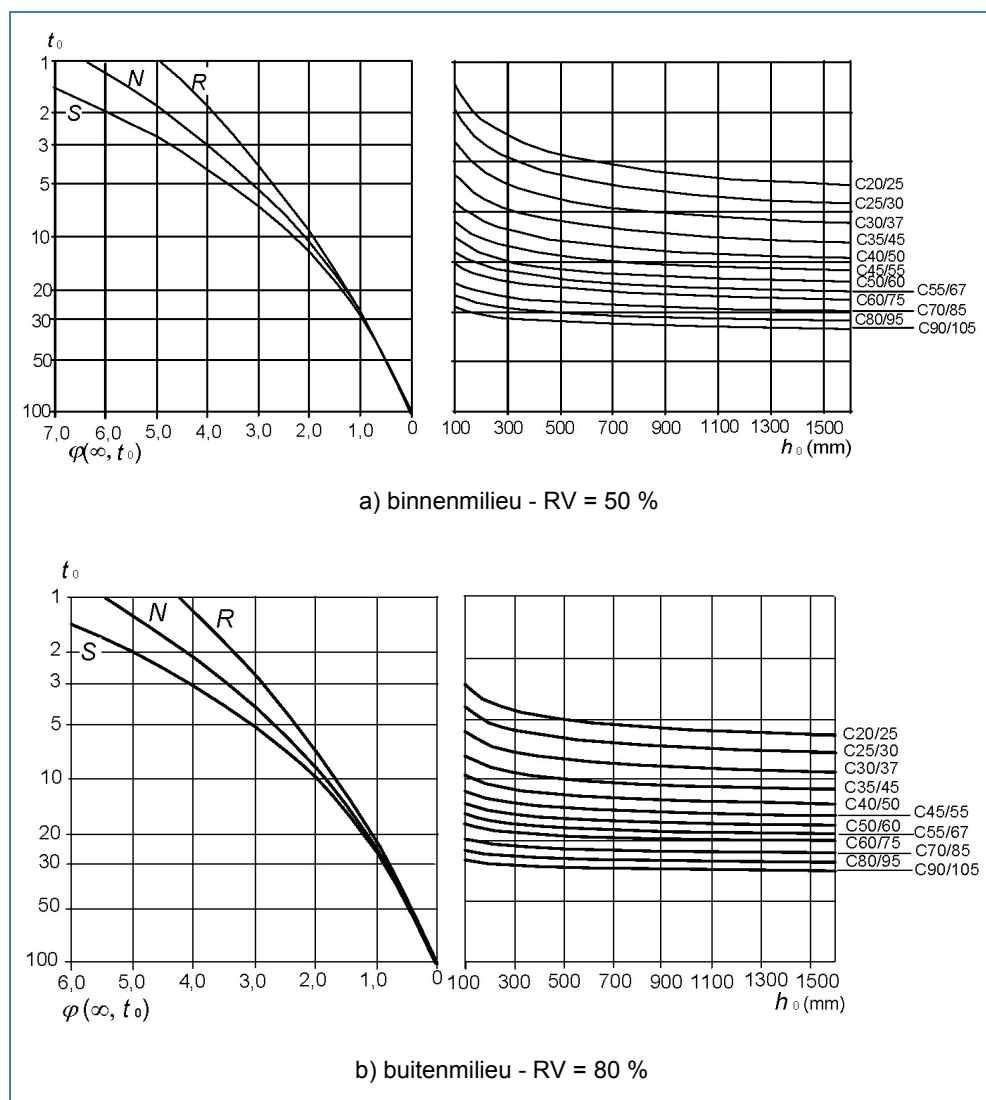
$$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}}$$

waarin

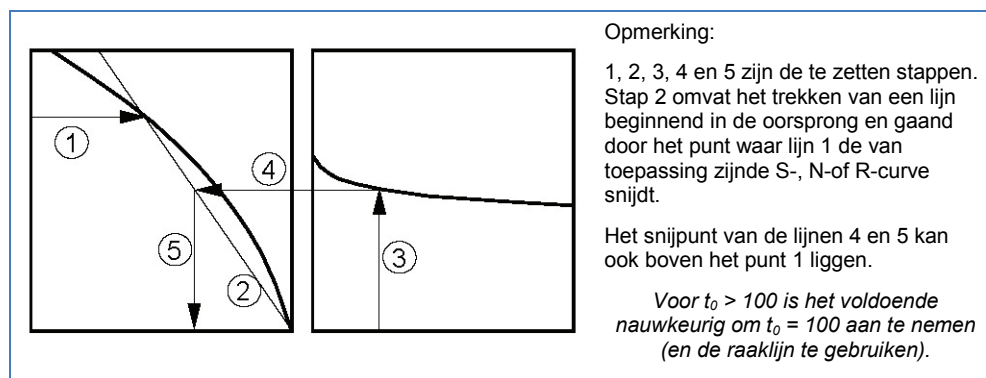
N_{Ed} de rekenwaarde van de normaalkracht in de UGT is

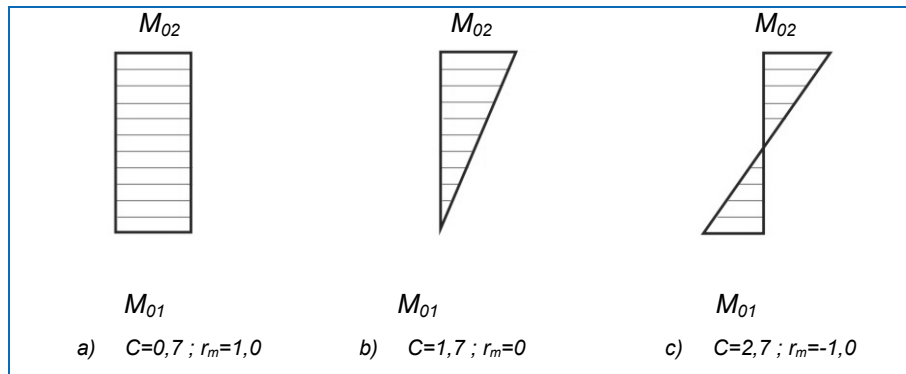
Tabel 5.1: Waarden van de kruipcoëfficiënt $\phi(\infty, t_0)$ voor cementen van het type N

Beton C20/25		Langeduur kruip $\phi(\infty, t_0)$, (cementtype 'N')					
ouderdom t_0 van het beton op het ogenblik van belasten in dagen		fictieve dikte $2 \cdot A_C / u$ in [mm]					
		50	150	600	50	150	600
		Droge omgeving (binnen) $RH = 50\%$			Vochtige omgeving (buiten) $RH = 80\%$		
1		6.8	5.6	4.6	4.5	4.0	3.6
3		5.6	4.6	3.8	3.6	3.2	2.9
7		4.7	3.9	3.2	3.1	2.8	2.5
28		3.7	3.0	2.5	2.4	2.1	1.9
90		2.9	2.4	2.0	1.9	1.7	1.5
365		2.2	1.8	1.5	1.5	1.3	1.2
Beton C25/30		Langeduur kruip $\phi(\infty, t_0)$, (cementtype 'N')					
ouderdom t_0 van het beton op het ogenblik van belasten in dagen		fictieve dikte $2 \cdot A_C / u$ in [mm]					
		50	150	600	50	150	600
		Droge omgeving (binnen) $RH = 50\%$			Vochtige omgeving (buiten) $RH = 80\%$		
1		6.3	5.2	4.2	4.1	3.7	3.3
3		5.1	4.2	3.5	3.4	3.0	2.7
7		4.4	3.6	3.0	2.9	2.6	2.3
28		3.4	2.8	2.3	2.2	2.0	1.8
90		2.7	2.2	1.8	1.8	1.6	1.4
365		2.1	1.7	1.4	1.3	1.2	1.1
Beton C30/37		Langeduur kruip $\phi(\infty, t_0)$, (cementtype 'N')					
ouderdom t_0 van het beton op het ogenblik van belasten in dagen		fictieve dikte $2 \cdot A_C / u$ in [mm]					
		50	150	600	50	150	600
		Droge omgeving (binnen) $RH = 50\%$			Vochtige omgeving (buiten) $RH = 80\%$		
1		5.9	4.9	4.0	3.8	3.4	3.0
3		4.9	4.0	3.2	3.1	2.8	2.5
7		4.1	3.4	2.8	2.7	2.4	2.1
28		3.2	2.6	2.1	2.1	1.8	1.6
90		2.6	2.1	1.7	1.6	1.5	1.3
365		1.9	1.6	1.3	1.3	1.1	1.0
Beton C35/45		Langeduur kruip $\phi(\infty, t_0)$, (cementtype 'N')					
ouderdom t_0 van het beton op het ogenblik van belasten in dagen		fictieve dikte $2 \cdot A_C / u$ in [mm]					
		50	150	600	50	150	600
		Droge omgeving (binnen) $RH = 50\%$			Vochtige omgeving (buiten) $RH = 80\%$		
1		5.7	4.7	3.8	3.6	3.2	2.8
3		4.7	3.8	3.1	3.0	2.6	2.3
7		4.0	3.3	2.6	2.5	2.2	2.0
28		3.1	2.5	2.0	2.0	1.7	1.5
90		2.5	2.0	1.6	1.6	1.4	1.2
365		1.9	1.5	1.2	1.2	1.1	0.9
Beton C40/50		Langeduur kruip $\phi(\infty, t_0)$, (cementtype 'N')					
ouderdom t_0 van het beton op het ogenblik van belasten in dagen		fictieve dikte $2 \cdot A_C / u$ in [mm]					
		50	150	600	50	150	600
		Droge omgeving (binnen) $RH = 50\%$			Vochtige omgeving (buiten) $RH = 80\%$		
1		5.6	4.5	3.6	3.5	3.0	2.7
3		4.6	3.7	2.9	2.8	2.5	2.2
7		3.9	3.1	2.5	2.4	2.1	1.9
28		3.0	2.4	1.9	1.9	1.6	1.4
90		2.4	1.9	1.5	1.5	1.3	1.2
365		1.8	1.5	1.2	1.1	1.0	0.9
Beton C45/55		Langeduur kruip $\phi(\infty, t_0)$, (cementtype 'N')					
ouderdom t_0 van het beton op het ogenblik van belasten in dagen		fictieve dikte $2 \cdot A_C / u$ in [mm]					
		50	150	600	50	150	600
		Droge omgeving (binnen) $RH = 50\%$			Vochtige omgeving (buiten) $RH = 80\%$		
1		5.4	4.4	3.5	3.3	2.9	2.5
3		4.4	3.6	2.8	2.7	2.4	2.1
7		3.8	3.0	2.4	2.3	2.0	1.8
28		2.9	2.3	1.9	1.8	1.6	1.4
90		2.3	1.9	1.5	1.4	1.2	1.1
365		1.8	1.4	1.1	1.1	1.0	0.8
Beton C50/60		Langeduur kruip $\phi(\infty, t_0)$, (cementtype 'N')					
ouderdom t_0 van het beton op het ogenblik van belasten in dagen		fictieve dikte $2 \cdot A_C / u$ in [mm]					
		50	150	600	50	150	600
		Droge omgeving (binnen) $RH = 50\%$			Vochtige omgeving (buiten) $RH = 80\%$		
1		5.3	4.2	3.3	3.2	2.8	2.4
3		4.3	3.5	2.7	2.6	2.3	2.0
7		3.7	3.0	2.3	2.2	1.9	1.7
28		2.9	2.3	1.8	1.7	1.5	1.3
90		2.3	1.8	1.4	1.4	1.2	1.0
365		1.7	1.4	1.1	1.1	0.9	0.8

Figuur 5.7 Methode voor de bepaling van de kruipcoëfficiënt $\phi(\infty, t_0)$ ► Fig. 3.1

Figuur 5.8: Hoe Figuur 5.7 gebruiken ? ► Fig. 3.1



Figuur 5.9 Waarden van C voor verschillende waarden van r_m 

5.6.2. Rekenwaarden van momenten

► 6.1(4) In alle gevallen is het nodig een minimum totale excentriciteit aan te nemen van $e = h/30$ maar niet kleiner dan 20 mm, waarin h de hoogte is van de dwarsdoorsnede.

5.6.2.1 Niet-slanke kolommen

► 5.8.3.1(1) Indien $\lambda \leq \lambda_{lim}$, dit wil zeggen als er sprake is van een niet-slanke kolom, is de rekenwaarde van het buigend moment in deze kolom

$$M_{Ed} = M_{02}$$

► 5.8.1

waarbij

► 5.8.8.2(2) & AC

M_{Ed} = de rekenwaarde van het moment

M_{02}, M_{01} = zijn de eerste-orde eindmomenten in de UGT rekening houdend met imperfecties, in het geval geen belastingen aangrijpen tussen de uiteinden. M_{02} is in absolute waarde groter dan M_{01} . Aandacht moet worden besteed aan het teken van de buigende momenten. Als ze trek aan dezelfde zijde geven, moeten M_{01} en M_{02} hetzelfde teken te hebben.

met

$$M_{02} = M + e_i N_{Ed}$$

waarbij

M = moment uit een eerste-orde berekening (elastische momenten zonder herverdeling)

e_i = ► 5.2(7) de excentriciteit ten gevolge van imperfecties = $\theta_i l_0 / 2$ (zie [Lid 5.5.2](#)).

► 5.8.3.2 met

θ_i = hoek gebruikt om de imperfecties in rekening te brengen

l_0 = effectieve lengte van de kolom

h = hoogte van de doorsnede in de relevante richting

N_{Ed} = rekenwaarde van de normaalkracht in UGT

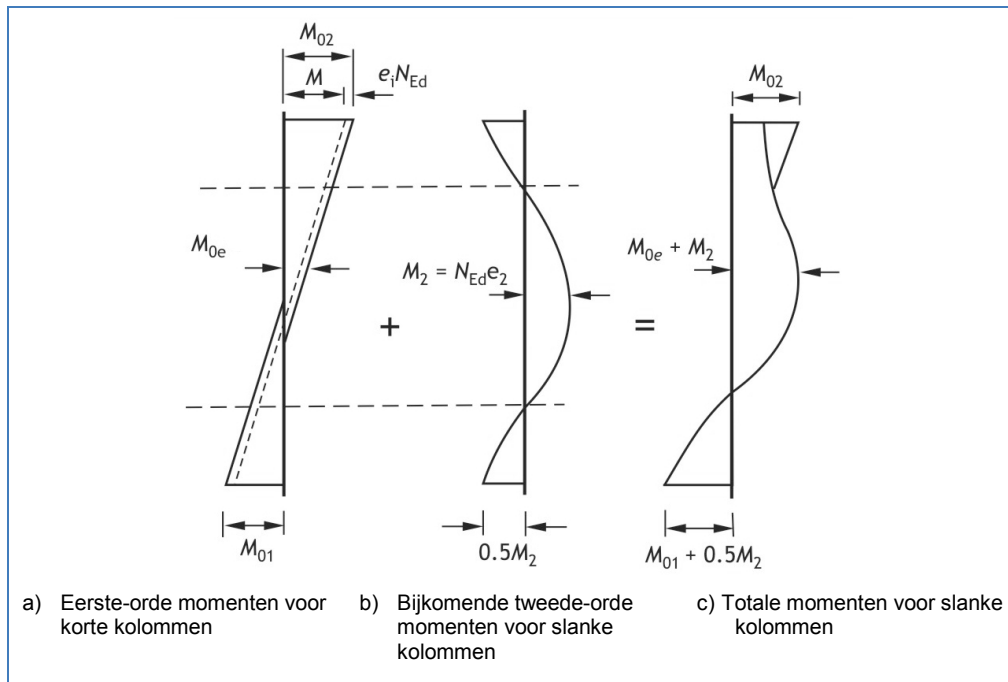
5.6.2.2 Slanke kolommen (methode gebaseerd op de nominale kromming)

- Indien $\lambda > \lambda_{lim}$, dit wil zeggen als sprake is van een slanke kolom, is de rekenwaarde van het buigend moment voor deze kolom in een *geschoorde* constructie gelijk aan

► 5.8.8.2

$M_{Ed} = \text{maximum van } \{ M_{02}; M_{0e} + M_2; M_{01} + 0,5 M_2 \}$ (zie [Figuur 5.10](#))

Figuur 5.10 Momentenverloop in slanke kolommen



met

$$M_{0e} = (0,6M_{02} + 0,4M_{01}) \geq 0,4 M_{02}$$

► 5.8.8.2(3) waarbij M_{02} en M_{01} hierna in [Lid 5.6.2.1](#) zijn gedefinieerd

M_2 = nominaal tweede-orde moment in slanke kolommen

$$M_2 = N_{Ed}e_2$$

met

N_{Ed} = rekenwaarde van de normaalkracht in de UGT

e_2 = nominale excentriciteit van tweede-orde

$$e_2 = (1/r)l_0^2/10 \quad (8 \text{ in plaats van } 10 \text{ indien het eerste-orde moment constant is})$$

hierin kan, in het geval van een symmetrische dwarsdoorsnede, de kromming berekend worden aan de hand van de volgende vereenvoudigde uitdrukkingen:

► 5.8.8.3

$$1/r = \text{kromming} = K_r K_\varphi \frac{2f_{yd}}{E_s \cdot 0,9d}$$

met

$$K_r = \frac{(n_u - n)}{(n_u - n_{bal})} \leq 1,0$$

waarin

$$n_u = 1 + \omega$$

met

ω = mechanische wapeningsverhouding

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \quad \text{zoals in [Lid 5.6.1.4](#) hierboven}$$

$n = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}}$ zoals gedefinieerd in [Lid 5.6.1.4](#) hierboven
 n_{bal} = waarde van n overeenstemmend met het maximum weerstandbiedend moment, die gelijk aan 0,4 mag worden gesteld

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{ef} \geq 1$$

met

$$\beta = 0,35 + (f_{ck} / 200) - (\lambda / 150)$$

► 5.8.3.2 waarbij

$\lambda = l_0 / i$ = de slankheid (zie [Lid 5.6.1.3](#))

► 5.8.4(2)

φ_{ef} = effectieve kruipcoëfficiënt zoals besproken in [Lid 5.6.1.4](#)

l_0 = effectieve lengte van de kolom

5.6.3. Dubbele buiging

► 5.8.9(2) Als eerste stap kan in elke hoofdrichting een afzonderlijke berekening worden gemaakt, zonder rekening te houden met dubbele buiging.

► 5.8.9(3) Geen verdere controle is nodig indien de slankheid voldoet aan de volgende twee voorwaarden:

$$\lambda_y / \lambda_z \leq 2 \quad \text{en} \quad \lambda_z / \lambda_y \leq 2$$

en de relatieve excentriciteiten (e_y / h_{eq}) en (e_z / b_{eq}) voldoen aan één van de volgende voorwaarden:

$$(e_y / h_{eq}) / (e_z / b_{eq}) \leq 0,2 \quad \text{of} \quad (e_z / b_{eq}) / (e_y / h_{eq}) \leq 0,2 \quad \text{zie [Figuur 5.10b](#)}$$

met

λ_y, λ_z = de slankheden l_0 / i met betrekking tot respectievelijk de y- en z-as

e_y = M_{Edz} / N_{Ed}

h_{eq} = $i_z \sqrt{12}$ (= h voor rechthoekige doorsneden)

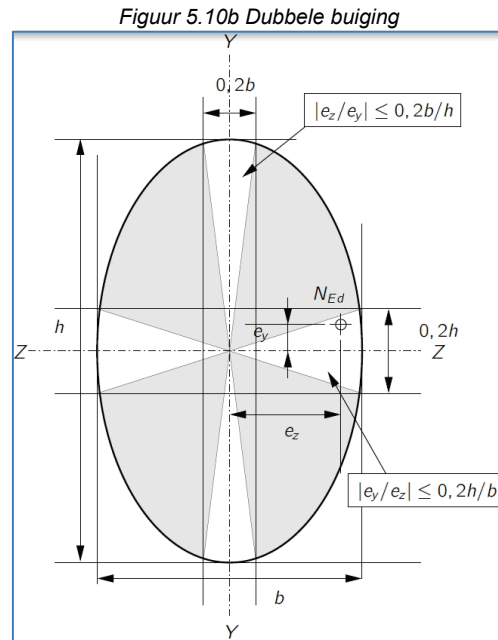
e_z = M_{Edy} / N_{Ed}

b_{eq} = $i_y \sqrt{12}$ (= b voor rechthoekige doorsneden)

waarin

N_{Ed} = rekenwaarde van de normaalkracht in de UGT

M_{Edy}, M_{Edz} = rekenwaarde van het moment om de respectievelijke assen y en z.
 (Momenten ten gevolge van imperfecties moeten enkel worden meegenomen in de richting waarin ze de meest ongunstige invloed hebben.)



Opmerking: voor vierkante kolommen is $(e_y/h_{eq})/(e_z/b_{eq}) = M_{Edz}/M_{Edy}$

► **5.8.9(4)** In het tegengesteld geval mogen kolommen onderworpen aan dubbele buiging berekend worden om te voldoen aan:

$$\left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}} \right)^a + \left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}} \right)^a \leq 1,0$$

waarin

M_{Rdy}, M_{Rdz} = weerstandbiedend moment met betrekking tot de beschouwde as, overeenstemmend met een normaalkracht N_{Ed}

a = een exponent:
voor cirkelvormige en elliptische doorsneden, $a = 2,0$,
voor rechthoekige doorsneden, interpoleren tussen

a = 1,0 voor $N_{Ed}/N_{Rd} = 0,1$

a = 1,5 voor $N_{Ed}/N_{Rd} = 0,7$

a = 2,0 voor $N_{Ed}/N_{Rd} = 1,0$

met $N_{Rd} = A_c f_{cd} + A_s f_{yd}$

Opmerking: er wordt verondersteld dat $N_{Ed}(e_1 + e_2)$ telkens slechts in één (kritieke) richting werkzaam is

5.7. Vlakke plaatvloeren

► Bijlage I

5.7.1. Definitie

[Lid 5.7](#) is van toepassing op vlakke plaatvloeren met een constante dikte, ondersteund door kolommen zonder balken. Wel mogen verdikkingen voorzien worden boven de kolommen (kolomplaten).

► Bijlage I.1.1(2)

5.7.2. Berekening

Vlakke plaatvloeren moeten worden berekend met een beproefde berekeningsmethode. In deze publicatie wordt de ‘equivalente raamwerkenmethode’ besproken. Deze methode is opgenomen in de Informatieve Bijlage I van EC2.

5.7.2.1 Equivalente raamwerkenmethode

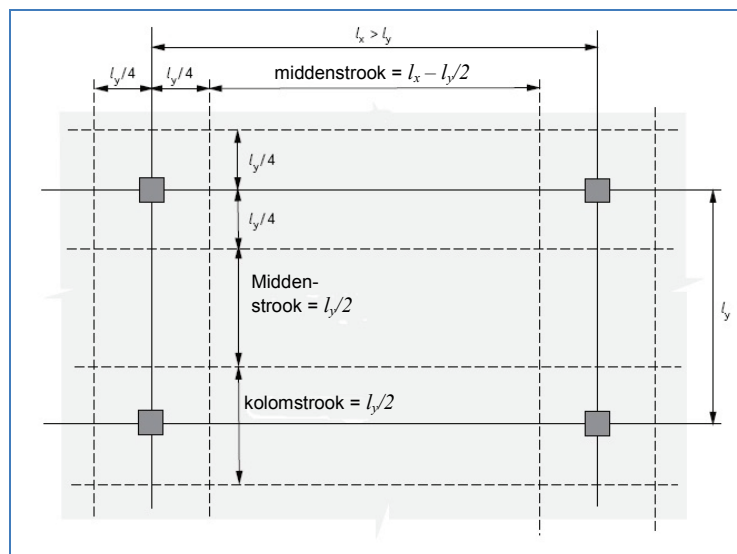
► **Bijlage I 1.2(1)** De constructie moet in de langs- en dwarsrichting worden verdeeld in raamwerken, bestaande uit kolommen en plaatdelen tussen de hartlijnen van aangrenzende panelen (oppervlakte begrensd door 4 naburige kolommen). De stijfheid van de elementen mag worden berekend op basis van hun bruto dwarsdoorsnede. Voor verticale belastingen mag de stijfheid worden gebaseerd op de volledige breedte van de plaatdelen. Voor horizontale belastingen moet 40 % van deze waarde worden gebruikt wegens de lagere stijfheid van kolom/plaatverbindingen bij vlakke plaatvloeren ten opzichte van die van kolom/balkverbindingen. Voor de berekening in elke richting moet de totale belasting op de panelen worden aangehouden.

► **Bijlage I 1.2(2)** De totale buigende momenten volgend uit de berekening, moeten worden verdeeld over de breedte van de plaat. De panelen worden onderverdeeld in kolom- en middenstroken (zie [Figuur 5.11](#)) en de buigende momenten worden verdeeld conform [Tabel 5.2](#).

► **Bijlage I 1.2(3) Opmerking** Het totaal van de negatieve en positieve momenten die door de kolom- en middenstroken tezamen moeten worden opgenomen, moet gelijk zijn aan 100 %.

► **Bijlage I 1.2(4)** Wanneer de breedte van de kolomstrook afwijkt van $0,5l_x$ zoals bijvoorbeeld getoond in [Figuur 5.11](#) en als deze gelijk wordt genomen aan de breedte van de kolomplaat of -kop, moet de breedte van de middenstrook overeenkomstig worden aangepast.

Figuur 5.11 Verdeling van de panelen van vlakke plaatvloeren ► [Fig. I.1](#)



Tabel 5.2 Verdeling van de buigende momenten in een vlakke plaatvloer – equivalente raamwerkenmethode ► [Tab. I.1](#)

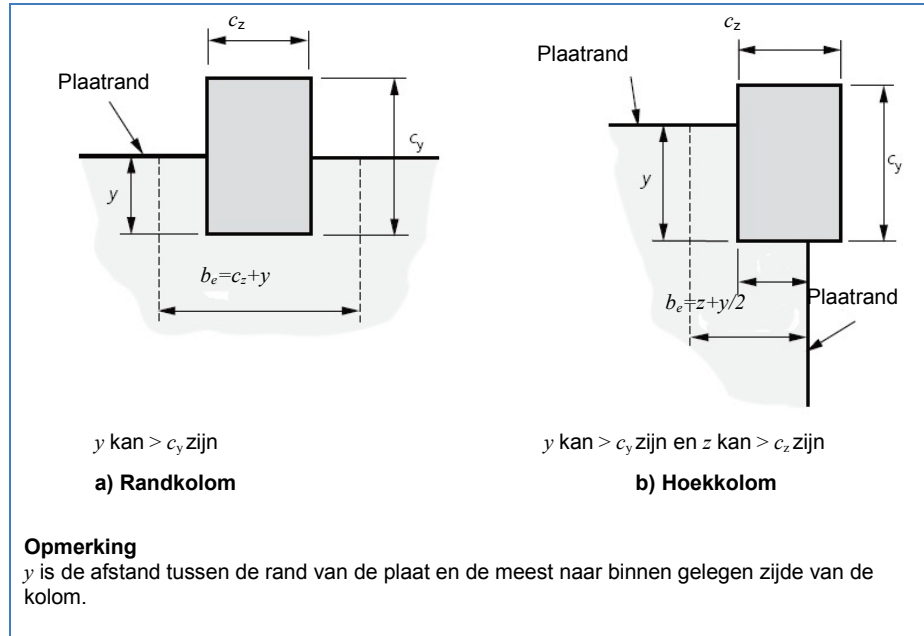
Locatie	Negatieve momenten	Positieve momenten
Kolomstrook	60 % – 80 %	50 % – 70 %
Middenstrook	40 % – 20 %	50 % – 30 %
Note Het totaal van de negatieve en positieve momenten die door de kolom- en middenstroken tezamen moeten worden opgenomen, moet gelijk zijn aan 100 %.		

► **Bijlage I 1.2(5) en 9.4.2** Tenzij er randbalken zijn die opgevat zijn om te weerstaan aan wringing, moeten de naar de rand- of hoekkolommen overgedragen momenten worden beperkt tot het weerstandbiedend moment van een rechthoekige doorsnede gelijk aan $0,17 b_e d^2 f_{ck}$, met b_e zoals aangeduid in [Figuur 5.12](#).

► **6.4.3** In de rekenprocedure voor pons moet rekening gehouden worden met de invloeden van de momentoverdracht in de kolom/plaatverbinding.

► **6.4.3(6) & ANB** Voor constructies waarvan de zijdelingse stabiliteit niet afhankelijk is van het door de platen en kolommen gevormde raamwerk en waarvan de lengtes van de opeenvolgende overspanningen niet meer dan 25 % verschillen, mag de rekenwaarde van de ponskracht worden bekomen door de kolomreacties te vergroten. De vergrotingsfactor is 1,15 voor middenkolommen, 1,4 voor randkolommen en 1,5 voor hoekkolommen (zie ook [Lid 8.2](#)).

Figuur 5.12 Meewerkende breedte, b_e , van een vlakke plaatvloer ► [Fig. 9.9](#)



5.7.2.2 Andere ontwerpprocedures

Als andere ontwerpprocedures worden toegepast, moet Eurocode 2 worden geraadpleegd.

5.8. Consoles

De informatie die opgenomen is in deze publicatie is gebaseerd op de Informatieve Bijlage J.3 van EC2.

5.8.1. Definitie

Consoles zijn korte uitkragingen van kolommen of wanden met een verhouding tussen de afschuifoverspanning (dit is de afstand tussen het aangrijpingspunt van de belasting en het zijvlak van de kolom of de wand) en de hoogte van de console die kleiner is dan 2,0.

5.8.2. Berekening

Consoles mogen worden gemodelleerd als:

- korte liggers ontworpen op buiging en dwarskracht of
- elementen voorzien van een staafwerkmodel zoals weergegeven in Figuur 5.13.

► **Bijlage J.3 & ANB** De inwendige krachten in een staafwerkmodel moeten worden berekend met de statische methode.

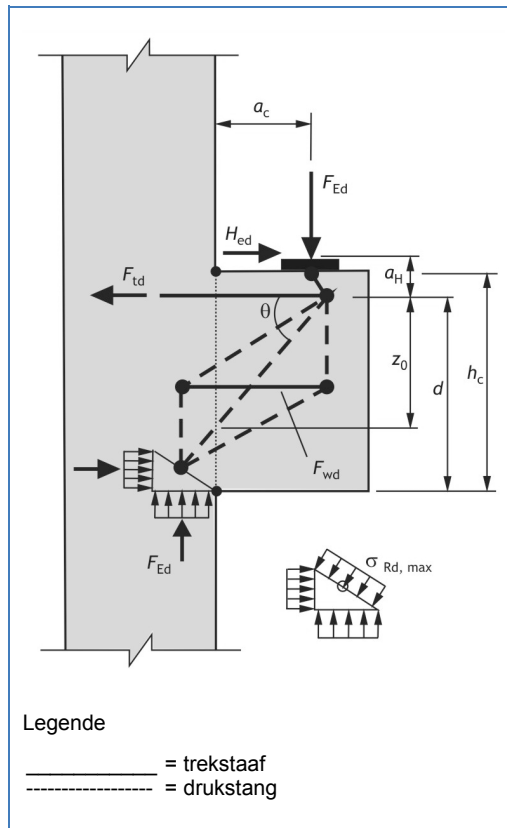
► **6.5.2(2) & ANB** Hoewel het geen algemene vereiste is bij staafwerkmodellen, moet de hoek θ in het model voldoen aan $1,0 \leq \tan \theta \leq 2,5$. De breedte van de drukstang moet zodanig zijn dat de spanning erin niet groter is dan $0,6 \nu' f_{cd}$,

waarin:

$$\nu' = 1 - \left(\frac{f_{ck}}{250} \right)$$

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \quad \text{met } \alpha_{cc} = 1$$

Figuur 5.13: Staafwerkmodel van een console ► Fig. J.5

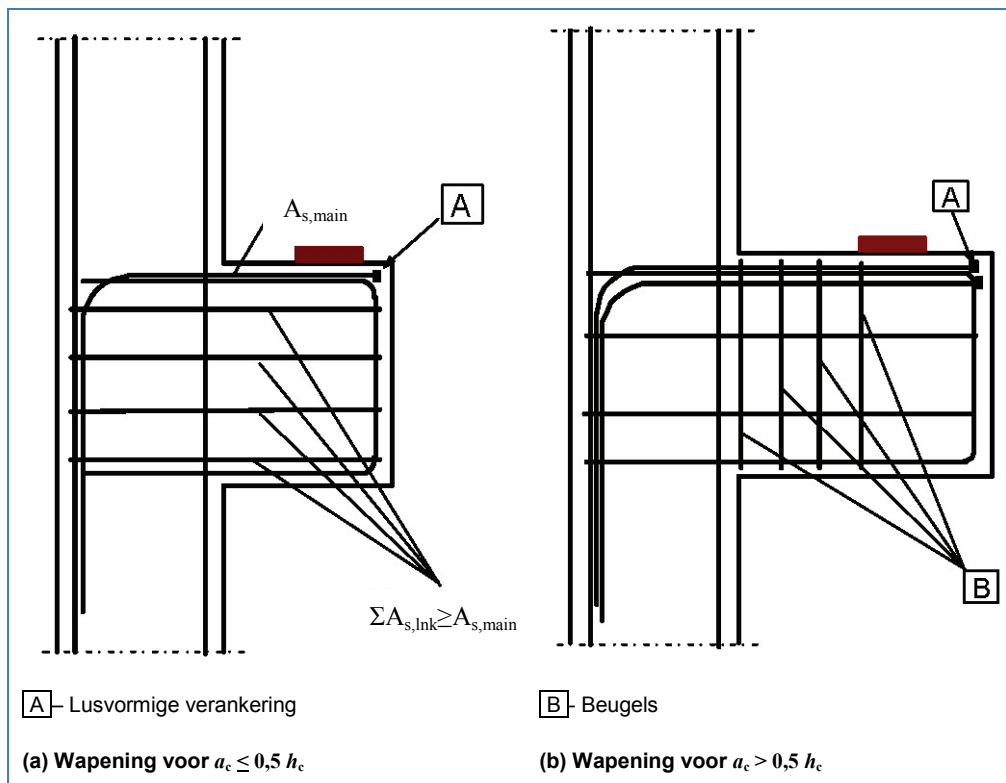


► **Bijlage J.3(2)** Indien $a_c \leq 0,5 h_c$, behoren horizontale of gehelde gesloten beugels voorzien te worden, met $A_{s,lnk} \geq k_1 A_{s,main}$, bovenop de hoofdtrekwapening (zie [Figuur 5.14](#) (a)) met $k_1 = 0,25$.

► **Bijlage J.3(3)** Indien $a_c > 0,5 h_c$ en $F_{Ed} > V_{Rd,c}$ (zie [Lid 7.2](#)), behoren verticale gesloten beugels voorzien te worden, met $A_{s,lnk} \geq \frac{k_2 F_{Ed}}{f_{yd}}$ bovenop de hoofdtrekwapening (zie [Figuur 5.14](#) (b)) met $k_2 = 0,5$.

► **Bijlage J.3(4)** De hoofdtrekwapening moet aan beide uiteinden verankerd worden. Enerzijds moet deze wapening verankerd worden aan die kant van het ondersteunend element die het verst verwijderd is van de console, waarbij de verankeringslengte gemeten wordt vanaf de verticale wapening die zich het dichtst bij de console bevindt. Anderzijds moet deze wapening verankerd worden in de console, waarbij de verankeringslengte gemeten wordt van de binnenrand van de belaste oppervlakte.

Figuur 5.14: Constructieve schikkingen voor consoles ► Fig. J.6



6. Buiging met of zonder normaalkracht

6.1. Aannames

De bepaling van het weerstandbiedend moment van een betondoorsnede is gebaseerd op de volgende aannames:

► 6.1(2)

- Vlakke doorsneden blijven vlak.
- De rek in de hechtende wapening is, zowel in trek als in druk, gelijk aan die in het omringend beton.
- De treksterkte van het beton wordt verwaarloosd.
- ► 3.2.7 De spanningen in het betonstaal worden afgeleid uit het diagram weergegeven in [Figuur 6.2](#). Er wordt gebruik gemaakt van

a) hetzij een in helling liggende bovenste staaf, met een rekgrens gelijk aan ε_{ud} en een maximum spanning ($k f_{yk} / \gamma_s$) voor ε_{uk} , met $k = (f_t / f_y)_k$. Hieronder is een uittreksel uit

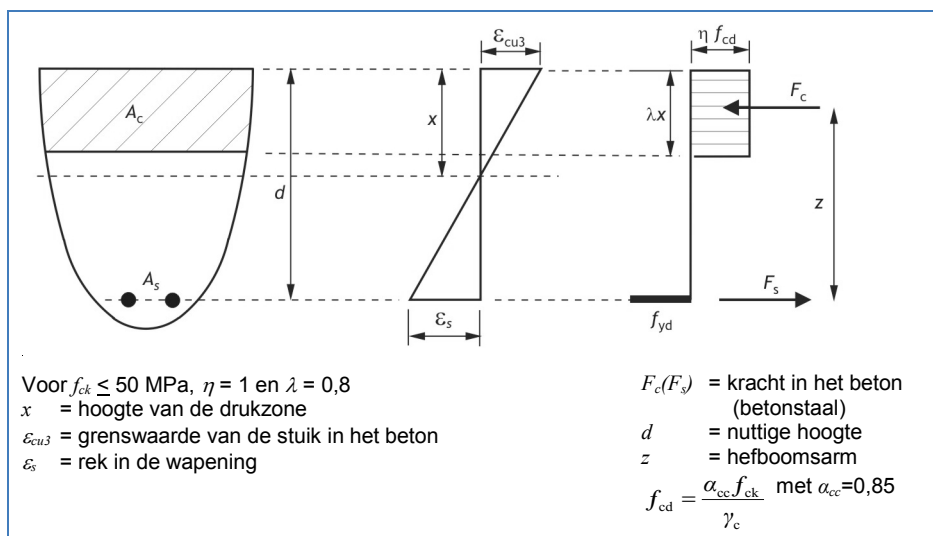
► Tabel C.1-ANB opgenomen

Productvorm	Wapening		
	A	B	C
Ductiliteitsklasse			
Karakteristieke waarde van de elasticiteitsgrens f_{yk} of $f_{0,2k}$ (MPa)	400 tot 500		
Waarde van $k = (f_t / f_y)_k$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ $< 1,35$
Karakteristieke vervorming bij de maximale kracht, ε_{uk} (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$

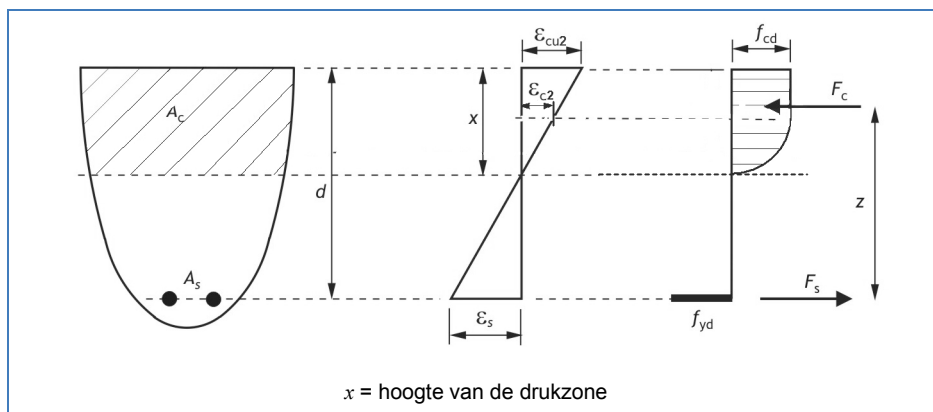
b) hetzij een horizontale bovenste staaf, zonder nazicht van de rekgrens.

- ► Fig. 3.5 De spanningsverdeling in een betondoorsnede is zoals voorgesteld in [Figuur 6.1a](#), [Figuur 6.1b](#) en [Figuur 6.1c](#).
- ► 6.1(3) In doorsneden die niet volledig onder druk staan moet de stuik in het beton worden beperkt tot $\varepsilon_{cu2} = \varepsilon_{cu3} = 0,0035$ afhankelijk van het gebruikte spanning-rekdiagram (zie [Figuur 6.1a](#), [Figuur 6.1b](#) en [Figuur 6.1c](#)).
- ► Fig. 6.1 en ► 6.1(5) In doorsneden onderworpen aan een centrische drukbelasting moet de gemiddelde stuik in het beton beperkt blijven tot 0,002 (zie [Figuur 6.3](#)).
- Voor tussenliggende situaties wordt de vervormingslijn bepaald door aan te nemen dat de vervorming op $3/7^{\text{de}}$ van de hoogte gelijk is aan 0,002 (zie [Figuur 6.3](#)).

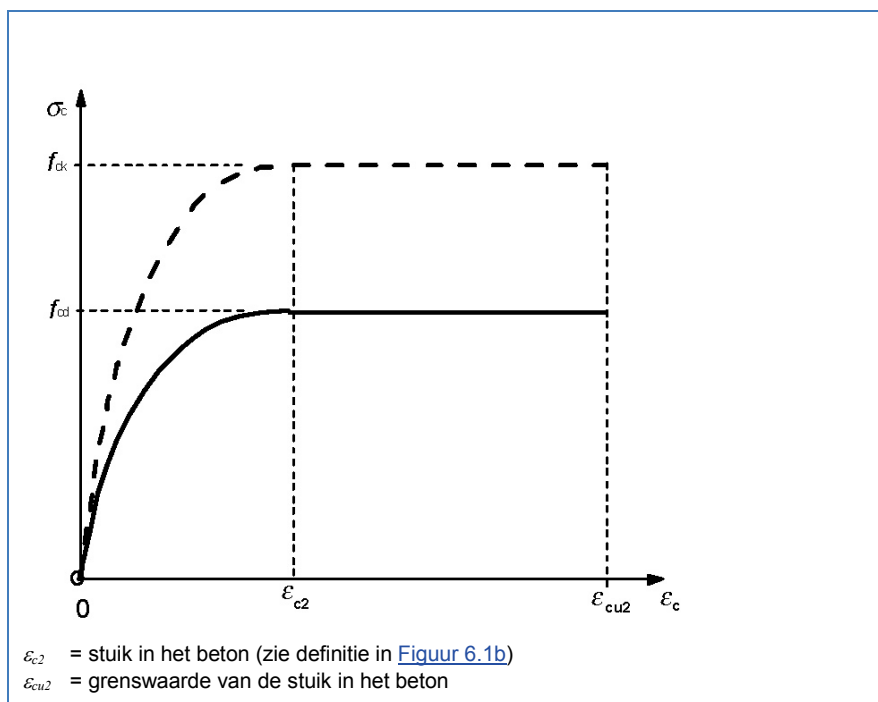
Figuur 6.1a Rechthoekige spanningsverdeling ► Fig. 3.5



Figuur 6.1b Spanningsverdeling volgens een parabool-rechthoek diagram ► Fig. 3.5

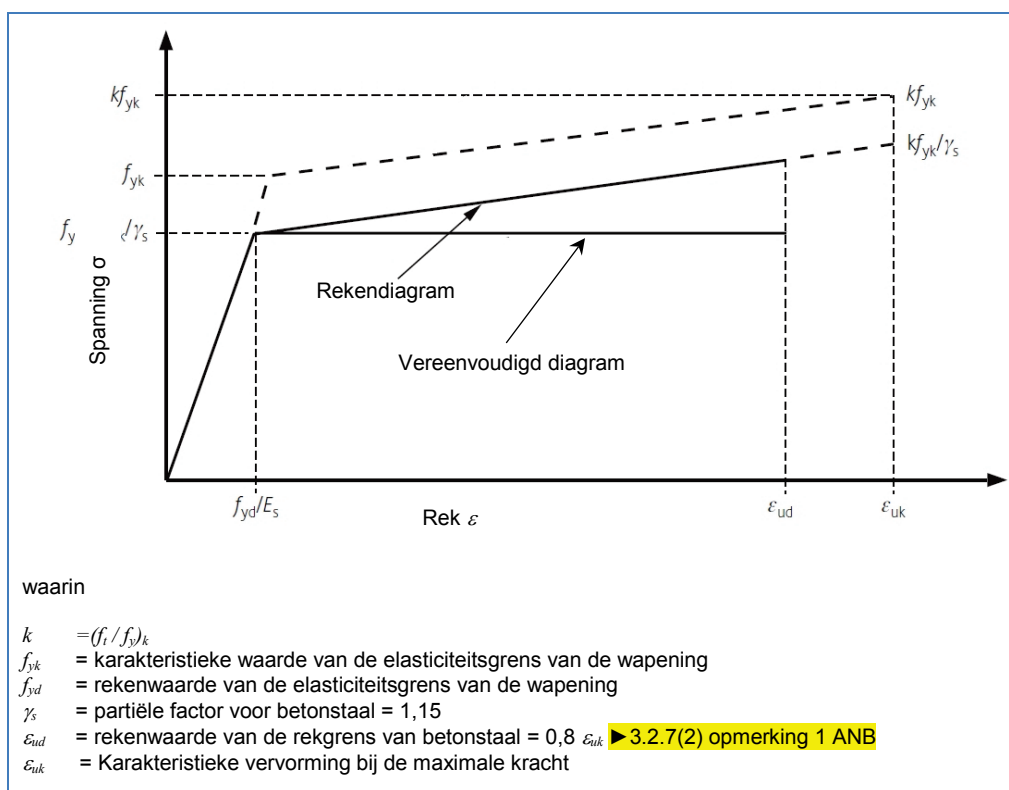


Figuur 6.1c Parabool-rechthoekdiagram voor gedrukt beton ► Fig. 3.3

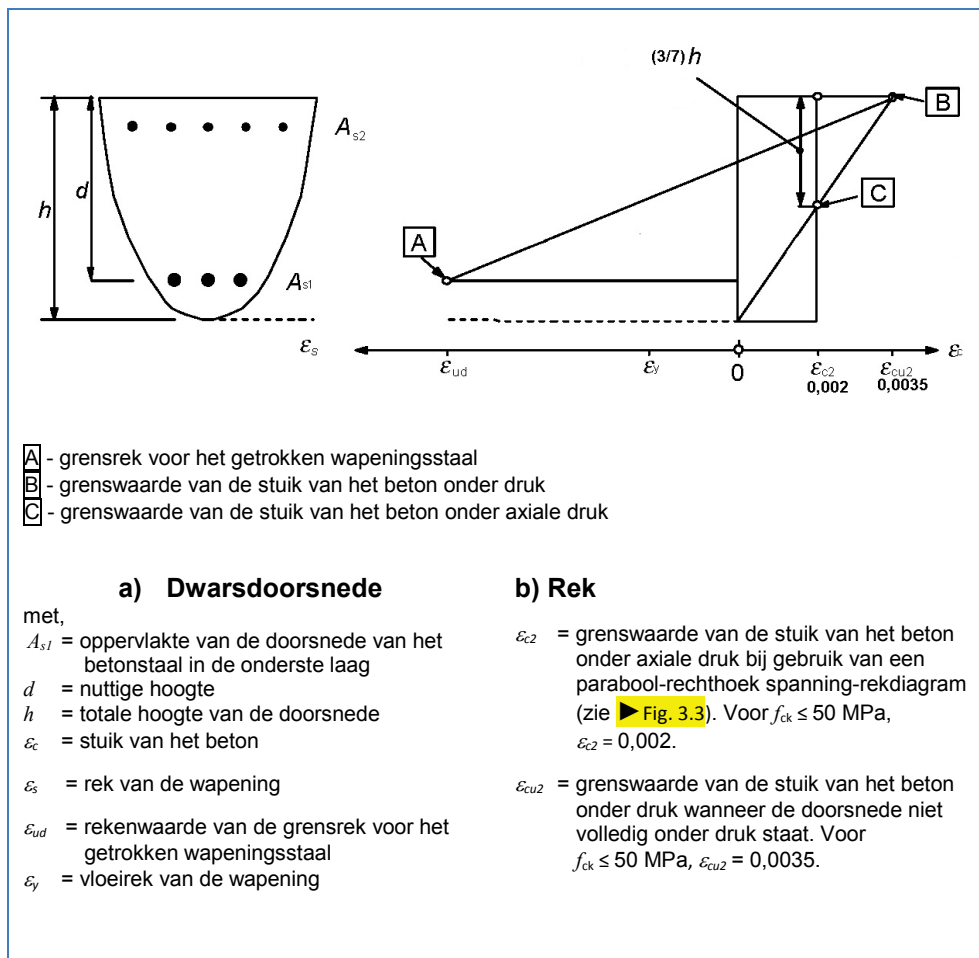


Figuur 6.2: Vereenvoudigd spanning-rekdiagram en rekendiagram voor betonstaal (voor trek en druk)

► Fig. 3.8



Figuur 6.3 Mogelijke rekverdelingen in de uiterste grenstoestand ► Fig. 6.1



7. Dwarskracht

7.1. Algemeen

7.1.1. Definities

► **6.2.1(1)** Voor het nazicht van de dwarskrachtweerstand worden de volgende grootheden gedefinieerd:

$V_{Rd,c}$ = de rekenwaarde van de dwarskrachtweerstand van een element zonder dwarskrachtwapening

$V_{Rd,s}$ = de rekenwaarde van de dwarskracht die kan worden opgenomen door de dwarskrachtwapening bij het bereiken van de elasticiteitsgrens

$V_{Rd,max}$ = de rekenwaarde van de maximale dwarskracht die kan worden opgenomen door het element bij het bezwijken van de drukdiagonalen

De rekenwaarde van de aangrijpende dwarskracht wordt genoteerd als V_{Ed} .

7.1.2. Vereisten met betrekking tot dwarskrachtwapening

Als $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$, is geen dwarskrachtwapening vereist. Echter, een minimum dwarskrachtwapening behoort te worden aangebracht (zie [Lid 10.4](#)):

► **6.2.1(4)**

Deze mag worden weggelaten:

- in elementen zoals platen (massieve, ribben- of kanaalplaten) indien herverdeling van belastingen in dwarsrichting mogelijk is
- in elementen van ondergeschikt belang (bijvoorbeeld lateien met overspanning $\leq 2,0$ m) die niet significant bijdragen aan de globale weerstand en stabiliteit van de constructie

Als $V_{Ed} > V_{Rd,c}$, is dwarskrachtwapening vereist zodat $V_{Rd,s} > V_{Ed}$. Men moet eveneens nagaan of de weerstand van de drukstangen niet is overschreden, met name:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

7.1.3. Gelijkmatic verdelde belastingen

► **6.2.1(8)** Voor elementen die voornamelijk worden onderworpen aan gelijkmatig verdelde belastingen is het volgende van toepassing:

- de dwarskracht berekend op de oplegging mag niet groter zijn dan $V_{Rd,max}$
- de vereiste dwarskrachtwapening behoort te worden berekend op een afstand d van het dagvlak van de oplegging en door te lopen tot aan de ondersteuning

7.1.4. Getrokken langswapening

► **6.2.1(7), 9.2.1.3(2) en 6.2.3(7)** De langswapening moet in staat zijn de bijkomende trekkracht als gevolg van de dwarskracht te weerstaan (zie [Lid 12.2.2](#)).

7.2. Weerstand van elementen zonder dwarskrachtwapening

► **6.2.2(1) & ANB** De dwarskrachtweerstand van elementen zonder dwarskrachtwapening mag als volgt worden berekend:

$$V_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} k \cdot \sqrt[3]{100 \rho_l f_{ck}} \cdot b_w d \geq 0,035 \sqrt{k^3 f_{ck}} \cdot b_w d$$

waarin

f_{ck} in MPa

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (d \text{ in mm ; zie Tabel 7.1})$$

$$\gamma_c = 1,5$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$$

 $V_{Rd,c}$ in N

met

A_{sl} = de oppervlakte van de doorsnede van de trekwapening die meer dan $l_{bd} + d$ voorbij de beschouwde doorsnede doorloopt ([Figuur 7.1](#))

waarbij

l_{bd} = rekenwaarde van de verankeringslengte

b_w = kleinste breedte van de doorsnede in de trekzone (mm)

Als alternatief:

$V_{Rd,c} = b_w d v_{Rd,c}$ met $v_{Rd,c}$ volgens [Tabel 7.1](#)

► **6.2.2(1) ANB** Voor platen die continu ondersteund zijn langs hun randen, mag $V_{Rd,c}$ en zijn ondergrens, vermenigvuldigd worden met een factor 1,25.

► **6.2.2(6)** Wanneer een belasting aangrijpt aan de bovenzijde van een element op een afstand a_v , vanaf het dagvlak van de ondersteuning waarbij $0,5d \leq a_v \leq 2d$ (zie [Figuur 7.2](#)) (of het midden van het oplegtoestel bij gebruik van flexibel materiaal), mag de bijdrage van deze belasting aan de dwarskracht V_{Ed} gereduceerd worden door vermenigvuldiging met een factor $\beta = a_v/2d$.

Deze reductie mag worden toegepast voor het nazicht van $V_{Rd,c}$ volgens de hierboven vermelde formule. Deze reductie is alleen toegestaan als de volledige langswapening op de oplegging wordt verankerd.

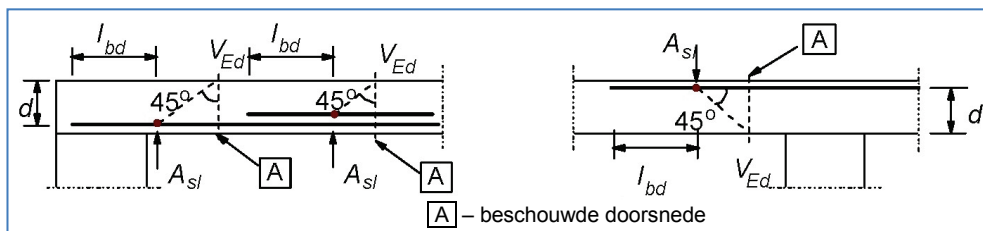
Voor $a_v \leq 0,5d$, behoort $a_v = 0,5d$ te worden aangenomen.

De waarde van V_{Ed} , berekend zonder toepassing van de reductiefactor β , behoort aan de volgende voorwaarde te voldoen teneinde verbrijzeling van de betondrukschoren te voorkomen:

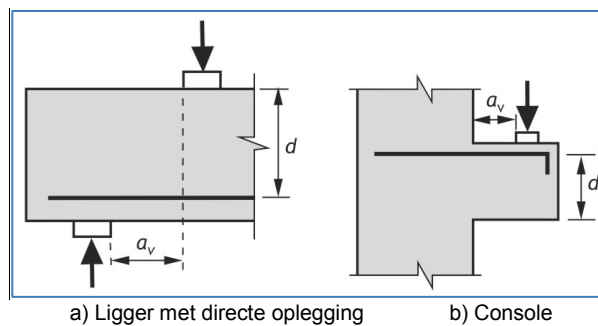
$$V_{Ed} \leq 0,5b_w d v f_{cd} \text{ waarin } v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \text{ met } f_{ck} \text{ in MPa}$$

Tabel 7.1 Dwarskrachtweerstand van een element zonder dwarskrachtwapening, $v_{Rd,c}$ (MPa)

ρ_l	Nuttige hoogte d (mm)										
	≤ 200	225	250	275	300	350	400	450	500	600	750
0,25 %	0,54	0,52	0,50	0,48	0,47	0,45	0,43	0,41	0,40	0,38	0,36
0,50 %	0,59	0,57	0,56	0,55	0,54	0,52	0,51	0,49	0,48	0,47	0,45
0,75 %	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,59	0,58	0,56	0,55	0,53	0,51
1,00 %	0,75	0,72	0,71	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62	0,61	0,59	0,57
1,25 %	0,80	0,78	0,76	0,74	0,73	0,71	0,69	0,67	0,66	0,63	0,61
1,50 %	0,85	0,83	0,81	0,79	0,78	0,75	0,73	0,71	0,70	0,67	0,65
1,75 %	0,90	0,87	0,85	0,83	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,68
$\geq 2,00$ %	0,94	0,91	0,89	0,87	0,85	0,82	0,80	0,78	0,77	0,74	0,71
k	2,000	1,943	1,894	1,853	1,816	1,756	1,707	1,667	1,632	1,577	1,516
Opmerkingen De tabelwaarden zijn afgeleid voor $f_{ck} = 30$ MPa vermenigvuldigen met Voor $\rho_l \geq 0,4$ % en $f_{ck} = 25$ MPa, vermenigvuldigen met 0,94 $f_{ck} = 45$ MPa, vermenigvuldigen met 1,14 $f_{ck} = 35$ MPa, vermenigvuldigen met 1,05 $f_{ck} = 50$ MPa, vermenigvuldigen met 1,19 $f_{ck} = 40$ MPa, vermenigvuldigen met 1,10 Niet toepaselijk voor $f_{ck} > 50$ MPa											

Figuur 7.1 Definitie van A_{sl} ► Fig. 6.3

Figuur 7.2 Belastingen dichtbij opleggingen ► Fig. 6.4

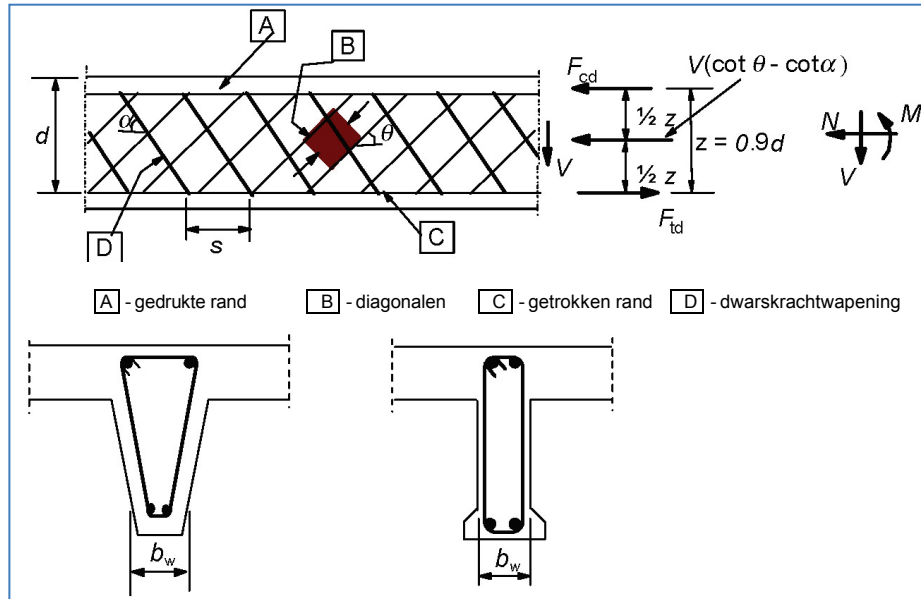
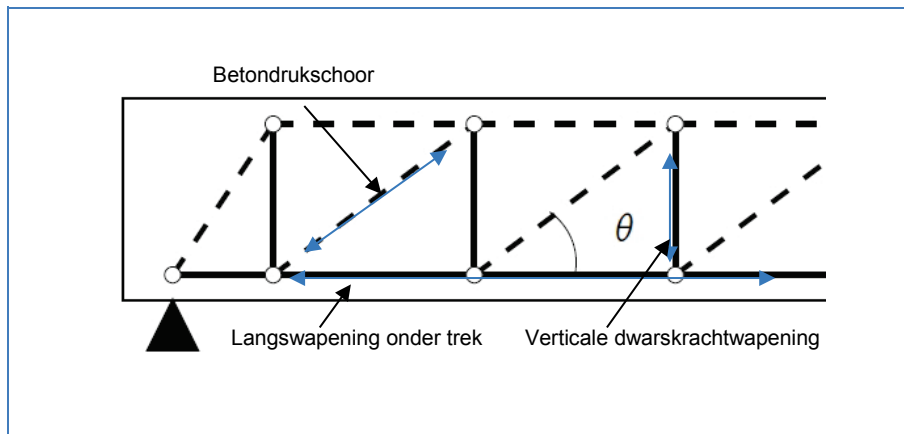


7.3. Weerstand van elementen met dwarskrachtwapening

7.3.1. Basis

► 6.2.3(1) De berekening is gebaseerd op een plastisch vakwerkmodel (Figuur 7.3) waarvan in Figuur 7.4 een vereenvoudigde versie is getoond.

Figuur 7.3 Vakwerkmodel en notaties voor elementen met dwarskrachtwapening ► Fig. 6.5

Figuur 7.4 Variabele hellingshoek θ van de diagonaal.

7.3.2. Controle van de dwarskrachtweerstand

De dwarskrachtweerstand is begrensd door de capaciteit van de drukschoren. Men moet zich er dus van verzekeren dat:

► Vgl. (6.9) ► Vgl. (6.14) & ANB

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

met

$$V_{Rd,max} = \frac{b_w z v f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

bij verticale dwarskrachtwapening

$$V_{Rd,max} = b_w z v f_{cd} \frac{\cot \theta + \cot \alpha}{1 + \cot^2 \theta}$$

bij gehelde dwarskrachtwapening

waarin ► 6.2.3(3) & ANB

z = de inwendige hefboomsarm; meestal mag een benaderende waarde van 0,9 d worden aangenomen ► 6.2.3(1)

$$\nu = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = \text{reductiefactor voor de betonsterkte, gescheurd door dwarskracht}$$

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \quad \text{met } \alpha_{cc} = 1,0 \quad \text{en } f_{ck} \text{ in MPa}$$

θ = is de hellingshoek van de drukschoor zodanig dat $\cot\theta$ begrepen is tussen 1,0 en 2,5. De optimale waarde van $\cot\theta$ kan bekomen worden door $V_{Rd,max}$ te vervangen door V_{Ed}

α = hoek tussen de dwarskrachtwapening en de as van de ligger. Bij verticale dwarskrachtwapening is $\cot\alpha = 0$.

In de meeste praktijksituaties, waarin wordt gekozen voor verticale dwarskrachtwapening, kan worden volstaan met het controleren van spanningen in plaats van weerstanden, door gebruik te maken van [Tabel 7.2](#). De volgende ongelijkheid moet worden nagezien:

$$v_{Ed,z} \leq v_{Rd,max}$$

waarin

$$v_{Ed,z} = \frac{V_{Ed}}{b_w z} = \frac{V_{Ed}}{b_w 0,9d} \quad \text{de aangrijpende schuifspanning}$$

$$v_{Rd,max} = \frac{V_{Rd,max}}{b_w z} = \frac{V_{Rd,max}}{b_w 0,9d} \quad \text{waarvan de waarden vermeld zijn in [Tabel 7.2](#)}$$

Als $v_{Ed,z} \leq$ de waarde van $v_{Rd,max}$ voor $\cot\theta = 2$, dan is $\theta = 26,6^\circ$ en $\cot\theta = 2$.

Als $v_{Ed,z} >$ de waarde van $v_{Rd,max}$ voor $\cot\theta = 1,0$, dan moet de doorsnede opnieuw worden ontworpen.

Als $v_{Ed,z}$ gelegen is tussen de waarden voor $\cot\theta = 2$ en $\cot\theta = 1,0$, dan moeten θ en $\cot\theta$ worden berekend met de uitdrukking voor $V_{Rd,max}$, waarin $V_{Rd,max}$ vervangen wordt door V_{Ed} .

De waarden voor $v_{Rd,max}$ mogen door interpolatie worden ontleend aan [Tabel 7.2](#)

Tabel 7.2 Weerstand van de betondrukschoren uitgedrukt als een spanning, $v_{Rd,max}$

f_{ck}	$v_{Rd,max}$ (MPa)						ν
	$\theta = 26,57^\circ$ $\cot\theta = 2$	$29,05^\circ$ 1,8	$32,01^\circ$ 1,6	$35,54^\circ$ 1,4	$39,81^\circ$ 1,2	45° 1,0	
20	2,94	3,12	3,31	3,48	3,62	3,68	0,552
25	3,60	3,82	4,04	4,26	4,43	4,50	0,540
30	4,22	4,48	4,75	4,99	5,19	5,28	0,528
35	4,82	5,11	5,41	5,69	5,92	6,02	0,516
40	5,38	5,71	6,04	6,36	6,61	6,72	0,504
45	5,90	6,27	6,63	6,98	7,26	7,38	0,492
50	6,40	6,79	7,19	7,57	7,87	8,00	0,480
Opmerking De tabelwaarden zijn afgeleid op basis van NBN EN 1992-1-1, uitgaande van verticale dwarskrachtwapening, dat wil zeggen $\cot\alpha = 0$.							

7.3.3. Benodigde hoeveelheid dwarskrachtwapening, A_{sw}/s

De oppervlakte van de doorsnede van de dwarskrachtwapening wordt berekend zodanig dat aan de volgende voorwaarde voldaan is:

► Exp. (6.13)

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha \geq V_{Ed}$$

waarin

► 6.2.3

A_{sw} = oppervlakte van de doorsnede van de dwarskrachtwapening (voor $A_{sw,min}$ zie [Lid 10.4.1](#))

s = hart-op-hartafstand van de beugels

z = inwendige hefboomsarm (meestal mag een waarde van $0,9 d$ worden gebruikt)

f_{ywd} = f_{yk}/γ_s = rekenwaarde van de elasticiteitsgrens van de dwarskrachtwapening

α = hoek tussen de dwarskrachtwapening en de as van de ligger

Voor verticale dwarskrachtwapening, $\cot\alpha = 0$ en $\sin\alpha = 1,0$ ($\alpha = 90^\circ$)

► Vgl. (6.8)

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot\theta} \quad \text{of} \quad \frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{v_{Ed,z} b_w}{f_{ywd} \cot\theta}$$

7.3.4. Bijkomende trekkrachten

De bijkomende trekkracht, die door de helling van de drukschoren in de langswapening optreedt, is:

$$\Delta F_{td} = 0,5 V_{Ed} (\cot\theta - \cot\alpha)$$

► Vgl. (6.18)

► 9.2.1.3(2) Deze bijkomende trekkracht is de aanleiding tot het gebruik van de ‘verschuiwingsregel’ voor het bepalen van de posities waar de langswapening mag worden geschorst (zie [Lid 12.2.2](#)).

7.3.5. Elementen met belastingen aangrijpend aan de bovenzijde in de nabijheid van steunpunten

► 6.2.3(8) Wanneer belastingen aangrijpen aan de bovenzijde van een element op een afstand a_v , vanaf het dagvlak van de ondersteuning waarbij $0,5d < a_v < 2,0d$, mag de bijdrage van deze belasting aan de aangrijpende dwarskracht V_{Ed} worden verminderd met de factor $\beta = a_v / 2d$.

De reductie met β mag enkel toegepast worden voor de berekening van de dwarskrachtwapening. Deze reductie geldt enkel op voorwaarde dat de langswapening volledig is verankerd op de oplegging.

Voor de aldus berekende dwarskracht V_{Ed} , moet voldaan zijn aan de voorwaarde:

$$A_{sw} f_{ywd} \geq \frac{V_{Ed}}{\sin\alpha}$$

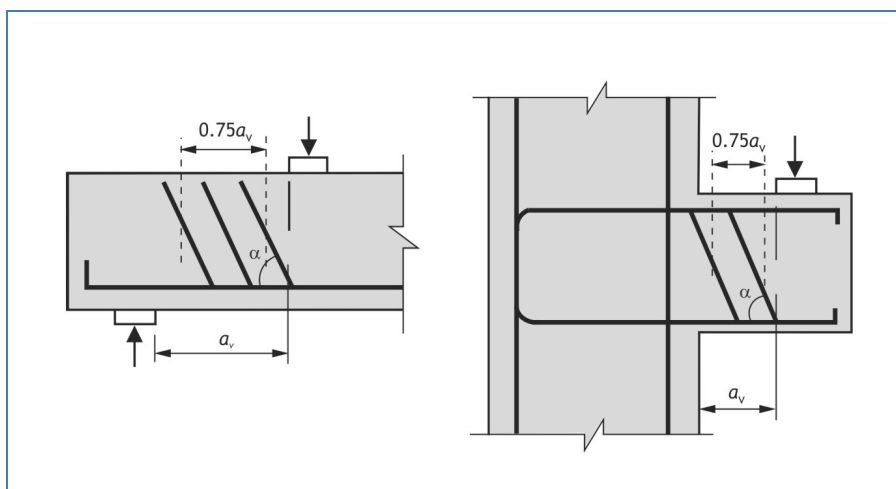
waarin

A_{sw} = oppervlakte van de doorsnede van de dwarskrachtwapening binnen het middelste deel, over een lengte van 75 % van a_v (zie [Figuur 7.5](#)).

De waarde van V_{Ed} berekend zonder toepassing van de reductiefactor β moet echter altijd voldoen aan de volgende voorwaarde teneinde verbrijzeling van de drukschoren te vermijden:

$$V_{Ed} \leq 0,5 b_w d v f_{cd} \quad \text{waarin } v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \text{ met } f_{ck} \text{ in MPa}$$

Figuur 7.5 Dwarskrachtwapening bij kleine dwarskrachtoverspanningen met directe belastingsafdracht ► Fig. 6.6



7.3.6. Elementen met belastingen aangrijpend aan de onderzijde

► 6.2.1(9) Indien een belasting dichtbij de onderzijde van een doorsnede aangrijpt moet, in aanvulling op de benodigde dwarskrachtwapening, voldoende verticale wapening worden aangebracht om de belasting naar de bovenzijde van de doorsnede te kunnen overdragen.

8. Pons

8.1. Algemeen

8.1.1. Ontwerputgangspunten

► 6.4.1 Pons kan het gevolg zijn van een geconcentreerde belasting, aangrijpend op een relatief kleine oppervlakte van een plaat of, meest gebruikelijk, van de reactie van een kolom op een plaat. De optredende spanningen worden getoetst met behulp van controle-omtrekken rond het belaste gebied.

► 6.4.2(1) De ponskracht werkt over een oppervlakte ud , met u de lengte van een perimeter en d en de nuttige hoogte van de plaat, gelijk aan het gemiddelde van de nuttige hoogten in twee onderling loodrechte richtingen.

8.1.2. Rekenmethode

Langsheen de omtrek van de kolom of van de belaste oppervlakte:

- Men dient ervoor te zorgen dat de maximum waarde van de ponssterkte niet overschreden wordt, hetgeen wil zeggen dat $v_{Ed} < v_{Rd,max}$ (in het tegengesteld geval moeten de afmetingen aangepast te worden; zie [Lid 8.6](#)).

► 6.4.3(2) & AC Langsheen de opeenvolgende controle-omtrekken:

- Men dient vast te stellen of ponswapening vereist is, dat wil zeggen of $v_{Ed} > v_{Rd,c}$.
- Indien vereist, voorzie dan wapening zodat $v_{Ed} \leq v_{Rd,cs}$ (zie [Lid 8.5](#)).

waarin

v_{Ed} = ► 6.4.3(3) rekenwaarde van de optredende schuifspanning. De ponskracht gebruikt bij de toetsing is een effectieve waarde waarin rekening is gehouden met elk buigend moment dat wordt overgedragen naar de plaat (zie [Lid 8.2](#) en [8.3](#))

$v_{Rd,max}$ = ► 6.4.3(1) rekenwaarde van de maximum ponsweerstand, uitgedrukt onder de vorm van een spanning (zie [Lid 8.6](#) en [Lid 7.2](#))

$v_{Rd,c}$ = ► 6.4.4(1) rekenwaarde van de ponsweerstand van een plaat zonder ponswapening, uitgedrukt onder de vorm van een spanning (zie [Lid 8.4](#))

$v_{Rd,cs}$ = ► 6.4.5(1) rekenwaarde van de ponsweerstand van een plaat met ponswapening, uitgedrukt onder de vorm van een spanning (zie [Lid 8.5](#))

8.2. Optredende schuifspanning

8.2.1. Algemeen

► 6.4.3(3) De optredende schuifspanning is $v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i d}$

waarin

d = de gemiddelde nuttige hoogte

u_i = de beschouwde controle-omtrek (zie [Lid 8.3](#))

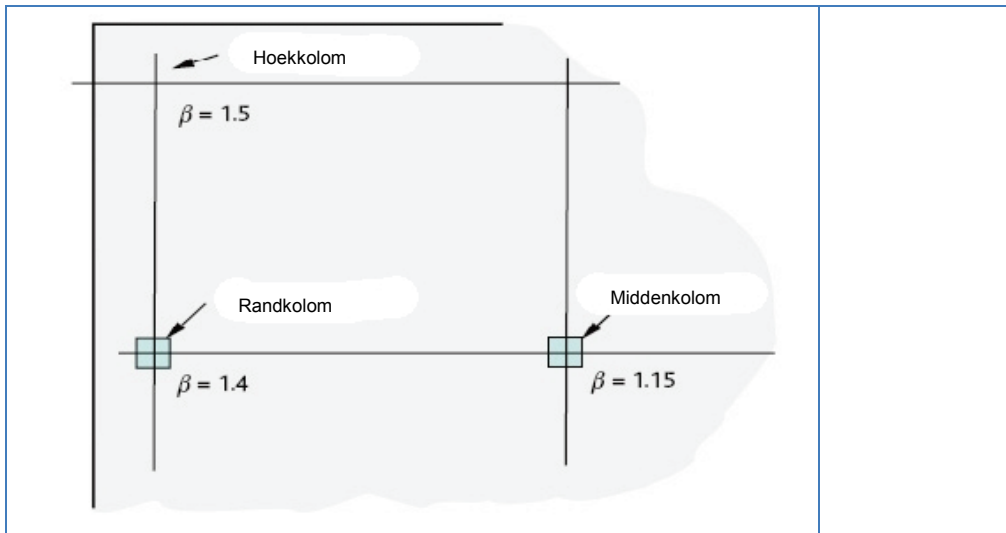
V_{Ed} = aangrijpende ponskracht

β = factor met betrekking tot de excentriciteit

8.2.2. Waarden van β (conservatieve forfaitaire waarden)

► 6.4.3(6) Voor geschoorde constructies, waarvan de lengtes van de opeenvolgende overspanningen niet meer dan 25 % verschillen, mogen de waarden voor β uit [Figuur 8.1](#) worden gebruikt.

Figuur 8.1 Aanbevolen waarden voor β ► Fig. 6.21N & ANB



8.2.3. Waarden van β (via berekening)

► 6.4.3(3) Als alternatief voor de forfaitaire waarden vermeld in [Lid 8.2.2](#), kunnen de waarden van β bekomen worden door gebruik te maken van de volgende rekenmethoden.

8.2.3.1 Middenkolommen

- a) Voor rechthoekige middenkolommen met een normaalkracht excentrisch ten opzichte van de as

$$\beta = 1 + \frac{k M_{Ed}}{V_{Ed}} \frac{u_1}{W_1} \quad \text{► Vgl. (6.39)}$$

waarin

- k = coëfficiënt die afhangt van de verhouding tussen de kolomafmetingen c_1 en c_2 zoals getoond in [Figuur 8.2](#) (zie [Tabel 8.1](#))
- M_{Ed} = rekenwaarde van het totaal buigend moment
- u_1 = lengte van de eerste controle-omtrek (zie [Figuur 8.3](#))
- W_1 = stemt overeen met een schuifspanningsverdeling zoals geïllustreerd in [Figuur 8.2](#) en is een functie van de eerste controle-omtrek u_1

$$W_1 = \int_0^{u_1} |e| dl \quad \text{► Vgl. (6.40) & AC}$$

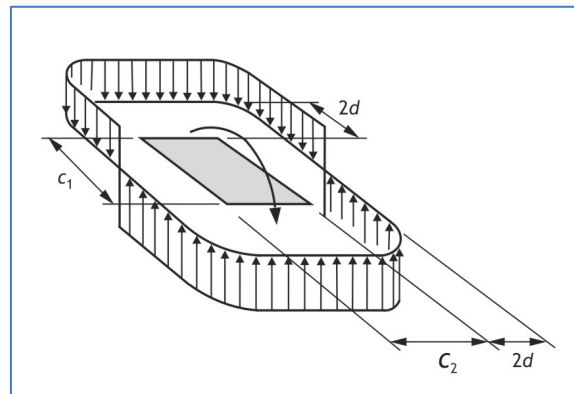
waarin

- $|e|$ = absolute waarde van de afstand van dl tot de as waaromheen het moment M_{Ed} aangrijpt
- dl = een elementaire lengte van de omtrek

Voor een rechthoekige kolom is

$$W_1 = c_1^2/2 + c_1 c_2 + 4 c_2 d + 16 d^2 + 2 \pi d c_1$$

Figuur 8.2 Schuifspanningsverdeling ten gevolge van een over te dragen moment bij de verbinding van een plaat met een middenkolom
► Fig. 6.19



Tabel 8.1 Waarden van k voor rechthoekige belaste gebieden ► Tabel 6.1

c_1/c_2	$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
k	0,45	0,60	0,70	0,80

- b) Voor rechthoekige middenkolommen met een normaalkracht excentrisch ten opzichte van twee assen:

$$\beta = 1 + 1,8 \sqrt{\left(\frac{e_y}{b_z}\right)^2 + \left(\frac{e_z}{b_y}\right)^2}$$

► Vgl. (6.43)

waarin

e_y en $e_z = M_{Ed}/V_{Ed}$ respectievelijk langs de y- en de z-as
 b_y en b_z = afmetingen van de controle-omtrek (zie Figuur 8.3)

- c) Voor cirkelvormige middenkolommen:

$$\beta = 1 + 0,6\pi \frac{e}{D + 4d}$$

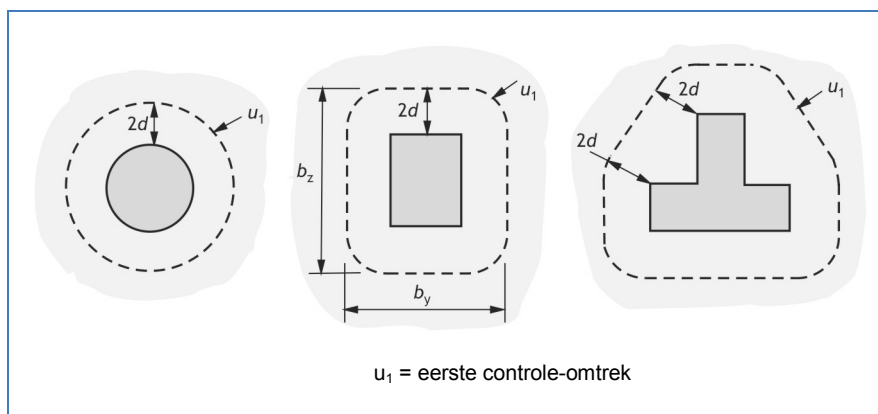
► Vgl. (6.42)

waarin

D = diameter van de cirkelvormige kolom

$e = M_{Ed}/V_{Ed}$

Figuur 8.3 Kenmerkende eerste controle-omtrekken rond belaste gebieden ► Fig. 6.13



8.2.3.2 Randkolommen**► 6.4.3(4)**

- a) Voor randkolommen met een excentriciteit van de normaalkracht loodrecht op de plaatrand en die naar binnen is gericht, is, $\beta = u_1/u_{1*}$

waarin

u_1 = eerste controle-omtrek (zie [Figuur 8.4](#))

u_{1*} = verkleinde eerste controle-omtrek (zie [Figuur 8.5](#))

- b) Voor randkolommen met een excentriciteit van de normaalkracht in beide orthogonale richtingen, die naar binnen is gericht, is

$$\beta = \frac{u_1}{u_{1*}} + k \frac{u_1}{W_1} e_{\text{par}}$$

► Vgl. (6.44)

waarin

k = coëfficiënt afhankelijk van de verhouding tussen de kolomafmetingen c_1 en c_2 zoals getoond in [Figuur 8.5](#) (zie [Tabel 8.2](#))

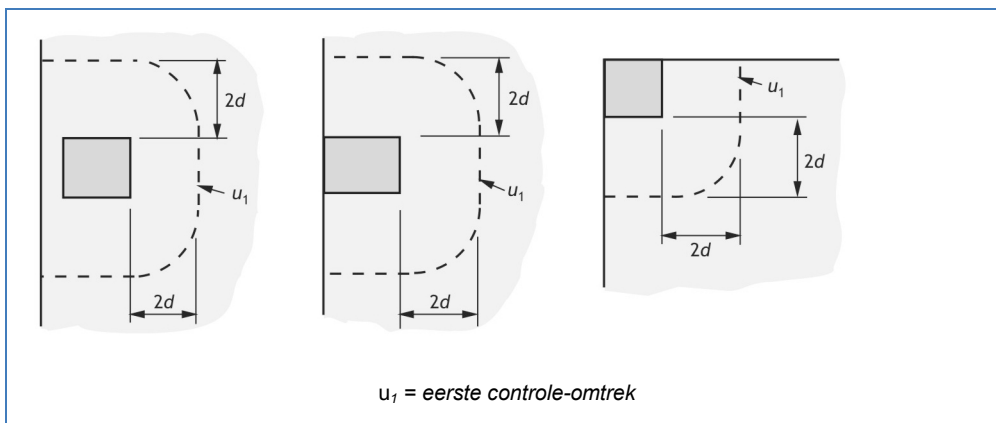
e_{par} = excentriciteit evenwijdig aan de plaatrand ten gevolge van een moment om een as loodrecht op de plaatrand

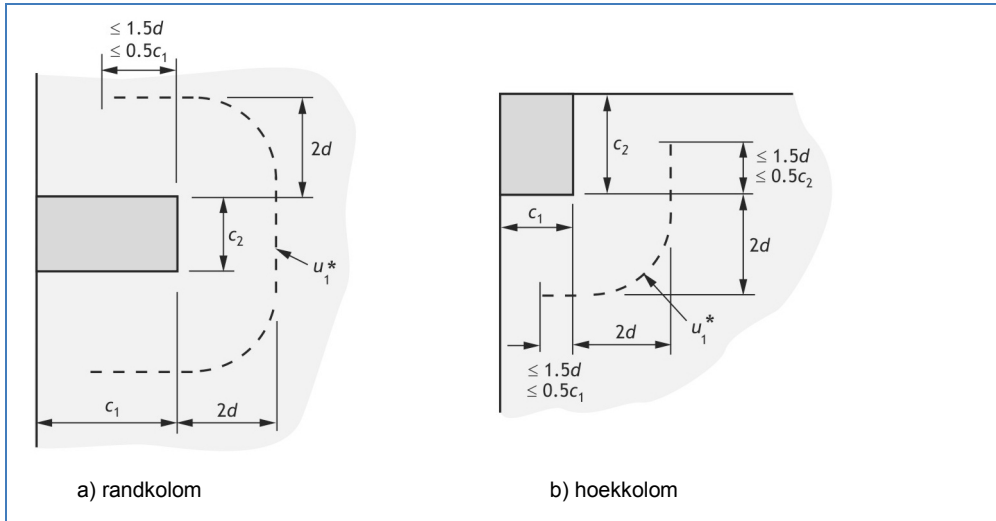
$$W_1 = \frac{c_2^2/4 + c_1 c_2 + 4c_1 d + 8d^2 + \pi d c_2}{(6.45)} \quad \text{► Vgl.}$$

met

c_1 en c_2 volgens [Figuur 8.5](#)

Figuur 8.4 Eerste controle-omtrek voor belaste gebieden dichtbij een rand of een hoek Fig. 6.15



Figuur 8.5 Verkleinde eerste controle-omtrek u_1^* voor een rand- en een hoekkolom ► Fig. 6.20Tabel 8.2 Waarden van k voor rechthoekige belaste gebieden aan de rand van een plaat met excentriciteit van de normaalkracht in beide orthogonale richtingen

$c_1/(2c_2)^*$	$\leq 0,5$	1,0	2,0	$\geq 3,0$
k	0,45	0,60	0,70	0,80
Opmerking				
* afwijkend ten opzichte van Tabel 8.1				

8.2.3.3 Hoekkolommen

► 6.4.3(5)

Voor hoekkolommen, waarbij de excentriciteit naar binnen is gericht, is

$$\beta = u_1/u_1^* \quad \text{► Exp. (6.46)}$$

waarin

u_1 = lengte van de eerste controle-omtrek (zie [Figuur 8.4](#))

u_1^* = verkleinde eerste controle-omtrek (zie [Figuur 8.5](#))

8.2.3.4 Rand- en hoekkolommen met een naar buiten gerichte excentriciteit

► 6.4.3(4) en 6.4.3(5)

Voor rand- en hoekkolommen met een naar buiten gerichte excentriciteit geldt

$$\beta = 1 + k \frac{M_{Ed}}{V_{Ed}} \frac{u_1}{W_1} \quad \text{► Vgl. (6.39)}$$

zoals hiervoor vermeld voor middenkolommen. Echter wordt de excentriciteit e berekend vanuit het zwaartepunt van de controle-omtrek.

8.3. Controle-omtrekken

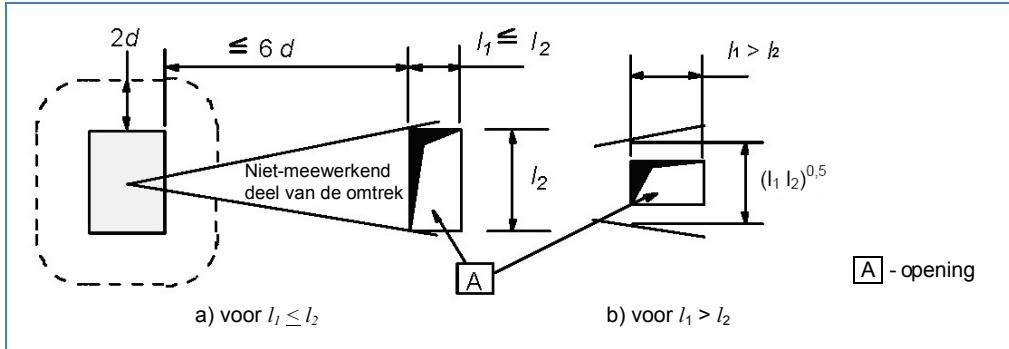
8.3.1. Eerste controle-omtrek u_1 (middenkolommen)

► 6.4.2(1) De eerste controle-omtrek u_1 mag worden vastgelegd op een afstand $2,0d$ van de rand van het belast gebied en wordt zo geconstrueerd, dat zijn lengte zo klein mogelijk is. Enkele voorbeelden zijn weergegeven in [Figuur 8.3](#).

8.3.2. Openingen

► 6.4.2(3) Als in de plaat openingen aanwezig zijn waarvoor geldt dat de afstand van de rand van het belaste gebied tot de rand van de opening niet groter is dan $6d$, wordt een gedeelte van de controle-omtrek als niet-meewerkend beschouwd, zoals weergegeven in [Figuur 8.6](#).

Figuur 8.6 Controle-omtrek dichtbij een opening ► Fig. 6.14



8.3.3. Kolommen nabij een rand of hoek

► 6.4.2(4) Voor rand- of hoekkolommen (of belaste gebieden) mag de eerste controle-omtrek u_1 zoals getoond in [Figuur 8.4](#), gebruikt worden voor centrische belastingen. Deze omtrek mag niet groter zijn dan de omtrek die met [Figuur 8.3](#) wordt gevonden voor een middenkolom (zie [Lid 8.3.1](#)).

Als de excentriciteit van de normaalkracht naar binnen is gericht, moet de verkleinde controle-omtrek u_{1*} gebruikt worden zoals voorgesteld in [Figuur 8.5](#) en vastgelegd in [Lid 8.2.3.2](#) en [8.2.3.3](#).

8.3.4. Kolomkoppen

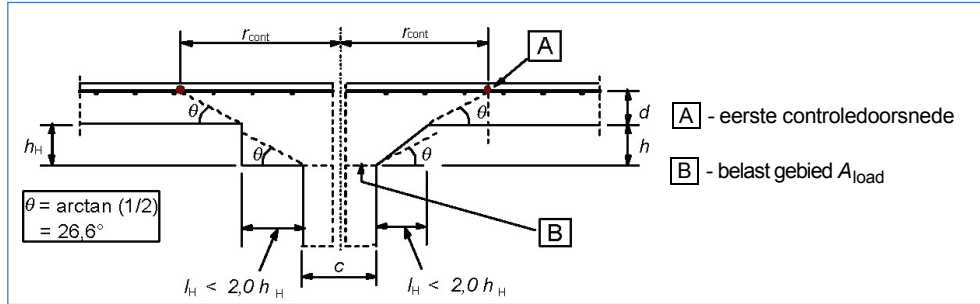
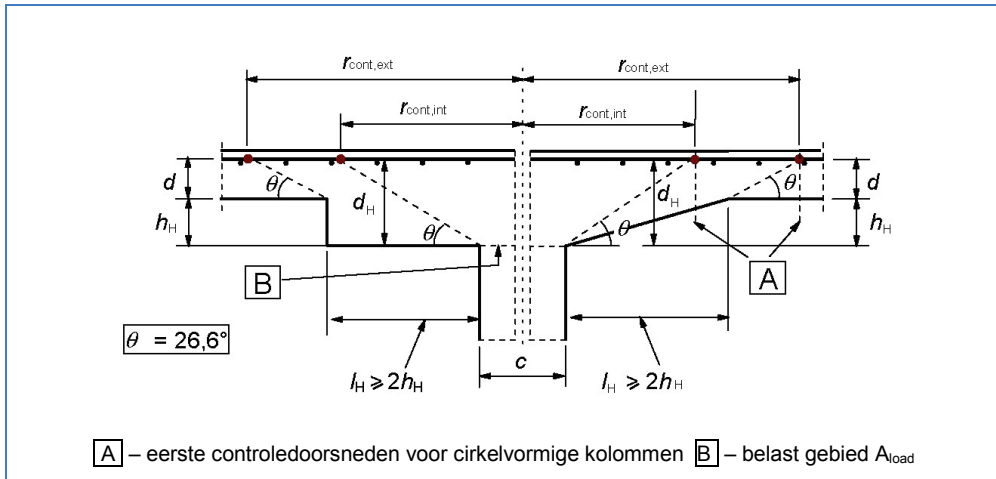
► 6.4.2(8) Wanneer kolomkoppen worden toegepast moet onderscheid worden gemaakt tussen de gevallen waarbij $l_H > 2h_H$ en waarbij $l_H < 2h_H$

waarin

l_H = afstand vanaf de rand van de kolom tot de rand van de kolomkop

h_H = hoogte van de kolomkop onder de onderzijde van de plaat

Indien $l_H < 2h_H$, moet pons enkel nagezien worden in de controledoorsnede buiten de kolomkop (zie [Figuur 8.8](#)). Indien $l_H \geq 2h_H$, moeten beide kritieke doorsneden, deze binnen de kolomkop en deze in de plaat, worden gecontroleerd (zie [Figuur 8.9](#)).

Figuur 8.8 Plaat met kolomkop waarbij $l_H < 2,0 h_H$ ► Fig. 6.17Figuur 8.9 Plaat met kolomkop waarbij $l_H \geq 2 h_H$ ► AC Fig. 6.18

8.4. Ponsweerstand zonder ponswapening

► 6.4.4 De eerste controledoorsnede u_1 moet worden gebruikt om te controleren of ponswapening vereist is, dit wil zeggen of de optredende schuifspanning, v_{Ed} , groter is dan de rekenwaarde van de ponsweerstand $v_{Rd,c}$ (zie Hoofdstuk 7, Tabel 7.1).

► Vgl. (6.47) & ANB

$$v_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} k \cdot \sqrt[3]{100 \rho_l f_{ck}} \geq v_{min}$$

waarin

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 \quad (d \text{ in mm})$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} \rho_{lz}} \leq 0,02$$

met

ρ_{ly} en ρ_{lz} = gemiddelde wapeningsverhoudingen van de getrokken langswapening in elke richting, rekening houdend met een plaatbreedte gelijk aan de kolombreedte + 3d aan elke zijde

$$v_{min} = 0,035 \sqrt{k^3 f_{ck}}$$

8.5. Ponsweerstand met ponswapening

► 6.4.5 In elke controle-omtrek waarin de optredende schuifspanning v_{Ed} groter is dan $v_{Rd,c}$, moet ponswapening worden aangebracht om de vereiste weerstand te bekomen, gebruikmakend van de volgende uitdrukking

► Vgl. (6.52)

$$v_{Rd,cs} = 0,75v_{Rd,c} + 1,5 \frac{d}{s_r} \frac{A_{sw}}{u_1 d} f_{ywd,ef} \sin \alpha$$

waarin

- A_{sw} = oppervlakte van de doorsnede van de ponswapening langsheen één omtrek rond de kolom (voor $A_{sw,min}$ zie [Lid 10.4.2](#))
 s_r = radiale afstand tussen twee opeenvolgende omtrekken van de ponswapening
 $f_{ywd,ef}$ = effectieve rekenwaarde van de elasticiteitsgrens van de ponswapening $(250 + 0,25d) \leq f_{ywd}$ (in MPa)
 d = gemiddelde nuttige hoogte in de orthogonale richtingen (in mm)
 u_1 = lengte van de eerste controle-omtrek (zie [Figuur 8.3](#))
 $\sin \alpha$ = sinus van de hoek tussen de ponswapening en het vlak van de plaat (1,0 voor verticale ponswapening)

Bij verticale ponswapening kan A_{sw} bekomen worden met behulp van de uitdrukking:

$$A_{sw} = \left(\frac{v_{Ed} - 0,75v_{Rd,c}}{1,5f_{ywd,ef}} \right) s_r u_1$$

8.6. Ponsweerstand direct langs kolommen

► 6.4.5(3) ANB Direct langs een kolom met omtrek u_0 , moet de optredende schuifspanning voldoen aan

$$v_{Ed} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max}$$

waarin

- β = coëfficiënt die betrekking heeft op de excentriciteit (zie [Lid 8.2](#))
 V_{Ed} = aangrijpende ponskracht
 d = gemiddelde nuttige hoogte
 u_0 = $2(c_1 + c_2)$ voor middenkolommen
 = $c_2 + 3d \leq c_2 + 2c_1$ voor randkolommen
 = $3d \leq c_2 + c_1$ voor hoekkolommen

met

- c_1 = hoogte van de dwarsdoorsnede van de kolom (voor randkolommen gemeten loodrecht op de vrije rand)
 c_2 = breedte van de kolom zoals aangeduid in [Figuur 8.5](#)

$$v_{Rd,max} = 0,5 v_{fd}$$

waarin

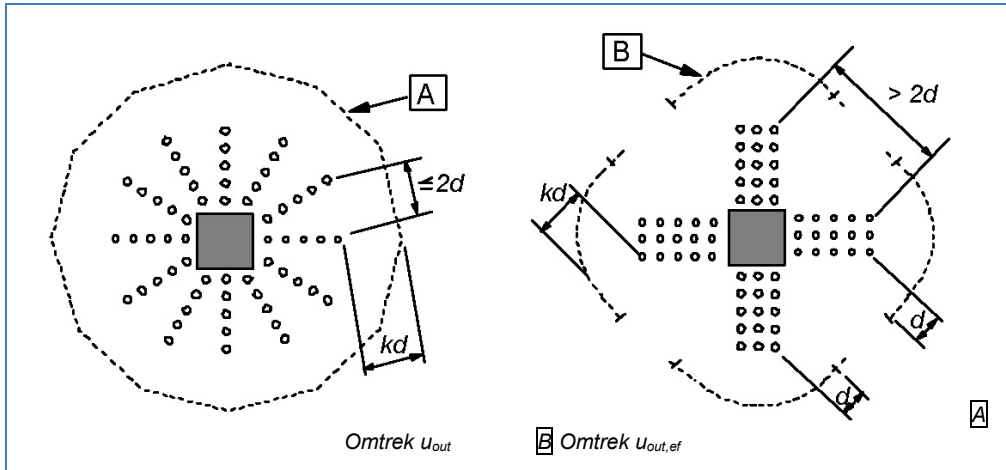
$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) (f_{ck} \text{ in MPa})$$

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \text{ met } \alpha_{cc} = 1,0$$

8.7. Controle-omtrek waarvoor geen ponswapening vereist is, u_{out}

► 6.4.5(4) & ANB Ponswapening is niet meer vereist buiten de perimeter waarvoor geldt dat de schuifspanning ten gevolge van de effectieve ponskracht niet groter is dan $v_{Rd,c}$. De buitenste perimeter van de geplaatste ponswapening mag op niet meer dan $1,5d$ gelegen zijn van de omtrek waarvoor geen ponswapening vereist is. Zie [Figuur 8.10](#), [Figuur 12.5](#) en [Figuur 12.6](#).

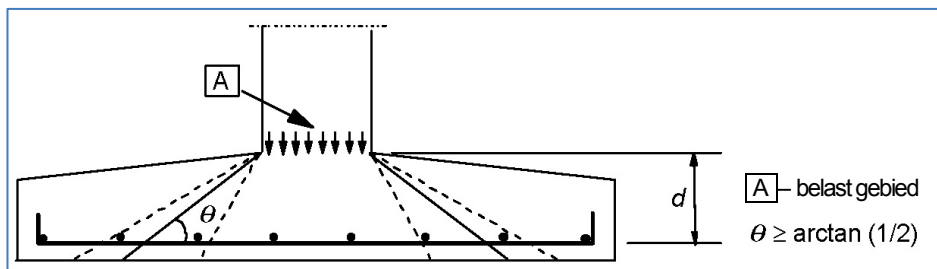
Figure 8.10 Controle-omtrekken bij middenkolommen ► Fig. 6.22



8.8. Ponsweerstand van funderingszolen

► 6.4.2(6) Aanvullend op het nazicht aan de eerste controle-omtrek gelegen op $2d$ van de zijkant van de kolom, moeten perimeters gelegen binnen deze eerste controle-omtrek ook worden gecontroleerd op ponsweerstand. Als de hoogte van de zool veranderlijk is, mag de nuttige hoogte gelijk worden gesteld aan die ter hoogte van de omtrek van het belast gebied. Zie [Figuur 8.11](#).

Figuur 8.11 Hoogte van de controledoorsnede in een funderingszool met veranderlijke hoogte ► Fig 6.16



► 6.4.4(2) In de berekening mag gebruik worden gemaakt van de gereduceerde kracht

$$V_{Ed,red} = V_{Ed} - \Delta V_{Ed} \quad \text{► Vgl. (6.48)}$$

waarin

V_{Ed} = kracht in de kolom

ΔV_{Ed} = netto opwaarts gerichte kracht binnen de beschouwde toetsingsperimeter, zijnde de gronddruk minus het eigengewicht van de kolomvoet.

Als een kolom een normaalkracht V_{Ed} en een moment M_{Ed} overdraagt, volgt de ponschuifspanning uit:

► Vgl. (6.51)

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed,red}}{ud} \left(1 + k \frac{M_{Ed} u}{V_{Ed,red} W} \right)$$

waarin

u = beschouwde omtrek

k = coëfficiënt die afhankelijk is van de verhouding tussen de kolomafmetingen zoals weergegeven in [Figuur 8.2](#) en de waarden voor middenkolommen zoals gegeven in [Tabel 8.1](#)

W = W_1 zoals beschreven in [Lid 8.2.3](#) hierboven maar dan voor de perimeter u

De ponsweerstand $v_{Rd,c}$ en de minimum waarde voor de weerstand v_{min} zoals vermeld in [Lid 8.4](#) mogen worden verhoogd voor funderingszolen door de uitdrukkingen te vermenigvuldigen met $2d/a$ waarin a de afstand is van de beschouwde omtrek tot de omtrek van de kolom.

9. Wringing

9.1. Algemeen

► **6.3.1(1) en (2)** De wringweerstand moet worden gecontroleerd voor elementen waarvan het statisch evenwicht afhangt van de wringingsweerstand. Als zich in statisch onbepaalde constructies, uitsluitend door het beschouwen van de vervormingscompatibiliteit wringmomenten voordoen en de constructie is voor zijn stabiliteit niet afhankelijk van de wringweerstand, is het in het algemeen niet nodig in de uiterste grenstoestand wringing te beschouwen. Om overmatige scheurvorming te voorkomen, volstaat het om in zulke gevallen een minimum wapening te voorzien en de detailleringsregels te volgen.

► **6.3.1(3)** In Eurocode 2 wordt de wringweerstand berekend door alle doorsneden te modelleren als equivalente gesloten dunwandige doorsneden. Complexe doorsneden, zoals T-vormige doorsneden, worden verdeeld in een reeks deeldoorsneden, waarbij de totale wringweerstand gelijk is aan de som van de weerstanden van de afzonderlijke deeldoorsneden.

► **6.3.2(2)** Bij wringing moet dezelfde waarde voor de helling van de drukschoren θ worden aangehouden als bij dwarskracht. De grenswaarden voor $\cot\theta$ zoals in [Hoofdstuk 7](#) gegeven voor dwarskracht, zijn dus ook van toepassing bij wringing

9.2. Wringweerstand

De maximum wringweerstand van een doorsnede is

► **Vgl. (6.30)**

$$T_{Rd,max} = 2v f_{cd} A_k t_{ef,i} \sin\theta \cos\theta$$

waarin

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \quad (f_{ck} \text{ in MPa}) \quad \text{► Vgl. (6.6N)}$$

► **6.3.2(1)**

A_k = oppervlakte van het gebied omsloten door de hartlijnen van de verbonden wanden, inclusief de ingesloten holle delen (zie [Figuur 9.1](#))

$t_{ef,i}$ = meewerkende wanddikte (zie [Figuur 9.1](#)). Deze mag gelijk worden genomen aan A/u , maar mag niet kleiner zijn dan tweemaal de afstand tussen de rand (de buitenzijde van het element) en de as van de langswapening. Voor holle doorsneden is de werkelijke dikte een bovengrens

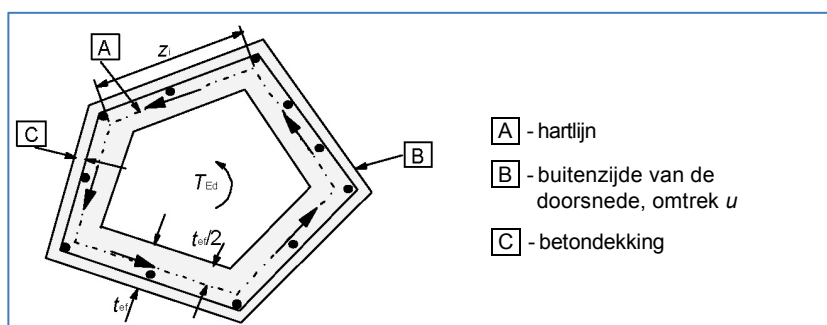
A = totale oppervlakte van de dwarsdoorsnede gelegen binnen de buitenomtrek, inclusief de ingesloten holle delen

θ = hellingshoek van de drukschoren

u = buitenomtrek van de dwarsdoorsnede

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \text{ met } \alpha_{cc} = 1,0$$

Figuur 9.1 Notaties gebruikt in [Hoofdstuk 9](#) ► **Fig. 6.11**



De wringingsweerstand van een massieve rechthoekige doorsnede met wringwapening langsheen de buitenrand, $T_{Rd,max}$, mag worden berekend op basis van de algemene uitdrukking:

$$T_{Rd,max} = 2v f_{cd} k_2 b^3 \sin \theta \cos \theta$$

waarin

k_2 = coëfficiënt die kan worden ontleend aan [Tabel 9.1](#)
opgesteld op basis van de vergelijkingen $A_k = (b-t)(h-t)$ en $t = bh/(2b+2h)$
 b = breedte van de doorsnede ($< h$, hoogte van de doorsnede)

Tabel 9.1 Waarden voor k_2

h/b	1	2	3	4
k_2	0,141	0,370	0,615	0,864

De oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de gesloten beugels die nodig zijn om het wringmoment op te nemen wordt gegeven door:

► ENV 1992-1-1: Vgl.(4.43) [\[13\]](#)

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{T_{Ed}}{2A_k f_{ywd} \cot \theta}$$

waarin

A_{sw} = oppervlakte van de doorsnede van een beugel
 f_{ywd} = rekenwaarde van de elasticiteitsgrens van de beugels
 s = beugelafstand in langsrichting

Bijkomend wordt langswapening geplaatst, verdeeld over de omtrek van de doorsnede, waarvan de oppervlakte berekend wordt aan de hand van de volgende formule:

► Exp. (6.28)

$$\sum A_{sl} = \frac{T_{Ed} u_k \cot \theta}{2A_k f_{yd}}$$

waarin

T_{Ed} = rekenwaarde van het aangrijpend wringmoment
 f_{yd} = rekenwaarde van de elasticiteitsgrens van de langswapening A_{sl}
 u_k = omtrek van de oppervlakte A_k
Er werd verondersteld dat $f_{yd} = f_{ywd}$

9.3. Combinatie van wringing en dwarskracht

Voor massieve doorsneden moet aan de volgende voorwaarde worden voldaan:

► Vgl. (6.29)

$$\left(\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} \right) + \left(\frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \right) \leq 1,0$$

waarin

$$T_{Rd,max} = 2v f_{cd} A_k t_{ef,i} \sin \theta \cos \theta \quad \text{zoals in [Lid 9.2.](#)}$$

$$V_{Rd,max} = b_w z v f_{cd} \frac{\cot \theta + \tan \alpha}{1 + \cot^2 \theta} \quad \text{zoals in [Lid 7.3.2.](#)}$$

10. Bruikbaarheidsgrenstoestanden

10.1. Inleiding

► 7.1(1) De bruikbaarheidsgrenstoestanden die normaal beschouwd worden zijn:

- Spanningsbeperking.
- Scheurbeheersing.
- Doorbuigingsbegrenzing.

► 7.2(1) Wanneer drukspanningen in het beton zouden kunnen leiden tot onaanvaardbare effecten op het functioneren van de constructie, moeten ze beperkt worden teneinde langse scheuren, microscheuren of hoge kruipniveaus te vermijden.

► 7.2(2) & ANB. Langse scheuren kunnen optreden wanneer het spanningsniveau onder de karakteristieke belastingscombinatie een kritieke waarde overschrijdt. Zulke scheuren kunnen leiden tot een vermindering van de duurzaamheid. Bij afwezigheid van andere maatregelen, zoals verhoging van de betondekking op de wapening in de drukzone of opsluiting door dwarswapening, kan het aan te bevelen zijn de drukspanning te beperken tot een waarde $0,5f_{ck}$ in delen die zijn blootgesteld aan een omgeving overeenstemmend met de milieuklassen XD, XF en XS en $0,6f_{ck}$ voor de andere klassen.

Indien de spanning in het beton onder de quasi-blijvende belastingen kleiner is dan $0,45f_{ck}$, mag worden aangenomen dat de kruip lineair is. Indien de spanning in het beton groter is dan deze grenswaarde, moet niet-lineaire kruip beschouwd worden.

Er mag worden aangenomen dat onaanvaardbare scheurvorming of vervormingen vermeden worden, zolang de trekspanning in de wapening onder de karakteristieke belastingscombinatie niet groter is dan $0,8f_{yk}$. Indien de spanning is veroorzaakt door een opgelegde vervorming, behoort de trekspanning niet groter te zijn dan f_{yk} .

Scheurvorming en doorbuigingen mogen worden getoetst door middel van rekenmethoden of door te voldoen aan regels met betrekking tot de staafdiameter en de staafafstand en de verhouding overspanning/nuttige hoogte. In deze publicatie worden de rekenmethoden met betrekking tot deze grenstoestanden niet expliciet besproken.

10.2. Scheurbeheersing

Scheuren kunnen worden beperkt tot aanvaardbare wijdttes door het treffen van de volgende maatregelen:

- Het voorzien van een minimum hoeveelheid wapening, zodanig dat de wapening de vloeigrens niet bereikt op het moment dat de eerste scheur wordt gevormd (zie [Lid 10.3](#)).
- ► 7.3.3(2) Indien belemmerde vervormingen de hoofdoorzaak zijn van de scheurvorming, moet de staafdiameter worden beperkt tot de waarden gegeven in [Tabel 10.1](#). In dit geval mag om het even welk spanningsniveau worden gekozen, maar moet de gekozen waarde wel worden gebruikt bij het berekenen van $A_{s,min}$ en de staafdiameter moet worden beperkt zoals aangegeven.
- Indien belastingen de hoofdoorzaak zijn van de scheurvorming, moet de staafdiameter worden beperkt zoals aangegeven in [Tabel 10.1](#) ofwel de staafafstand zoals aangegeven in [Tabel 10.2](#).

Indien men van een van deze tabellen gebruik maakt, moet de staalspanning berekend worden op basis van een gescheurde doorsnede onder de beschouwde belastingscombinatie.

► 7.3.1(5) & ANB Bij afwezigheid van specifieke eisen (bv. waterdichtheid) mogen de berekende scheurwijdten w_{max} in gewapende betonelementen beperkt blijven tot 0,3 mm in alle milieuklassen onder de quasi-blijvende belastingscombinatie. Voor de milieuklassen

X0 en XC1 en de omgevingsklasse E1, heeft de scheurwijdte geen invloed op de duurzaamheid en een grenswaarde van 0,4 mm kan worden aangenomen om een acceptabel uiterlijk te garanderen. Bij afwezigheid van specifieke eisen met betrekking tot het uiterlijk, mag deze grenswaarde minder strikt worden toegepast voor de milieuklassen X0 en XC1 en de omgevingsklasse E1.

► **7.3.3(1)** Voor platen in gewapend of voorgespannen beton in gebouwen, belast op buiging zonder significante axiale trek, zijn geen specifieke maatregelen voor scheurbeheersing nodig indien de totale plaatdikte niet groter is dan 200 mm en indien aan de bepalingen van [Lid 12.3](#) wordt voldaan.

Tabel 10.1 Maximale staafdiameters voor scheurbeperving

► **Tabel 7.2N**

Staalspanning (MPa)	Maximale staafdiameter (mm) voor een scheurwijdte van		
	0,4 mm	0,3 mm	0,2 mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	—

Opmerking: zie Opmerking 1 van Tabel 7.2N van NBN EN 1992-1-1 voor de parameters gebruikt voor het opstellen van de Tabel. Er wordt meer bepaald verondersteld dat $c_{nom} = 25$ mm en dat $f_{ct,eff} (= f_{ctm}) = 2,9$ MPa

Tabel 10.2 Maximale staafafstanden voor scheurbeperving

► **Tabel 7.3N**

Staalspanning (MPa)	Maximale staafafstand (mm) voor een scheurwijdte van		
	0,4 mm	0,3 mm	0,2 mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	—
360	100	50	—

Opmerking: zie Opmerking 1 van Tabel 7.2N van NBN EN 1992-1-1 voor de parameters gebruikt voor het opstellen van de Tabel. Er wordt meer bepaald verondersteld dat $c_{nom} = 25$ mm en dat $f_{ct,eff} (= f_{ctm}) = 2,9$ MPa

10.3. Minimum langswapening

► **7.3.2** Indien scheurbeheersing is vereist, is in trekzones een minimale hoeveelheid wapening nodig die voor elk onderdeel (lijf, flenzen enz.) als volgt moet worden berekend: Zie ook [Lid 12.2.1](#).

► **Vgl. (7.1)**

$$A_{s,min} = k_c k \frac{f_{ct,eff} A_{ct}}{\sigma_s}$$

waarin

k_c = coëfficiënt die rekening houdt met de spanningsverdeling binnen de doorsnede onmiddellijk vóór het scheuren en met de verandering van de inwendige hefboomsarm ten gevolge van de scheurvorming

- = 1,0 bij zuivere trek en 0,4 bij zuivere buiging
- k = coëfficiënt die rekening houdt met het effect van niet-gelijkmatige eigenstressen die leiden tot een reductie van de krachten ten gevolge van verhin-
derde vervormingen
- = 1,0 voor lijven met een hoogte of flenzen met een breedte ≤ 300 mm en $k = 0,65$ wanneer deze afmetingen groter zijn dan 800 mm. Voor tussenliggende waarden mag worden geïnterpoleerd
- $f_{ct,eff}$ = gemiddelde waarde van de treksterkte van het beton op het tijdstip waarop voor het eerst scheuren worden verwacht $f_{ct,eff} = f_{ctm}$ (zie [Tabel 3.1](#))
- A_{ct} = oppervlakte van de dwarsdoorsnede van het beton binnen de trekzone. De trekzone is dat deel van de doorsnede dat volgens de berekening juist vóór het ontstaan van de eerste scheur onder trek staat
- σ_s = absolute waarde van de maximaal toelaatbare spanning in de wapening onmiddellijk na het ontstaan van de scheur. De waarde moet worden gekozen rekening houdend met de grenswaarden voor de staafdiameter en de staafafstand zoals vermeld in de [Tabel 10.1](#) en [Tabel 10.2](#)

Zie ook [Lid 12.2.1](#).

10.4. Minimale dwarskrachtwapening

10.4.1. Balken

► 9.2.2(5) & ANB De minimum oppervlakte van de doorsnede van de dwarskrachtwapening $A_{sw,min}$ in balken moet berekend worden aan de hand van de volgende formule:

$$\frac{A_{sw,min}}{s_b s_w \sin \alpha} \geq 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

► Vgl.(9.4) en (9.5N) & ANB

waarin

- s = hart-op-hartafstand van de dwarskrachtwapening gemeten in de langsrichting
- b_w = breedte van het lijf van het element
- α = hoek tussen de dwarskrachtwapening en de lengteas van het element. Voor verticale beugels is $\sin \alpha = 1,0$.

10.4.2. Vlakke plaatvloeren

► 9.4.3(2) In platen waarin ponswapening is vereist, moet de minimum oppervlakte van de doorsnede van een verticale beugelstaaf $A_{sw,min}$ voldoen aan de voorwaarde:

$$\frac{A_{sw,min}}{s_r s_t} (1,5 \sin \alpha + \cos \alpha) \geq 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

waarin

- s_r en s_t = hart-op-hartafstand van de ponswapening in respectievelijk radiale en tangentiële richting (zie [Figuur 12.5](#))

10.5. Doorbuigingsbegrenzing

10.5.1. Algemeen

► 7.4.2(1) De doorbuiging van gewapendbetonelementen in gebouwen zal over het algemeen aanvaardbaar zijn als liggers en platen zo worden gedimensioneerd dat de verhouding van de overspanning tot de nuttige hoogte begrensd is.

10.5.2. Referentiewaarden voor de verhouding overspanning/nuttige hoogte

► 7.4.2 De referentiewaarden voor de verhouding overspanning/nuttige hoogte zijn gegeven in [Tabel 10.3](#).

De tabelwaarden zijn berekend onder de aanname dat de constructie wordt belast door de rekenwaarde van de belastingen, niet eerder dan dat het beton de in de ontwerpberekening gehanteerde sterkte f_{ck} , heeft bereikt. Als de constructie wordt belast alvorens het beton f_{ck} heeft bereikt, moet een meer gedetailleerde evaluatie worden uitgevoerd om de werkelijke betonsterkte op het moment van belastingen in rekening te brengen.

De waarden gegeven in [Tabel 10.3](#) berusten op de volgende aannames:

► 7.4.2(2)

- de waarden van de verhouding overspanning/nuttige hoogte zijn berekend uitgaande van het criterium dat de bijkomende doorbuiging na uitvoering, gelijk is aan de overspanning/500 onder de quasi- blijvende belastingen
- de tabelwaarden werden berekend voor betonstaal met $f_{yk} = 500$ MPa , $\sigma_s = 310$ MPa en een betonsterkteklasse C30/37 ($f_{ck} = 30$ MPa)
- de referentiewaarden voor de verhouding overspanning/nuttige hoogte mogen worden berekend met de volgende formules:

► Vgl. (7.16a)

$$\frac{l}{d} = K \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right) + 3,2\sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{1,5} \right] \text{ voor } \rho \leq \rho_0$$

of ► Vgl. (7.16b)

$$\frac{l}{d} = K \left[11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho - \rho'} \right) + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho'}{\rho} \right)^{0,5} \right] \text{ voor } \rho > \rho_0$$

waarin

l/d = grenswaarde van de verhouding overspanning/nuttige hoogte

K = coëfficiënt om de verschillende constructieve systemen in rekening te brengen

ρ_0 = referentiewaarde van de wapeningsverhouding = $\frac{\sqrt{f_{ck}}}{1000}$

ρ = vereiste wapeningsverhouding van de trekwapening in het midden van de overspanning = $\frac{A_{s,req}}{bd}$

Bij een T-doorsnede moet ρ worden berekend op basis van de betondoorsnede gelegen boven het zwaartepunt van de wapening in de trekzone

ρ' = vereiste wapeningsverhouding van de drukwapening in het midden van de overspanning = $\frac{A_{s2}}{bd}$

- ► 7.4.2(2) Als de oppervlakte van de doorsnede van het aanwezige betonstaal, $A_{s,prov}$ groter is dan de noodzakelijke doorsnede $A_{s,req}$, volgend uit een berekening, moeten de waarden van l/d uit de Tabel en deze volgend uit bovenstaande formules, vermenigvuldigd worden met de factor

$$\frac{310}{\sigma_s} = \frac{500}{f_{yk}} \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \leq 1,5 \quad \text{► Vgl.(7.17)}$$

waarin σ_s = trekspanning in het betonstaal in MPa, in het midden van de overspanning (of bij het steunpunt in het geval van een uitkraging) onder de rekenwaarden van de belastingen in de BGT.

- Voor T-doorsneden waarvan de verhouding van de flensbreedte tot de ribbreedte b_{eff}/b_w groter is dan 3, moeten de waarden van l/d uit de Tabel en deze volgend uit bovenstaande formules, vermenigvuldigd worden met 0,8. Voor waarden van b_{eff}/b_w tussen 1,0 en 3,0, mag lineaire interpolatie worden toegepast.

- De verhouding overspanning/nuttige hoogte is gebaseerd op de kleinste overspanning bij in twee richtingen dragende platen en op de grootste overspanning bij vlakke plaatvloeren.
- Als scheidingswanden die door overmatige doorbuiging kunnen worden beschadigd, op een plaat rusten moeten de waarden van l/d uit de Tabel en deze volgend uit bovenstaande formules als volgt gewijzigd worden:
 - a) voor vlakke plaatvloeren waarvan de grootste overspanning groter is dan 8,5 m moeten de tabelwaarden worden vermenigvuldigd met $8,5/l_{\text{eff}}$; en
 - b) voor balken en andere platen, waarvan de grootste overspanning groter is dan 7 m moeten de tabelwaarden worden vermenigvuldigd met $7 / l_{\text{eff}}$.

Tabel 10.3 Referentiewaarden voor de verhouding overspanning/nuttige hoogte, l/d , voor elementen zonder axiale druk ► Tabel 7.4N & ANB

Constructief systeem		K	Beton onder hoge spanning $\rho = 1,5 \%$	Beton onder lage spanning $\rho = 0,5 \%$
Balken	Platen			
Vrij opgelegd	In één of twee richtingen dragende vrij opgelegde plaat	1,0	14	20
Eindoverspanning van doorgaande balken	Eindoverspanning van in één richting dragende doorgaande platen of van platen doorgaand langsheen de lange zijde en dragend in twee richtingen	1,3	18	26
Tussenoverspanning van doorgaande balken	Tussenoverspanning van doorgaande platen	1,5	20	30
nvt	Vlakke plaatvloer (voor de grootste overspanning)	1,2	17	24
Uitkraging	Uitkraging	0,4	6	8

11. Detaillering – algemene eisen

11.1. Algemeen

► 8.1(1) Deze eisen met betrekking tot detaillering zijn van toepassing op geribde wapening en gelaste wapeningsnetten, gebruikt in constructies die voornamelijk statisch worden belast.

► 8.9.1(2) De regels gelden voor afzonderlijke staven en voor stavenbundels, waarvoor in de berekeningen een gelijkwaardige diameter $\phi_n = \phi \sqrt{n_b}$ moet worden gebruikt. In deze uitdrukking is n_b het aantal staven in de bundel. De waarde van n_b moet worden beperkt tot vier bij gedrukte verticale staven en staven in een overlapping en tot drie in alle andere gevallen.. De waarde van ϕ_n moet kleiner zijn dan of gelijk aan 55 mm.

► 8.9.1(3) Voor een stavenbundel gelden de regels voor staafafstanden mits gebruik van de gelijkwaardige diameter ϕ_n . De vrije afstand tussen bundels moet worden gemeten vanaf de feitelijke buitenomtrek van een stavenbundel. De betondekking behoort eveneens te worden gemeten vanaf de feitelijke buitenomtrek van een stavenbundel en behoort niet kleiner te zijn dan ϕ_n . Voor stavenbundels die bestaan uit meer dan drie staven behoren geen overlappingen uitgevoerd te worden.

► 8.9.1(4) Als twee elkaar rakende staven boven elkaar worden geplaatst en als de aanhechtingsomstandigheden goed zijn, behoeven zulke staven niet te worden behandeld als een bundel.

11.2. Staafafstanden

► 8.2(1) De staafafstanden moeten zodanig zijn dat het beton goed gestort en voldoende verdicht kan worden en dat zo een goede aanhechting kan ontstaan.

► 8.2(2) & ANB De vrije ruimte tussen afzonderlijke evenwijdige staven of horizontale lagen met evenwijdige staven moet groter zijn dan de grootste van de volgende waarden: ($1 \times$ staafdiameter), (grootste korrelafmeting + 5 mm), en 20 mm.

► 8.2(3) Staven in afzonderlijke horizontale lagen moeten in elke laag recht boven elkaar worden geplaatst. De ruimte tussen de zo ontstane staaflijnen moet voldoende zijn om trilapparatuur te kunnen inbrengen en een goede verdichting van het beton mogelijk te maken.

11.3. Toelaatbare doorndiameters voor gebogen staven

► 8.3(1) De minimum diameter van een ombuiging in een staaf moet zodanig zijn dat buigscheuren in de staaf en verbrijzeling van het beton binnen de ombuiging van de staaf worden voorkomen. Om schade aan de wapening te voorkomen, mag de buigdiameter niet kleiner zijn dan:

► 8.3(2) en Tabel 8.1N & ANB voor staven

4ϕ	voor $\phi \leq 16$ mm
7ϕ	voor $\phi > 16$ mm

voor wapeningsnetten gebogen na het lassen,

5ϕ indien de gelaste dwarsstaaf zich op een afstand van minstens 3ϕ van de ombuiging bevindt, 20ϕ in het tegengesteld geval. Het lassen wordt uitgevoerd in overeenstemming met ISO/FDIS 17660-2 ^[14].

► 8.3(3) Met betrekking tot verbrijzeling van het beton aan de binnenkant van het gekromd gedeelte, is het niet nodig om de waarde van de doorndiameter te verantwoorden indien tegelijkertijd aan de volgende voorwaarden wordt voldaan:

- de verankering van de staaf vereist geen grotere lengte dan 5ϕ voorbij het einde van de ombuiging
- de staaf ligt niet dicht bij het oppervlak en er bevindt zich een dwarsstaaf (met een diameter $\geq \phi$) aan de binnenkant van de ombuiging

In andere gevallen moet de volgende minimum doorndiameter worden gebruikt:

$$\phi_m \geq \frac{F_{bt}}{f_{cd}} \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2\phi} \right) \quad \blacktriangleright \text{Vgl. (8.1)}$$

waarin

F_{bt} = trekkracht te wijten aan de belastingen in de uiterste grenstoestand in een staaf, bij het begin van de ombuiging

a_b = de helft van de hartafstand van de staven (loodrecht op het vlak van de ombuiging). Voor staven dichtbij de rand van het element is $a_b = \text{betondekking} + \phi/2$

$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad \blacktriangleright 3.1.6(1) \text{ \& ANB}$

met

$\alpha_{cc} = 1,0$

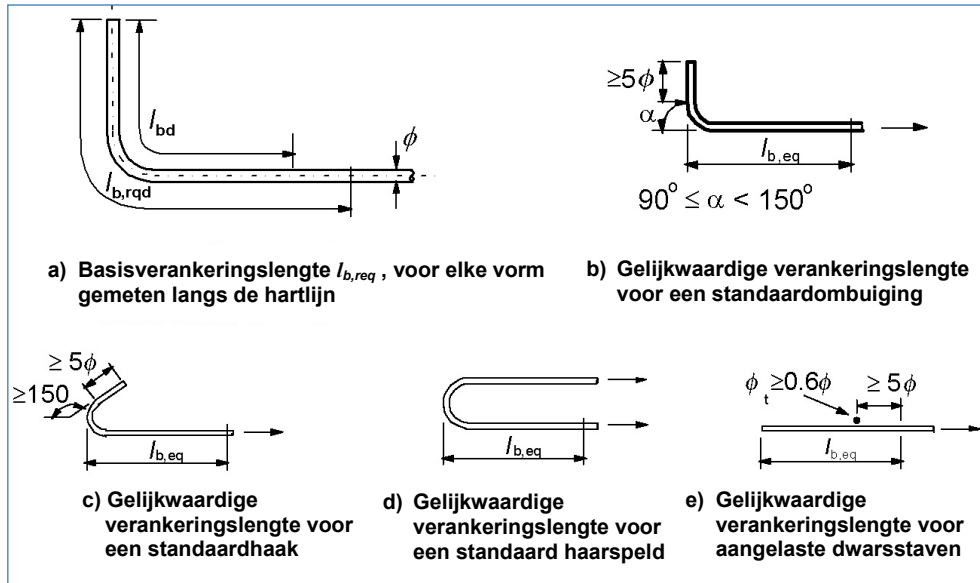
f_{ck} = karakteristieke cilinderdruksterkte

11.4. Verankering van wapening

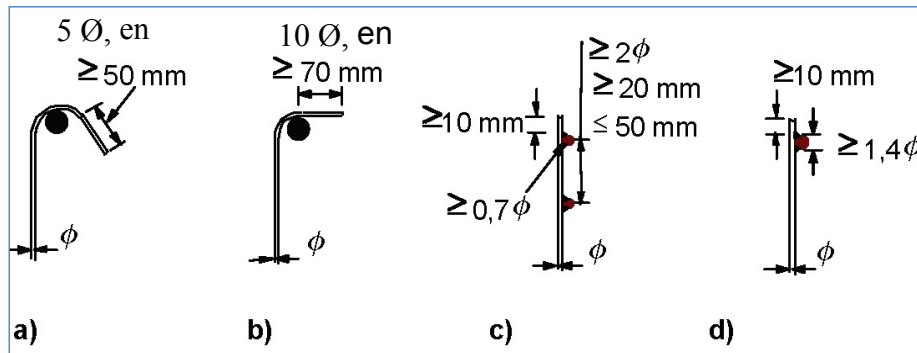
11.4.1. Algemeen

► 8.4.1 Het geheel van de wapening moet zodanig worden verankerd dat de krachten veilig door aanhechtspanningen kunnen worden overgedragen op het omringend beton, zonder dat langsscheuren of spatten optreden. In de [Figuur 11.1](#) en [Figuur 11.2](#) zijn de gangbare verankeringsmethoden voor langsstaven en beugels weergegeven.

Figuur 11.1 Verankeringsmethoden anders dan met een rechte staaf ► Fig. 8.1 & AC



Figuur 11.2 Veranker van beugels ► Fig. 8.5



11.4.2. Rekenwaarde van de verankeringslengte l_{bd}

De rekenwaarde van de verankeringslengte l_{bd} voor de staafvorm getoond in [Figuur 11.1 a](#)) is gelijk aan:

► 8.4.4(1)

$$l_{bd} = \alpha l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

► Vgl.(8.4)

waarin

$\alpha = 1,0$ voor een vereenvoudigde berekening, aan de veilige kant

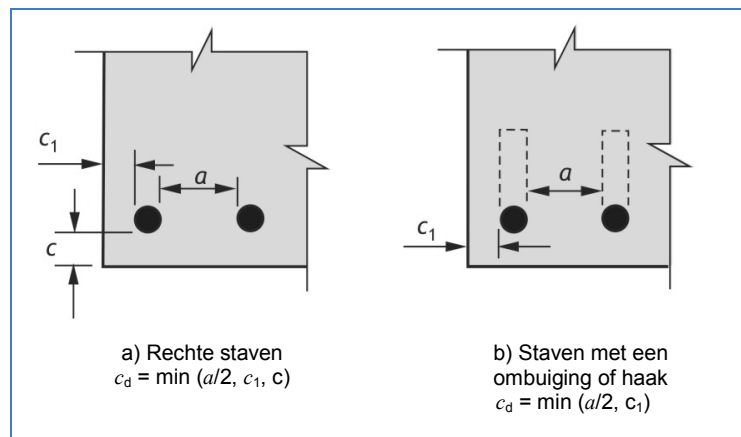
$\alpha = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5$ voor een nauwkeuriger berekening.

met ► 8.4.4(1) en Tabel 8.2

- α_1 = coëfficiënt voor de invloed van de vorm van de staven
 - = 0,7 voor omgebogen trekstaven met $c_d > 3\phi$, waarbij c_d gedefinieerd is in [Figuur 11.3](#)
 - = 1,0 in alle andere gevallen voor trekstaven
 - = 1,0 voor drukstaven
- α_2 = coëfficiënt voor de invloed van de betondekking
 - = $1 - 0,15(c_d - \phi)/\phi \geq 0,7$ voor rechte trekstaven, maar $\leq 1,0$
 - = $1 - 0,15(c_d - 3\phi)/\phi \geq 0,7$ voor omgebogen trekstaven, maar $\leq 1,0$
 - = 1,0 voor drukstaven
- α_3 = coëfficiënt voor de invloed van opsluiting
 - = 1,0 in het algemeen

- α_4 = coëfficiënt voor de invloed van aangelaste dwarsstaven
 = 0,7 voor aangelaste dwarsstaven overeenkomstig [Figuur 11.1 e](#))
 = 1,0 in alle andere gevallen
- α_5 = coëfficiënt voor de invloed van een drukspanning loodrecht op het splijtvlak
 = 1,0 in het algemeen
- $l_{b,rqd}$ = vereiste basisverankeringslengte (zie [Lid 11.4.3](#))
 $l_{b,min}$ = minimale minimumverankeringslengte
 = $\max\{0,3l_{b,rqd}; 10\phi; 100 \text{ mm}\}$ voor trekstaven en ▶ Vgl.(8.6)
 = $\max\{0,6l_{b,rqd}; 10\phi; 100 \text{ mm}\}$ voor drukstaven. ▶ Vgl.(8.7)

Figuur 11.3 Waarden van c_d voor balken en platen ▶ Fig. 8.3



11.4.3. Basisverankeringslengte $l_{b,rqd}$

$l_{b,rqd}$ = de vereiste basisverankeringslengte

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi \sigma_{sd}}{4 f_{bd}} \quad \text{▶ Vgl.(8.3)}$$

waarin

ϕ = staafdiameter

σ_{sd} = de rekenwaarde van de spanning in de staaf in de uiterste grenstoestand

f_{bd} = de uiterst opneembare aanhechtspanning (zie [Lid 11.5](#))

▶ 8.4.3(3)

Voor omgebogen staven moet de verankeringslengte worden gemeten langs de hartlijn van de staaf (zie [Figuur 11.1](#) geval a)).

▶ 8.4.4(2)

11.4.4. Gelijkwaardige verankeringslengte $l_{b,eq}$

Als vereenvoudigd alternatief

- voor de staafvormen getoond in [Figuur 11.1](#) b) tot d), mag een gelijkwaardige verankeringslengte $l_{b,eq}$ worden toegepast met

$$l_{b,eq} = \alpha_1 l_{b,rqd}$$

- voor de staafvormen getoond in [Figuur 11.1](#) e) geldt

$$l_{b,eq} = \alpha_4 l_{b,rqd}$$

11.5. Uiterst opneembare aanhechtspanning

► 8.4.2(2) De uiterst opneembare aanhechtspanning

$$f_{bd} = 2,25 \eta_1 \eta_2 f_{ctd} \quad \text{► Vgl.(8.2)}$$

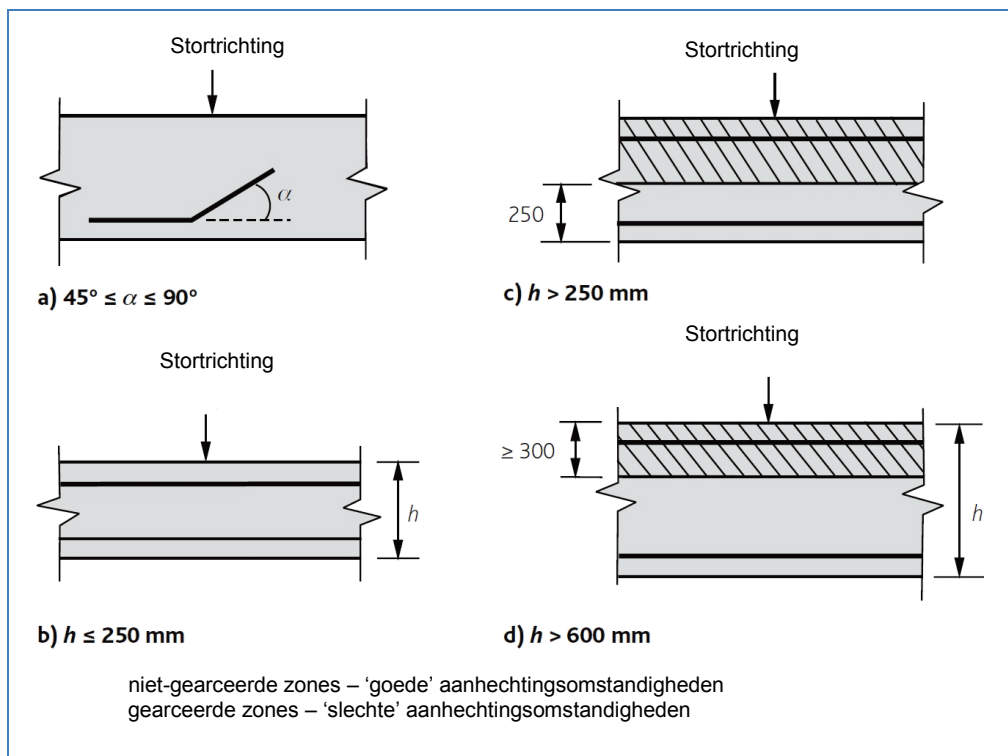
waarin

$\eta_1 = 1,0$ voor goede aanhechtingsomstandigheden (voor de definitie zie [Figuur 11.4](#)) en 0,7 voor alle andere gevallen (met inbegrip van elementen vervaardigd met een glijbekisting)

$\eta_2 = 1,0$ voor staafdiameters ≤ 32 mm en $(132-\phi)/100$ voor staafdiameters > 32 mm.

$f_{ctd} = (\alpha_{ct} f_{ctk,0,05} / \gamma_c)$ is de rekenwaarde van de betontreksterkte verkregen met de waarde $f_{ctk,0,05}$ uit [Tabel 3.1](#) en $\alpha_{ct} = 1,0$

Figuur 11.4 Aanhechtingsomstandigheden ► Fig. 8.2



11.6. Overlappen

11.6.1. Algemeen

► 8.7.1(1) Krachten worden van de ene staaf op de andere overgedragen door overlapping, lassen of mechanische middelen.

► 8.7.2(2) Overlappen moeten onderling verspringen en niet worden geplaatst in gebieden met hoge momenten c.q. krachten.

► 8.7.2(4) Alle drukstaven en secundaire (verdeel)wapening mogen in één zelfde doorsnede overlappen.

11.6.2. Overlapping van staven

► 8.7.2(3) Overlappen moeten worden geplaatst zoals getoond in [Figuur 11.5](#).

De rekenwaarde van de overlappingslengte l_0 mag conservatief gelijk worden gesteld aan:

$$l_0 = \alpha_1, \alpha_6 l_{b, \text{reqd}} \geq l_{0, \text{min}} \quad \blacktriangleright \text{Vgl. (8.10)}$$

waarin

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \text{coëfficiënt voor de invloed van de staafvorm (zie Lid 11.4.2)} \\ \alpha_6 &= \text{coëfficiënt voor de invloed van het percentage overlappende staven} \\ &= \sqrt{\rho_1 / 25} \quad (\text{zie Tabel 11.1}) \text{ met } 1 \leq \alpha_6 \leq 1,5 \end{aligned}$$

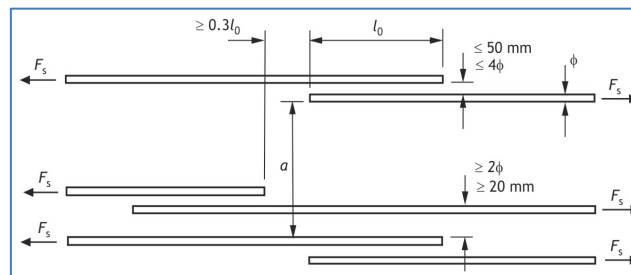
waarin

$$\rho_1 = \text{percentage van de wapening die binnen } 0,65l_0 \text{ vanaf het midden van de beschouwde overlapping wordt overlapt}$$

Tabel 11.1 Waarden van de factor α_6 ► Tabel 8.3

ρ_1 , percentage overlappende staven van de totale oppervlakte van de doorsnede	< 25 %	33 %	50 %	> 50 %
α_6	1,0	1,15	1,4	1,5

Figuur 11.5 Schikking van naburige overlappingsen ► Fig. 8.7



11.6.3. Overlapping van gelaste wapeningsnetten

► 8.7.5.1(1) Overlappingsen van gelaste wapeningsnetten moeten worden gerealiseerd zoals getoond in [Figuur 11.6](#).

► 8.7.5.1(3) Voor netten met overlappende mazen in eenzelfde vlak, behoren de overlappingsen van de hoofdlangsstaven aan de regels vermeld in ► 8.7.2 te voldoen, waarbij elk gunstig effect van de dwarsstaven wordt verwaarloosd: derhalve is $\alpha_3 = 1,0$.

► 8.7.5.1(4) Voor gestapelde netten behoren de overlappingsen van de hoofdwapening in het algemeen te zijn gesitueerd in gebieden waar de berekende spanning in de hoofdwapening in de uiterste grenstoestand niet groter is dan 80 % van de rekenwaarde.

► 8.7.5.1(5) Als niet aan de voorwaarde hierboven is voldaan, behoort voor het berekenen van de buigweerstand in overeenstemming met [Lid 6.1](#), de nuttige hoogte van het staal, corresponderend met de laag die het verst af ligt van de trekzijde, te worden toegepast. In aanvulling daarop behoort bij de toetsing van de scheurwijde aan het einde van de overlapping, de staalspanning gebruikt in de [Tabel 10.1](#) en [Tabel 10.2](#) te worden verhoogd met 25 % wegens de discontinuïteit aan de uiteinden van de overlappingsen.

► 8.7.5.1(6) De toegelaten verhouding van de hoofdwapening dat in elke doorsnede mag worden overlapt, is 100 % als $(A_s/s) \leq 1200 \text{ mm}^2/\text{m}$ en 60 % als $(A_s/s) > 1200 \text{ mm}^2/\text{m}$, waarin s de hart-op-hartafstand van de staven is. De overlappingsen van de verschillende netten behoren te verspringen met ten minste $1,3l_0$.

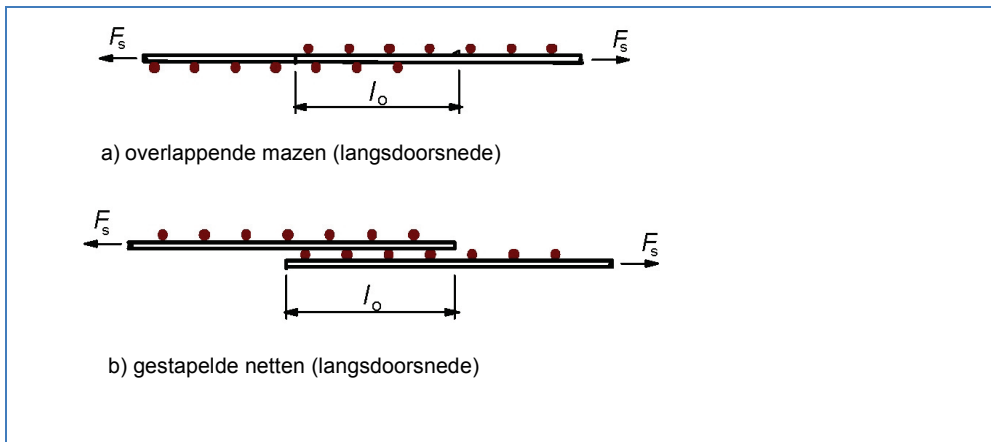
► 8.7.5.2 Alle secundaire wapening mag op dezelfde locatie worden overlapt. De minimum waarde van de overlappingslengte $l_{0, \text{min}}$ voor gestapelde netten is: ► 8.7.5.1(7) en 8.7.5.2(1)

$$\begin{aligned} &\geq 150 \text{ mm voor } \phi \leq 6 \text{ mm} \\ &\geq 250 \text{ mm voor } 6 \text{ mm} < \phi \leq 8,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$\geq 350 \text{ mm}$ voor $8,5 \text{ mm} < \phi \leq 12 \text{ mm}$

Er behoren in het algemeen ten minste twee maaswijdten binnen de overlappingslengte gesitueerd te zijn. Dit mag worden gereduceerd tot één maaswijdte als $\phi \leq 6 \text{ mm}$.

Figuur 11.6 Overlaping van gelaste wapeningsnetten ► Fig. 8.10



11.6.4. Dwarswapening

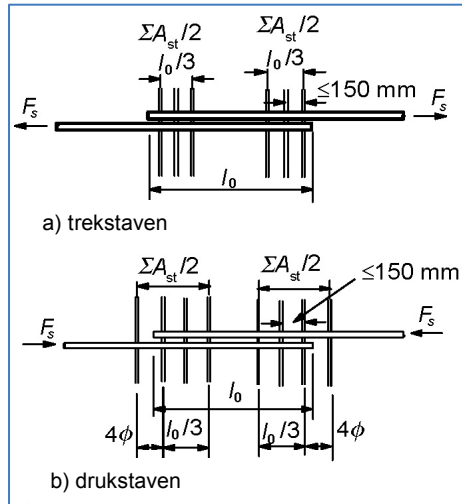
► 8.7.4.1(1) Om dwarse trekkrachten in de overlappingszone te kunnen opnemen, is dwarswapening vereist.

► 8.7.4.1(2) Als de diameter van de overlappende staven kleiner is dan 20 mm, of als het percentage overlappende staven in elke doorsnede kleiner is dan 25 %, mag men aannemen dat de beugels en de dwarswapening, die om andere redenen reeds aanwezig zijn, voldoende zijn.

► 8.7.4.1(3) Als niet aan de hiervoor vermelde voorwaarden wordt voldaan, moet dwarswapening worden aangebracht zoals getoond in [Figuur 11.7](#). Als meer dan 50 % van de wapening in een gegeven doorsnede overlapt en de afstand 'a' tussen naburige overlappingsen kleiner is dan 10ϕ , (voor 'a' zie [Figuur 11.5](#)) dan behoort de dwarswapening te worden gevormd door beugels of haarspelden die in de kern van de doorsnede zijn verankerd.

► 8.7.4.1(4) In [Figuur 11.7](#) is de totale oppervlakte van de doorsneden van de dwarswapening in de overlappingszone aangeduid. De som van de doorsneden van de dwarswapening ΣA_{st} moet groter zijn dan de doorsnede A_s van een overlappende staaf.

Figuur 11.7 Dwarswapening voor overlappingsen ► Fig. 8.9

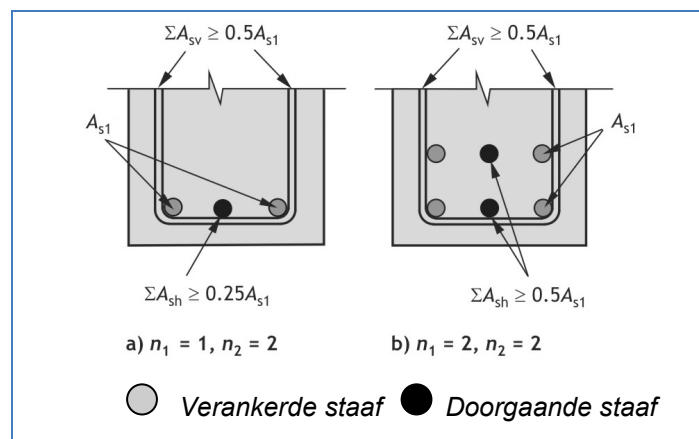


11.6.5. Overlapping van staven met grote diameter

► 8.8(1) & ANB Voor staven met diameter groter dan 32 mm gelden de volgende aanvullende regels:

- 8.8(3) Staven behoren in het algemeen te worden verankerd met mechanische middelen. Als alternatief mogen ze worden verankerd als rechte staven, maar daarbij moet opsluitende wapening in de vorm van beugels worden aangebracht.
- 8.8(4) Overlappingsen behoren niet voor te komen. Dit geldt niet voor doorsneden met een minimum afmeting van 1,0 m of indien de spanning niet groter is dan 80 % van de rekenwaarde van de uiterste sterkte.
- 8.8(5) en (6) Indien er geen dwarse druk optreedt in een verankeringszone moet, in aanvulling op de dwarswapening die om andere redenen aanwezig is, bijkomende dwarswapening worden aangebracht volgens de schikking weergegeven in [Figuur 11.8](#).
- 8.8(7) Deze aanvullende dwarswapening moet gelijkmatig worden verdeeld over het verankeringsgebied en de hart-op-hartafstand van de staven mag niet groter zijn dan vijfmaal de diameter van de langwapening.
- Voor de verankerung en de overlapping van stavenbundels wordt verwezen naar ► 8.9.2 en ► 8.9.3

Figuur 11.8 Aanvullende wapening bij een verankerung van staven met grote diameter als er geen dwarse druk optreedt ► Fig. 8.11



12. Detaillering – specifieke regels

12.1. Algemeen

► 9.1(1) Dit hoofdstuk geeft specifieke regels voor het detailleren van balken, platen, kolommen en wanden, als aanvulling op de regels opgenomen in [Hoofdstuk 10](#) en [Hoofdstuk 11](#).

12.2. Balken

12.2.1. Langswapening

► 9.2.1.1 en ANB De minimum wapeningsdoorsnede van de langswapening $A_{s,min}$ is gegeven in [Tabel 12.1](#) en door:

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \geq 0,0013 b_t d$$

waarin

- f_{ctm} = gemiddelde centrische betontreksterkte (zie [Tabel 3.1](#))
- f_{yk} = karakteristieke elasticiteitsgrens van het betonstaal
- b_t = gemiddelde breedte van de trekzone
- d = nuttige hoogte

► 9.2.1.1(3)

Buiten de overlappingszones mag de oppervlakte van de doorsnede van de trek- of drukwapening niet groter zijn dan $0,04A_c$.

► 9.2.1.2(3)

Alle drukwapening in langsrichting moet worden vastgehouden door dwarswapening met hart-op- hartafstand niet groter dan 15 maal de diameter van de langsstaaf.

Tabel 12.1 Minimumwapeningsdoorsnede van de langswapening in verhouding tot $b_t d$ voor $f_{yk}=500$ MPa ► [Vlg.\(9.1N\)](#)

Sterkte- klasse	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
$A_{s,min}$ als % van $b_t d$	0,130	0,130	0,130	0,135	0,151	0,166	0,182	0,198	0,213

12.2.2. Schorsing van op trek belaste langswapening

► 9.2.1.3(1) In alle doorsneden moet voldoende wapening worden aangebracht om de omhullende van de optredende trekkracht op te kunnen nemen, inclusief het effect van schuine scheuren in lijven en flenzen.

► 9.2.1.3(3) Met de weerstand van staven binnen hun verankeringslengte mag in rekening worden gebracht, uitgaande van een lineair krachtverloop. Als conservatieve benadering mag deze bijdrage worden verwaarloosd.

► 9.2.1.3(2) De trekkrachten in de wapeningsstaven bestaan uit de bijdragen ten gevolge van de buigende momenten en deze volgend uit het staafwerkmodel voor dwarskracht. Zoals getoond in [Figuur 12.1](#), kunnen de krachten voortkomend uit het staafwerkmodel worden verkregen door het punt, waar een staaf niet langer nodig is om het buigend moment op te nemen, te verschuiven over een afstand a_l gelijk aan

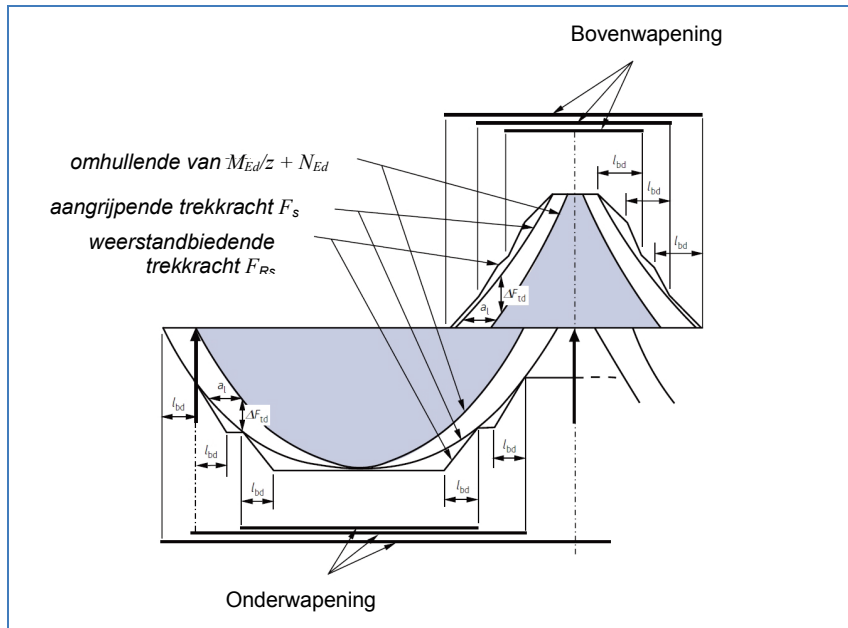
$$a_l = z(\cot\theta - \cot\alpha)/2 \quad \text{Vgl.(9.2)}$$

waarin

- θ = hoek van de drukdiagonaal zoals aangenomen voor de berekening aan dwarskracht (zie [Figuur 7.3](#))
- α = hoek tussen de dwarskrachtwapening en de lengteas (zie [Figuur 7.3](#))

Behalve indien de beugels berekend zijn met een hoek van de drukschoor groter dan $26,6^\circ$ ($\cot 26,6^\circ = 2$), en voor verticale beugels ($\cot \alpha = 0$), wordt Vgl. (9.2) $a_l = z$.

Figuur 12.1 Illustratie van de schorsing van langswapening rekening houdend met het effect van schuine scheuren en de weerstand van de wapening binnen de verankeringslengte ► Fig. 9.2



12.2.3. Bovenwapening bij een eindsteunpunt

► 9.2.1.2(1) & ANB Voor een balk die monolithisch verbonden is met zijn steunpunten moet, zelfs indien in het ontwerp is uitgegaan van vrije opleggingen, de doorsnede bij de opleggingen worden berekend op een buigend moment als gevolg van gedeeltelijke inklemming van ten minste 15 % van het maximale veldmoment. Aan de minimum wapening voorgeschreven in [Lid 12.2.1](#) moet worden voldaan.

12.2.4. Onderwapening bij een eindsteunpunt

► 9.2.1.4(1) & ANB & AC Bij opleggingen waarvoor weinig of geen eindinklemming in de berekening is aangenomen, moet ten minste 25 % van de oppervlakte van de doorsnede van de in het veld aangebrachte wapening als onderwapening bij de opleggingen worden voorzien. De te verankeren trekkracht F_{Ed} wordt bepaald als:

$$F_{Ed} = |V_{Ed}| \frac{a_1}{z} + N_{Ed} \quad \text{► Vgl. (9.3)}$$

waarin ► 9.2.1.4(2) & ANB & AC

$|V_{Ed}|$ = absolute waarde van de dwarskracht

N_{Ed} = aanwezige normaalkracht en

a_1 zoals gedefinieerd in [Lid 12.2.2](#)

► 9.2.1.4(3) De verankeringslengte moet worden gemeten vanaf de contactlijn tussen de balk en de oplegging.

12.2.5. Tussensteunpunten

► 9.2.1.2(2) Bij tussenopleggingen mag de trekwapening van een T-doorsnede worden verdeeld over de meewerkende flensbreedte (zie [Figuur 5.2](#)).

12.2.6. Dwarskrachtwapening

► 9.2.2(4) Indien als dwarskrachtwapening een combinatie van beugels en opgebogen staven is gebruikt, moet ten minste 50 % van de noodzakelijke dwarskrachtwapening in de vorm van beugels of spelden worden aangebracht.

► 9.2.2(6) & ANB De maximale hart-op-hartafstand in langsrichting tussen opeenvolgende vlakken dwarskrachtwapening mag niet groter zijn dan $0,75d(1+\cot\alpha)$, waarin α de hoek is van de dwarskrachtwapening ten opzichte van de langsas van de ligger.

► **9.2.2(8) & ANB** De hart-op-hartafstand van de benen van een serie dwarskrachtbeugels mag in dwarsrichting niet groter zijn dan $0,75 d \leq 600 \text{ mm}$.

► **9.2.2(2)** Wanneer open kaders of spelden worden gebruikt als dwarskrachtwapening, dan moeten deze doeltreffend worden verankerd in de druk- en trekzone.

12.2.7. Wringwapening

► **9.2.3(1)** Als vanwege wringing beugels zijn vereist, dan moeten deze worden verankerd in overeenstemming met [Figuur 12.2](#).

► **9.2.3(3)** De hart-op-hartafstand van de wringbeugels $s_{l,max}$, moet voldoen aan:

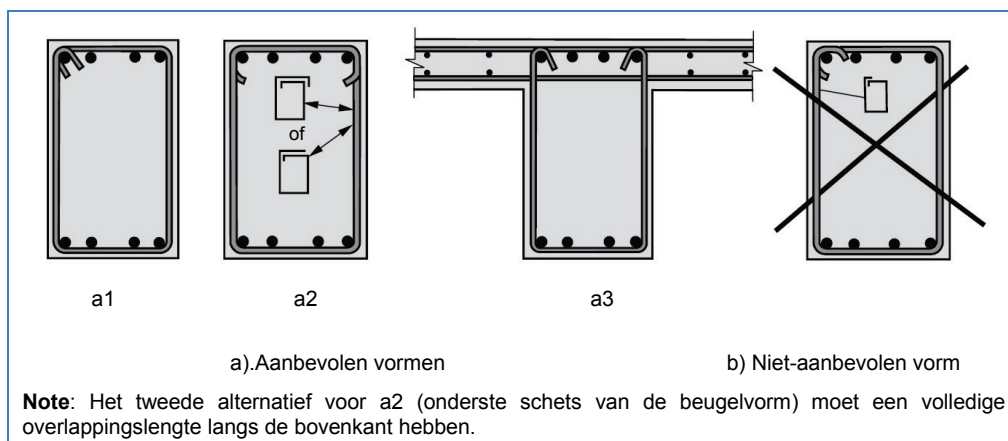
$$s_{l,max} \leq \text{minimum van } \{u/8 ; 0,75d (1 + \cot\alpha) ; h ; b\}$$

waarin

- u = omtrek van de buitenrand van de effectieve dwarsdoorsnede (zie [Figuur 9.1](#))
- d = nuttige hoogte van de balk
- h = totale hoogte van de balk
- b = breedte van de balk

► **9.2.3(4)** De langsstaven vereist voor het opnemen van de wringing, behoren zo te zijn geschikt dat er zich ten minste één op iedere hoek bevindt, terwijl de andere gelijkmatig zijn verdeeld langs de binnenomtrek van de beugels met een hart-op-hartafstand niet groter dan 350 mm.

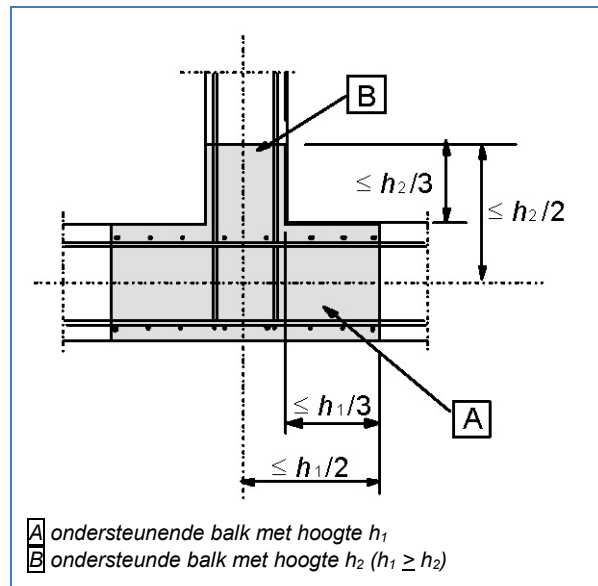
Figuur 12.2 Voorbeelden van vormen voor wringbeugels ► [Fig. 9.6](#)



12.2.8. Indirecte opleggingen

► **9.2.5(1) en (2)** Wanneer een balk is opgelegd op een andere, moet wapening worden aangebracht die berekend is om reactiekrachten op te nemen. Als de reactiekrachten worden 'opgehangen', moet de ophangwapening, die extra is aan de wapening die om andere redenen is vereist, bestaan uit beugels rond de hoofdwapening van het ondersteunende element lopen. Enkele van deze beugels mogen worden aangebracht buiten het beton dat van beide balken deel uitmaakt. Zie [Figuur 12.3](#).

Figuur 12.3 Plaatsing van ophangwapening in de kruisingszone van twee balken ► Fig. 9.7



12.3. In één en twee richtingen dragende massieve platen

12.3.1. Hoofdwapening

► 9.3.1.1(1) en 9.2.1.1(1) De minimum oppervlakte van de doorsnede van de hoofdwapening is gegeven in Tabel 12.1, berekend met de uitdrukking:

$$A_{s,min} = 0,26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \geq 0,0013 b_t d$$

► 9.3.1.1(1) Buiten de overlappingszones mag de oppervlakte van de doorsnede van de trek- of drukwapening niet groter zijn dan $0,04A_c$.

► 9.3.1.1(3) & ANB De hart-op-hartafstand van de hoofdwapening mag in het algemeen niet groter zijn dan $2,5h$ (maar niet groter dan 400 mm), waarin h de totale hoogte van de plaat is. Deze afstand moet worden gereduceerd tot $1,5h$ (maar niet meer dan 250 mm), in zones met maximum moment of met geconcentreerde belastingen.

12.3.2. Verdeelwapening

► 9.3.1.1(2) De doorsnede van de verdeelwapening in dwarsrichting moet minstens gelijk zijn aan 20 % van de hoofdwapening.

► 9.3.1.1(3) & ANB De hart-op-hartafstand van de verdeelwapening mag niet groter zijn dan $3h$ (maar niet groter dan 450 mm). Deze afstand moet worden gereduceerd tot $2,5h$ (maar niet meer dan 400 mm) in zones met maximum moment of met geconcentreerde belastingen.

12.3.3. Wapening bij opleggingen

► 9.3.1.2(1) In vrij opgelegde platen moet 50 % van de berekende veldwapening doorlopen tot de oplegging en moet zodanig worden verankerd, dat een kracht kan worden opgenomen ter grootte van F_E :

$$F_E = |V_{Ed}| \frac{a_1}{z} + N_{Ed}$$

waarin

$|V_{Ed}|$ = absolute waarde van de dwarskracht

a_1 = d , als de plaat niet is voorzien van dwarskrachtwapening. (Indien ze wel voorzien is van dwarskrachtwapening wordt a_1 berekend zoals voor balken, zie Lid 12.2.2)

z = hefboomsarm van de inwendige krachten

N_{Ed} = eventueel aangrijpende normaalkracht

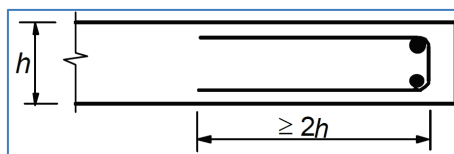
► **9.2.1.4(3)** De verankeringslengte wordt gemeten vanaf de contactlijn tussen de plaat en de oplegging.

Als langsstaven worden geschorst, moet rekening worden gehouden met trekkrachten in langsrichting die voortvloeien uit de buigende momenten en uit het staafwerkmodel voor dwarskracht. Dit kan worden bekomen door het punt waar een staaf niet langer nodig is om het buigend moment op te nemen, te verschuiven over een afstand a_1 , zoals eerder besproken.

► **9.3.1.2(2)** Indien langs de rand van een plaat gedeeltelijke inklemming optreedt en dit niet wordt meegenomen in de berekening, moet de bovenwapening in staat zijn ten minste 25 % van het maximale moment in de aangrenzende overspanning op te nemen. Deze wapening moet zich ten minste over 0,2 maal de lengte van de aangrenzende overspanning uitstrekken, gemeten vanaf de dagkant van de oplegging. Bij eindopleggingen mag het op te nemen moment worden verminderd tot 15 % van het maximale moment in de aangrenzende overspanning.

► **9.3.1.4(1) en (2)** Langs een vrije (niet-opgelegde) rand van een plaat dient normaal langs- en dwarswapening voorzien te worden, in het algemeen geschikt zoals aangegeven in [Figuur 12.3b](#). De gebruikelijke plaatwapening kan ook dienen als randwapening.

Figuur 12.3b Randwapening voor een plaat



12.3.4. Dwarskrachtwapening

► **9.3.2(1)** Indien dwarskrachtwapening wordt toegepast in een plaat, dan moet de dikte ervan minstens 200 mm bedragen.

► **9.3.2(2)** Indien dwarskrachtwapening wordt toegepast, moeten dezelfde regels als voor balken worden gevolgd.

12.4. Vlakke plaatvloeren

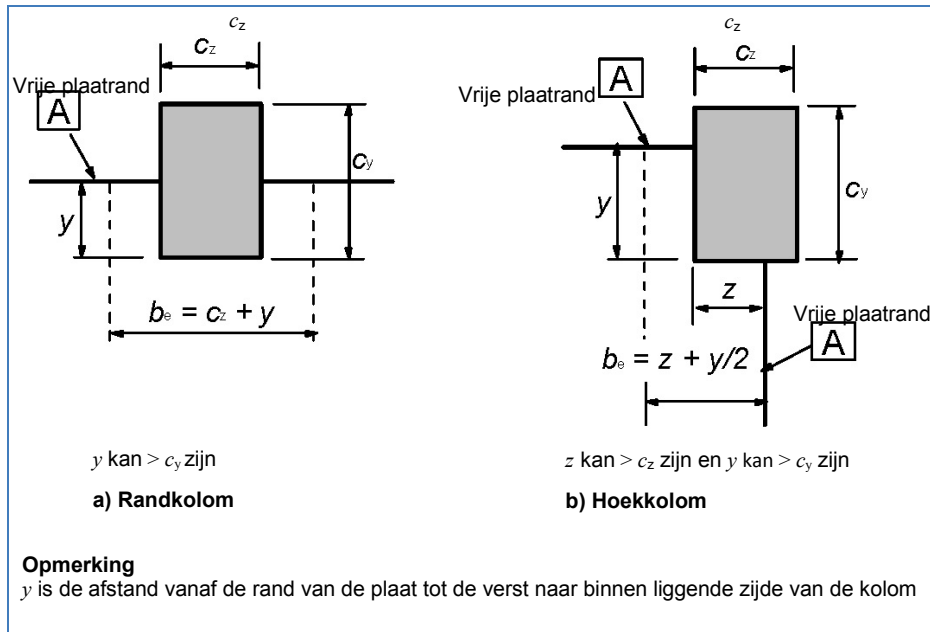
12.4.1. Detaillering ter hoogte van middenkolommen

► **9.4.1(2)** Onafhankelijk van de verdeling van de vlakke plaatvloer in kolom- en middenstroken, (zie [Lid 5.7](#)), moet een bovenwapening met een doorsnede van $0,5 A_t$ worden aangebracht in een breedte gelijk aan de som van 0,125 maal de veldbreedten aan beide zijden van de kolom. A_t is de oppervlakte van de wapeningsdoorsnede die nodig is om het volledige negatieve moment, aangrijpend op de twee halve velden aan beide zijden van de kolom, te kunnen opnemen.

► **9.4.1(3)** In elke orthogonale richting moet onderwapening bestaande uit ten minste twee staven worden aangebracht; deze wapening moet over de kolom doorlopen.

12.4.2. Detaillering ter hoogte van rand- en hoekkolommen

► **9.4.2(1)** Wapening loodrecht op een vrije rand die nodig is om buigende momenten in een plaat over te dragen op een rand- of hoekkolom, moet worden aangebracht binnen de meewerkende breedte b_e zoals getoond in [Figuur 12.4](#).

Figuur 12.4 Meewerkende breedte b_e van een vlakke plaatvloer ► Fig. 9.9

In elke orthogonale richting moet onderwapening bestaande uit ten minste twee staven worden aangebracht; deze wapening moet over de kolom doorlopen. Zie ook [Lid 13.4](#).

12.4.3. Ponswapening

► 9.4.3(1) & ANB Als ponswapening is vereist, moet deze worden aangebracht tussen het belaste gebied of de kolom en de afstand $1,5d$ binnen de perimeter waar geen ponswapening meer nodig is, u_{out} .

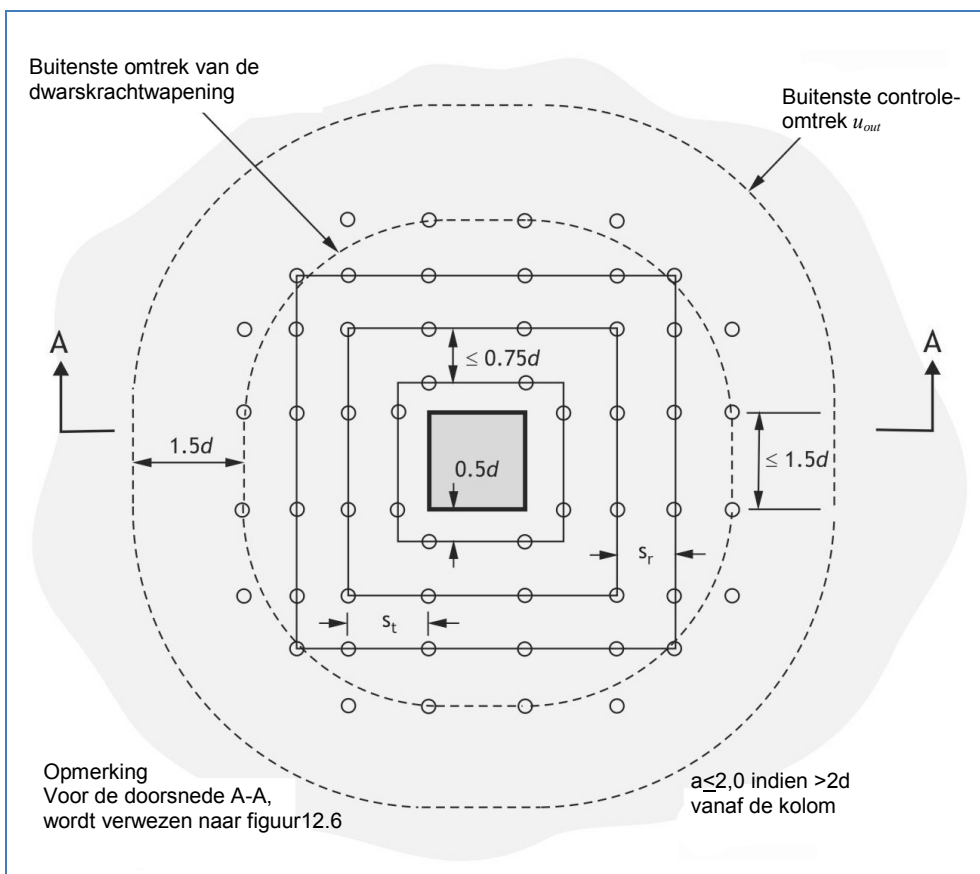
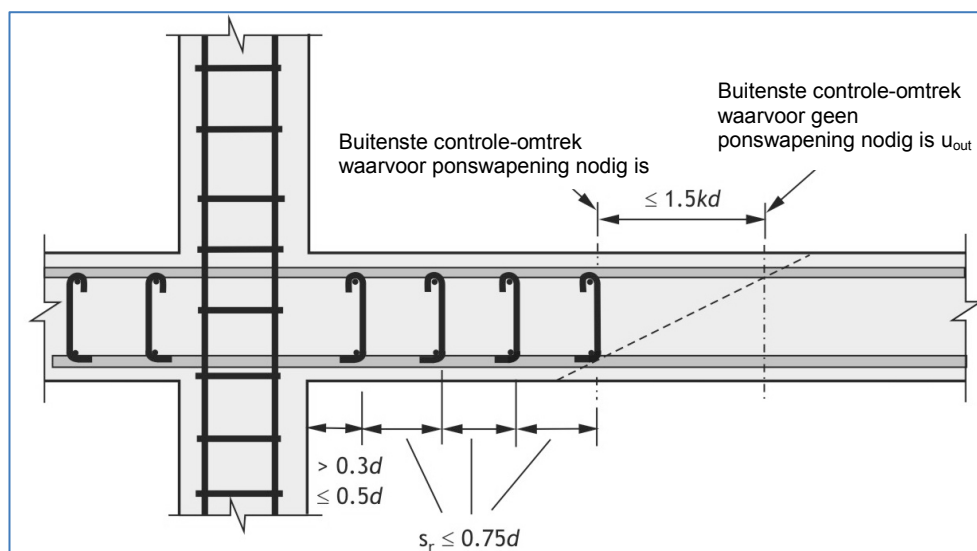
► 9.4.3(1)

De hart-op-hartafstand van de beugelstaven langs een perimeter mag niet groter zijn dan $1,5d$ langsheen eerste controle-omtrek, u_1 , gelegen op $2d$ vanaf het belast gebied (zie [Figuur 8.3](#)). Daar voorbij, mag de hart-op-hartafstand niet groter zijn dan $2d$ (zie [Figuur 12.5](#)). Voor niet-rechthoekige schikkingen wordt verwezen naar [Figuur 8.10](#).

De bedoeling is om een uniforme verdeling/dichtheid van de ponswapening te bekomen in de zone waar deze vereist is. Een vereenvoudiging om rechthoekige omtrekken voor de dwarskrachtwapening te bekomen, bestaat erin een wapeningsdichtheid A_{sw}/u_1 te gebruiken rond rechthoekige omtrekken.

► 6.4.5(4) & ANB Indien de omtrek waarvoor geen wapening meer vereist is, zich op minder dan $3d$ van de rand van het belast gebied bevindt, moet de ponswapening worden geplaatst in de zone tussen $3d$ en $1,5d$ vanaf de rand van het belast gebied. Ze moet worden geplaatst in minstens twee omtrekslijnen met beugels, waarbij de radiale afstand tussen de verticale beugelstaven niet groter is dan $0,75d$. Zie [Figuur 12.6](#).

Figuur 12.5 Schikking van de dwarskrachtwapening in een vlakke plaatvloer

Figuur 12.6 Doorsnede A-A van [Figuur 12.5](#): tussenafstand van de dwarskrachtbeugels ► Fig 9.10

12.5. Kolommen

12.5.1. Langswapening

► **9.5.2(1) & ANB** Langsstaven moeten een diameter hebben die niet kleiner is dan 12 mm voor ter plaatse gestort beton en 8 mm voor horizontaal gestorte geprefabriceerde elementen.

► **9.5.2(2)** De minimum doorsnede van de langswapening, $A_{s,min}$, wordt gegeven door:

$$A_{s,min} = 0,1 \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} \geq 0,002 A_c$$

waarin

N_{Ed} = rekenwaarde van de aangrijpende normaaldrukkracht
 f_{yd} = rekenwaarde van de elasticiteitsgrens van de wapening
 A_c = oppervlakte van de betondoorsnede

► **9.5.2(3) & ANB** De hoeveelheid langswapening mag niet groter zijn dan $0,04 A_c$ buiten gebieden met overlappingsen en $0,08 A_c$ in gebieden met overlappingsen. De praktische bovengrens wordt bepaald in functie van de mogelijkheid om het beton goed te kunnen storten en verdichten.

12.5.2. Dwarswapening (beugels, spelden)

► **9.5.3(6) & ANB**

Iedere langsstaf of stavenbundel die zich in een hoek bevindt, moet op zijn plaats worden gehouden door dwarswapening. Binnen een drukzone mag geen enkele niet-vastgehouden langsstaf verder dan 150 mm van een vastgehouden staaf gelegen zijn.

► **9.5.3(1)** De diameter van de dwarswapening mag niet kleiner zijn dan 6 mm of een kwart van de maximum diameter van de langsstaven indien deze laatste waarde groter is.

► **9.5.3(3) & ANB** De hart-op-hartafstand van dwarswapening mag niet groter zijn dan de kleinste van de volgende drie afstanden:

- 15 maal de minimum diameter van de langsstaven
- de kleinste afmeting van de kolom
- 300 mm.

► **9.5.3(4)** De maximum hart-op-hartafstand moet worden verminderd tot 60 % van de hierboven vermelde waarde

- in doorsneden gelegen binnen een afstand gelijk aan de grootste afmeting van de kolomdoorsnede, boven of onder een balk of plaat.
- in zones met overlappingsen indien de maximum diameter van de langsstaven groter is dan 14 mm. Een minimum van drie staven, gelijkmatig verdeeld over de overlappingslengte, is vereist.

► **9.5.3(5)** Bij een richtingsverandering van de langsstaven (bv. ter plaatse van een verandering van de kolomafmetingen), moet de hart-op-hartafstand van de dwarswapening worden berekend rekening houdend met de optredende krachten in dwarsrichting. Dit effect mag worden verwaarloosd indien de richtingsverandering van de langsstaven kleiner is dan 1 op 12.

12.6. Wanden

► **9.6.1(1)** Een wand in gewapend beton is een dragend element met een lengte/dikteverhouding van 4 of meer en waarbij in de sterkteberekening rekening is gehouden met de wapening.

12.6.1. Verticale wapening

► **9.6.2(1) & ANB** De oppervlakte van de doorsnede van de verticale wapening moet liggen tussen de minimum waarde $0,002 A_c$ en de maximum waarde $0,04 A_c$ buiten overlappingszones en $0,08 A_c$ in overlappingszones.

► **9.6.2(3)** De afstand tussen twee naburige verticale staven mag niet groter zijn dan driemaal de wanddikte of, als dit kleiner is, 400 mm.

12.6.2. Horizontale wapening

► **9.6.3(1) & ANB** Horizontale wapening die evenwijdig aan de zijden van de wand loopt dient te zijn aangebracht bij ieder oppervlak. Deze behoort niet kleiner te zijn dan ofwel 25 % van de verticale wapening ofwel, als dit groter is, $0,001 A_c$. Men dient rekening te houden met thermische effecten en krimp op jonge ouderdom indien scheurbeheersing noodzakelijk is.

► **9.6.3(2)** De hart-op-hartafstand van twee naburige horizontale staven mag niet groter zijn dan 400 mm.

12.6.3. Dwarswapening

► **9.6.4(1)** In elk deel van een wand waarin de totale oppervlakte van de doorsnede van de verticale wapening aan de twee zijden groter is dan $0,02 A_c$, moet dwarswapening in de vorm van beugels of spelden worden aangebracht in overeenstemming met de eisen voor kolommen.

► **9.6.4(2)** Indien de hoofdwapening zich situeert in de wapeningslaag die zich het dichtst bij het wandoppervlak bevindt, moet dwarswapening worden voorzien die bestaat uit ten minste vier beugels per m^2 wand. Dit is niet van toepassing als wapeningsnetten of staven met diameter $\phi \leq 16$ mm worden gebruikt en de betondekking groter is dan 2ϕ .

12.7. Poeren

► **9.8.1(1)** De afmetingen van poeren moeten worden vastgelegd rekening houdend met de verwachte afwijkingen tussen de voorziene plaats van de palen en de plaats in het werk (tolerantie op de inplanting) en moeten zodanig zijn dat de trekkrachten in de poer goed kunnen worden verankerd.

► **9.8.1(2) & ANB** Een poer moet worden berekend met de buigingstheorie ofwel met een staafwerkmodel.

► **9.8.1(3) & ANB** De hoofdtrekwapening dient geconcentreerd te zijn in de trekzones tussen de paalkoppen, op $1,5D$ van de as van de palen (met D de paaldiameter). Er moet een minimum staafdiameter van 8 mm worden toegepast.

Normaal moet een wapeningskorf voorzien worden bestaande uit wapening die gelijkmatig verdeeld is langsheen alle vlakken van de poer.

12.8. Boorpalen

► **9.8.5(3) & ANB** Boorpalen met een diameter die niet groter is dan 600 mm moeten worden voorzien van een langswapening met een minimum oppervlakte van de doorsnede gelijk aan 0,8 % van de oppervlakte van de paaldoorsnede. In geval de diameter groter is dan 600 mm, kan de minimum wapening berekend worden aan de hand van de uitdrukking voor kolommen (zie [Lid 12.5.1](#)). De palen moeten ten minste zes langsstaven bevatten waarbij de vrije ruimte tussen de staven niet groter mag zijn dan 200 mm gemeten langs de omtrek van de palen. De wapeningsdetaillering moet voldoen aan EN 1536 ^[15] met uitzondering van de langswapening.

13. Trekbanden

13.1. Algemeen

►9.10.1(1) Alle constructies moeten voorzien zijn van een systeem van trekbanden ter voorkoming van voortschrijdende instorting en teneinde een alternatieve belastingsoverdracht na lokale schade mogelijk te maken. Aan deze eis zal voldaan zijn indien de volgende regels worden nageleefd.

►9.10.1(2) De volgende trekbanden dienen te worden voorzien:

- Trekbanden langs de omtrek.
- Inwendige trekbanden.
- Horizontale trekbanden voor kolommen of wanden.
- Verticale trekbanden.

►9.10.1(4) De berekening van de trekbanden bestaat erin wapening te dimensioneren die in staat is om de verbindingskrachten op te nemen die hierna gedefinieerd worden, waarbij wordt uitgegaan van de karakteristieke sterkte van de wapening.

►9.10.1(5) Wapening die voor andere doeleinden is aangebracht, mag worden beschouwd als zijnde deels of volledig geïntegreerd in deze trekbanden.

Alle trekbanden moeten effectief doorgaand zijn en aan hun einden zijn verankerd.

13.2. Trekbanden langs de omtrek

►9.10.2.2(1) Op elk vloer- en dakniveau moet binnen 1,2 m vanaf de rand een doeltreffende doorgaande trekband langs de omtrek worden aangebracht.

►9.10.2.2(3) Constructies met inwendige randen (bv. atriums, binnenplaatsen enz.) moeten gelijkaardige trekbanden langs de omtrek hebben.

►9.10.2.2(2) & ANB De trekband langs de omtrek moet in staat zijn de volgende trekkracht op te nemen:

$$F_{tie,per} = l_i \cdot 10 \text{ kN/m} \leq 70 \text{ kN},$$

waarin l_i de lengte van de eindoverspanning is in m.

►9.10.3(1) Trekbanden in twee horizontale richtingen moeten effectief doorlopend zijn en verankerd zijn aan de buitenranden van de constructie.

13.3. Inwendige trekbanden

►9.10.2.3(1) Inwendige trekbanden moeten op elk vloer- en dakniveau in twee ongeveer loodrecht op elkaar staande richtingen voorzien worden. Ze dienen effectief doorlopend te zijn over de gehele lengte en dienen aan ieder einde verankerd te zijn aan de trekbanden langs de omtrek, tenzij ze als horizontale trekbanden doorlopen naar kolommen of wanden.

►9.10.2.3(2) Inwendige trekbanden mogen, geheel of gedeeltelijk, gelijkmatig worden verdeeld in platen of worden gegroepeerd ter plaatse van balken, wanden of andere toepasselijke plaatsen. In wanden moeten ze binnen de 0,5 m vanaf de boven- of de onderzijde van vloerplaten liggen.

►9.10.2.3(3) & ANB In elke richting moeten inwendige trekbanden een trekkracht kunnen opnemen ter grootte van:

$$f_{tie,int} = 20 \text{ kN per meter breedte}$$

13.4. Horizontale trekbanden aan kolommen en wanden

► 9.10.2.4(1) Randkolommen en –wanden dienen op elk vloer- en dakniveau horizontaal te worden verbonden aan de constructie.

► 9.10.2.4(3) Randkolommen en –wanden moeten in twee richtingen worden verbonden.

► 9.10.2.4(2) & ANB De trekbanden moeten in staat zijn een trekkracht $f_{\text{tie, fac}} = 20 \text{ kN/m}$ gevel op te nemen. Voor kolommen mag de kracht beperkt worden tot $F_{\text{tie, col}} = 150 \text{ kN}$.

13.5. Verticale trekbanden

► 9.10.2.5(1) In gebouwen met geprefabriceerde panelen, van vijf bouwlagen of meer moeten in de kolommen en/of de wanden verticale trekbanden worden aangebracht teneinde schade door instorting van een vloer veroorzaakt door het accidenteel wegvallen van een ondersteunende kolom of wand, te beperken. Deze trekbanden dienen deel uit te maken van een draagsysteem dat het beschadigde gebied kan overbruggen.

► 9.10.2.5(2) In het algemeen moeten vanaf het laagste tot het hoogste niveau doorgaande verticale trekbanden worden aangebracht, die in staat zijn de belasting op de vloer boven een accidenteel weggefallen kolom/wand te dragen in de buitengewone ontwerpsituatie. Andere oplossingen, bijvoorbeeld gebaseerd op membraanwerking van overblijvende wandelementen en/of membraanwerking in vloeren, mogen zijn gebruikt als het evenwicht en een voldoende vervormingscapaciteit (ductiliteit) kunnen worden aangetoond.

► 9.10.2.5(3) Als een kolom of wand op zijn laagste niveau door een ander element dan een fundering (bijvoorbeeld een ligger of een vlakke plaat) is ondersteund, dient in de berekening het bezwijken van dit element door een buitengewone belasting in rekening te worden gebracht en moet een geschikte alternatieve belastingsoverdracht voorzien worden.

14. Ongewapend of lichtgewapend beton

14.1. Algemeen

► **1.5.2.2** Een element van ongewapend beton is een element dat geen wapening bevat. Elementen waarin minder wapening aanwezig is dan de vereiste minimum hoeveelheden zoals vermeld in [Hoofdstuk 12](#), worden vanuit het oogpunt van de berekening ook beschouwd als zijnde ongewapend.

► **12.3.1(1) & ANB** De rekenwaarde van de druksterkte wordt bepaald als $f_{cd,pl} = 0,8 f_{ck}/\gamma_c$ (zoals uitgewerkt in [Tabel 14.1](#)).

► **12.3.1(2) & AC** Over het algemeen wordt de treksterkte bepaald als $f_{ctd,pl} = 0,8 f_{ctk,0,05}/\gamma_c$ (zoals uitgewerkt in [Tabel 14.1](#)).

Tabel 14.1 Eigenschappen van ongewapend beton (MPa)

Sterkte-klasse (MPa)	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
f_{ck}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{cd,pl}$	6,40	8,53	10,66	13,33	16,00	18,67	21,33	24,00	26,67
$f_{ctk,0,05}$	1,10	1,33	1,55	1,80	2,03	2,25	2,46	2,66	2,85
$f_{ctd,pl}$	0,587	0,707	0,827	0,960	1,080	1,200	1,307	1,413	1,520
$\sigma_{c,lim}$	2,35	3,42	4,50	5,92	7,41	8,90	10,45	12,02	13,58
Opmerking De tabelwaarden zijn bepaald volgens NBN EN 1992-1-1 door gebruik te maken van de aanbevolen waarden van $\alpha_{cc,pl}$ en $\alpha_{ct,pl}$									

De rekenwaarde van de treksterkte is als volgt gedefinieerd:

► **3.1.8**

$$f_{ctd,pl,fl} = (1,6 - h/1000) f_{ctd,pl} \leq f_{ctd,pl}$$

waarin

h = van het element in mm

$f_{ctd,pl}$ = waarde volgens [Tabel 14.1](#)

14.2. Buiging en normaalkracht

► **12.6.2** Tenzij maatregelen worden genomen om plaatselijk bezwijken op trek te voorkomen, moet de maximale excentriciteit van de normaalkracht N_{Ed} in een doorsnede worden beperkt teneinde grote scheuren te voorkomen.

► **12.6.1(3) & AC en 3.1.7(3)** De uiterst opneembare normaalkracht N_{Rd} van een rechthoekige doorsnede met een een-assige excentriciteit e , zoals weergegeven in [Figuur 14.1](#), mag worden bepaald uit:

$$N_{Rd} = f_{cd,pl} b h_w (1 - 2e/h_w)$$

waarin

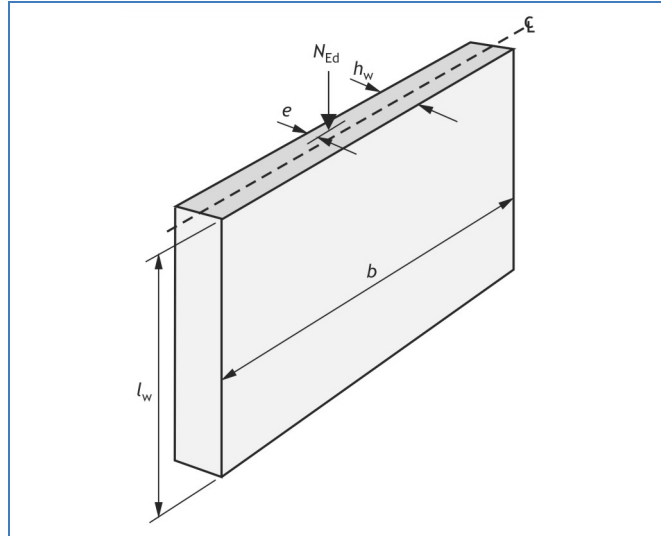
b = totale breedte

h_w = totale hoogte

e = excentriciteit van N_{Ed} in de richting van h_w

Bij de vermelde waarde van N_{Rd} wordt verondersteld dat geen knik optreedt.

Figuur 14.1 Notaties voor ongewapende wanden ► Fig. 14.1



14.3. Dwarskrachtweerstand

► 12.6.3(2) & ANB & AC Men dient de volgende voorwaarde voor de schuifspanning na te gaan

$$\tau_{cpl} = 1,5 V_{Ed}/A_{cc} \leq f_{cvd}$$

waarin

A_{cc} = oppervlakte van de gedrukte dwarsdoorsnede

V_{Ed} = rekenwaarde van de dwarskracht

f_{cvd} = rekenwaarde van de sterkte van het beton onder afschuiving en druk, die afhankelijk is van de grootte van de centrische spanning (zie [Tabel 14.2](#))

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd,pl}^2 + \sigma_{cpl} f_{ctd,pl}} \quad \text{indien } \sigma_{cpl} \leq \sigma_{c,lim}$$

$$f_{cvd} = \sqrt{f_{ctd,pl}^2 + \sigma_{cpl} f_{ctd,pl} - \left(\frac{\sigma_{cpl} - \sigma_{c,lim}}{2} \right)^2} \quad \text{indien } \sigma_{cpl} > \sigma_{c,lim}$$

waarin

$$\sigma_{cpl} = N_{Ed}/A_{cc}$$

N_{Ed} = druknormaalkracht

$$\sigma_{c,lim} = f_{cd,pl} - 2\sqrt{f_{ctd,pl}(f_{ctd,pl} + f_{cd,pl})} \quad (\text{zie [Tabel 14.1](#)})$$

Tabel 4.2 Weerstand tegen dwarskracht $f_{\text{c,pl}}$ van ongewapend beton (MPa)

σ_{cpl} (MPa)	f_{ck} (MPa)								
	12	16	20	25	30	35	40	45	50
0,0	0,44	0,53	0,62	0,72	0,81	0,90	0,98	1,06	1,14
1,0	0,80	0,90	1,00	1,11	1,21	1,31	1,40	1,48	1,56
2,0	1,03	1,16	1,27	1,40	1,51	1,61	1,71	1,80	1,89
3,0	1,06	1,35	1,50	1,63	1,76	1,87	1,98	2,08	2,17
4,0	0,84	1,38	1,66	1,84	1,98	2,10	2,21	2,32	2,42
5,0		1,21	1,68	2,01	2,17	2,30	2,42	2,54	2,65
6,0		0,72	1,54	2,06	2,34	2,49	2,62	2,74	2,85
7,0			1,20	1,98	2,41	2,66	2,80	2,93	3,05
8,0				1,76	2,38	2,75	2,97	3,10	3,23
9,0				1,34	2,23	2,75	3,08	3,27	3,40
10,0				0,00	1,96	2,65	3,10	3,39	3,56

14.4. Knikweerstand van kolommen en wanden

► 12.6.5.2(1) De normaalkracht waaraan een wand met een dwarsdoorsnede bh_w kan weerstaan mag gelijk genomen worden aan:

$$N_{\text{Rd}} = bh_w f_{\text{cd,pl}} \Phi$$

waarin

b = totale breedte van de dwarsdoorsnede

h_w = totale hoogte van de dwarsdoorsnede

$f_{\text{cd,pl}}$ = rekenwaarde van de betondruksterkte

$$= \alpha_{\text{cc,pl}} f_{\text{ck}} / \gamma_c$$

waarin

$$\alpha_{\text{cc,pl}} = 0,8$$

f_{ck} = karakteristieke cilinderdruksterkte

γ_c = partiële veiligheidsfactor voor beton

Φ = coëfficiënt waardoor rekening wordt gehouden met de excentriciteit, inclusief tweede-orde effecten en kruip

$$\Phi = 1,14 \left(1 - 2 \frac{e_{\text{tot}}}{h_w} \right) - 0,02 \frac{l_0}{h_w} \leq 1 - 2 \frac{e_{\text{tot}}}{h_w}$$

► Vgl.(12.11) & AC

waarin

$$e_{\text{tot}} = e_0 + e_i \quad \text{► Vgl.(12.12)}$$

waarin

e_0 = eerste-orde excentriciteit ten gevolge van de vloerbelasting en van horizontale belastingen

e_i = toelagexcentriciteit die de effecten van geometrische imperfecties afdekt, [Lid 5.6.2.1](#)

l_0 = effectieve lengte van de kolom of wand

$$l_0 = \beta l_w \quad \text{► Vgl.(12.9)}$$

waarin ► 12.6.5.1(1)

β = coëfficiënt afhankelijk van de oplegvoorwaarden:

voor kolommen dient men in het algemeen $\beta = 1$ te stellen

voor kolommen en wanden die vrij zijn aan één uiteinde is $\beta = 2$

voor andere wanden zijn de waarden van β vermeld in [Tabel 14.3](#)

l_w = vrije hoogte van het element

Tabel 14.3 Waarden van β voor wanden met verschillende randvoorwaarden

► Tab. 12.1

Randvoorwaarden	Wandlengte / Wandhoogte	Coëfficiënt β
Boven- en onderaan ingeklemd	Alle waarden	1,00
Boven- en onderaan ingeklemd en langs een verticale rand	0,2	0,26
	0,4	0,59
	0,6	0,76
	0,8	0,85
	1,0	0,90
	1,5	0,95
	2,0	0,97
	5,0	1,00
Ingeklemd langs de vier zijden	0,2	0,10
	0,4	0,20
	0,6	0,30
	0,8	0,40
	1,0	0,50
	1,5	0,69
	2,0	0,80
	5,0	0,96
Vrij aan één uiteinde	Alle waarden	2,00

Tabel 14.3 is van toepassing op wanden:

- zonder openingen
- waarvan de hoogte van de openingen niet groter is dan 33 % van de wandhoogte
- waarvan de oppervlakte van de openingen niet groter is dan 10 % van het wandoppervlak

Als niet aan deze voorwaarden is voldaan, moet worden aangenomen dat de wand enkel bovenaan en onderaan is ingeklemd.

► 12.6.5.1(5) De slankheid $\lambda = l_0/i$ mag niet groter zijn dan 86, met i = de traagheidsstraal. Voor een rechthoekige doorsnede is $i = h_w/3,46$ (dat wil zeggen dat l_0/h_w niet groter mag zijn dan 25).

► 12.6.5.1(3) Een dwarswand mag worden beschouwd als een schorende wand als:

- zijn totale breedte niet kleiner is dan $0,5 h_w$ waarin h_w de totale breedte is van de geschoorde wand
- deze dezelfde hoogte l_w heeft als de beschouwde geschoorde wand
- zijn lengte l_{ht} ten minste gelijk is aan $0,2 l_w$, waarin l_w de vrije hoogte is van de geschoorde wand en de dwarswand binnen de lengte l_{ht} geen openingen heeft

► 12.6.5.1(4) In het geval dat een wand langs de boven- en onderzijde door in situ gestort beton en een gepaste wapening zo buigvast is verbonden dat de randmomenten volledig kunnen worden opgenomen, mogen de waarden van β gegeven in Tabel 14.3 worden vermenigvuldigd met 0,85.

14.5. Bruikbaarheidsgrenstoestanden

► 12.7 en 12.9.1 In het algemeen zijn speciale controles niet vereist als voegen zijn aangebracht om de betontrekspanningen uit constructieve vervormingsverhinderingen te voorkomen en als de totale wanddikte minimaal 120 mm is. Als sleuven en uitsparingen voorkomen, kan het uitvoeren van controles vereist zijn.

14.6. Funderingsstroken en -zolen

► 12.9.3(1) & AC Funderingsstroken en -zolen die door verticale krachten worden belast, mogen als ongewapend beton worden berekend en uitgevoerd op voorwaarde dat:

$$\frac{0,85h_f}{a} \geq \sqrt{\frac{3\sigma_{gd}}{f_{ctd,pl}}} \quad \blacktriangleright \text{Vgl.(12.13) \& AC}$$

waarin

h_f = hoogte van de fundering (zie [Figuur 14.2](#))

a = lengte van het buiten de rand van de kolom of de wand uitkragende deel

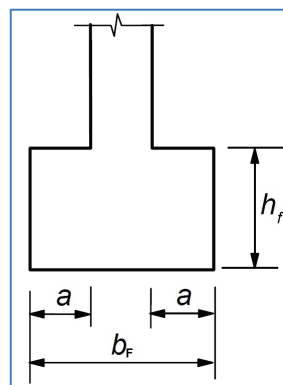
σ_{gd} = rekenwaarde van de gronddruk (in MPa)

$f_{ctd,pl} = 0,112.f_{ck}^{(2/3)}$ met f_{ck} in MPa [► 12.3.1\(2\) & Tabel 3.1 & AC](#)

= rekenwaarde van de betontreksterkte (in MPa)

Als vereenvoudiging mag de relatie $h_f \geq 2a$ worden gebruikt.

Figuur 14.2 Ongewapende funderingszolen;
notaties [► Fig. 12.2](#)



15. Ontwerphulpmiddelen

15.1. Rekenwaarden voor belastingen

Zie [Lid 2.3.4](#) Voor de berekening van de weerstand in de UGT (STR) moet, in het geval van een enkele veranderlijke belasting, de volgende belastingscombinatie gebruikt worden:

$$1,35G_k + 1,5Q_k \quad \blacktriangleright \text{NBN EN 1990: Vgl. 6.10}$$

met

G_k de karakteristieke waarde van de permanente belasting.

Q_k de karakteristieke waarde van de veranderlijke belasting.

In de BGT moeten de vervormingen worden berekend onder de quasi- blijvende belastingscombinatie

$$1,0G_k + \psi_2 Q_k$$

waarin ψ_2 kan worden ontleend aan [Tabel 2.1](#).

15.2. Belastingen

Zie [Lid 2.3.4](#) De karakteristieke waarden van de belastingen zijn vastgelegd in Eurocode 1, NBN EN 1991.

De diverse onderdelen van Eurocode 1 zijn vermeld in [Tabel 15.1](#).

In NBN EN 1991-1-1 is als volumieke massa van normaal beton een waarde van 24 kN/m^3 vermeld en voor gewapend beton een waarde van 25 kN/m^3 .

Tabel 15.1 Onderdelen van Eurocode 1

Onderdeel	Titel
NBN EN 1991-1-1	Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen
NBN EN 1991-1-2	Belasting bij brand
NBN EN 1991-1-3	Sneeuwbelasting
NBN EN 1991-1-4	Windbelasting
NBN EN 1991-1-5	Thermische belasting
NBN EN 1991-1-6	Belastingen tijdens uitvoering
NBN EN 1991-1-7	Buitengewone belastingen
NBN EN 1991-2	Verkeersbelasting op bruggen ^[3]
NBN EN 1991-3	Belastingen veroorzaakt door kranen en machines
NBN EN 1991-4	Silo's en opslagtanks ^[4]

15.3. Ontwerpen van rechthoekige doorsneden op enkelvoudige buiging

[Lid 6.1](#) De volgende formules voor rechthoekige doorsneden kunnen afgeleid worden uitgaande van de [Figuur 6.1](#), [Figuur 6.2](#) en [Figuur 6.3](#), door gebruik te maken van de volgende aannames:

- vereenvoudigde spanningsverdeling in de betondrukzone (zie [Figuur 6.1](#))
- wapening: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ en $\gamma_s = 1,15$
- betonsterkte: $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$
- beperking van de hoogte van de betondrukzone teneinde te voldoen aan het criterium voor de plastische rotatiecapaciteit: $x/d \leq 0,8(\delta - 0,44)$ [Lid 5.5](#)
- rechthoekige dwarsdoorsnede met nuttige hoogte d en breedte b met $d = h - \text{betondekking} - \phi/2$
- vereenvoudigd diagram voor de staalspanning σ_s (zie [Figuur 6.2](#)) met horizontale tweede staaf

Er wordt nagegaan of de doorsneden al dan niet zwak gewapend is m.a.w. of aan het criterium voor de plastische rotatiecapaciteit voldaan kan worden zonder drukwapening.

$$K = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{cd}}$$

$$K' = 0,820\delta - 0,205\delta^2 - 0,321 \quad (K' = 0,294 \text{ voor } \delta = 1)$$

met

M_{Ed} de rekenwaarde van het aangrijpend moment in de UGT.
 f_{cd} de rekenwaarde van de betondruksterkte.

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad \text{met } \alpha_{cc} = 0,85$$

δ de herverdelingscoëfficiënt voor de momenten, $\delta \leq 1$, (zie [Tabel 15.2](#));

Tabel 15.2 – Waarden van K'

Herverdelingspercentage	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
Coëfficiënt δ	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
Waarde van K'	0,294	0,273	0,251	0,228	0,204	0,179	0,153

Indien $K < K'$, is de dwarsdoorsnede zwak gewapend en de oppervlakte van de doorsnede van de getrokken wapening A_{s1} kan berekend worden door middel van de volgende uitdrukkingen:

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd} z}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 435 \text{ MPa}$$

$$z = 0,5(1 + \sqrt{1 - 2K})d$$

$$x = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2K})d$$

De waarden van z/d en x/d zijn weergegeven in [Tabel 15.3](#)² in functie van K .

Tabel 15.3 – Waarden van z/d en x/d in functie van K

K	z/d	x/d	$(1 - \delta)_{\max}$
0,100	0,95	0,13	30 %
0,120	0,94	0,16	30 %
0,140	0,92	0,19	30 %
0,160	0,91	0,22	29 %
0,180	0,90	0,25	25 %
0,200	0,89	0,28	21 %
0,220	0,87	0,31	17 %
0,240	0,86	0,35	12 %
0,260	0,85	0,38	8 %
0,280	0,83	0,42	3 %
0,294	0,82	0,45	0 %

Deze uitdrukkingen kunnen ook gebruikt worden voor T-doorsneden indien $x \leq 1,25h_f$ met h_f de dikte van de druktabel. Indien niet voldaan is aan deze voorwaarde, zie « Hoe ontwerpen en berekenen met Eurocode 2 ? » [\[12\]](#)

Indien $K > K'$, is niet voldaan aan het criterium van de plastische rotatiecapaciteit en is het noodzakelijk om drukwapening A_{s2} toe te voegen volgens

² $(1 - \delta)_{\max}$ is het maximum toegelaten herverdelingspercentage

$$A_{s2} = \frac{M_{Ed} - M'}{f_{sc}(d - d_2)}$$

$$M' = K' b d^2 f_{cd}$$

$$f_{sc} = \frac{700(x_u - d_2)}{x_u} \leq f_{yd}$$

$$x_u = 0,8(\delta - 0,44)d$$

$$A_{s1} = \frac{M'}{f_{yd}z} + \frac{A_{s2}f_{sc}}{f_{yd}}$$

$$z = 0,5(1 + \sqrt{1 - 2K'})d$$

waarin

A_{s1} = dwarsdoorsnede van de trekwapening

A_{s2} = dwarsdoorsnede van de drukwapening

d_2 = nuttige hoogte ten opzichte van de drukwapening

15.4. Balken ontwerpen op dwarskrachtweerstand

Zie [Lid 7.2](#)

15.4.1. Vereisten met betrekking tot dwarskrachtwapening

Indien $v_{Ed} > v_{Rd,c}$, is dwarskrachtwapening vereist

waarin

$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w d}$ is de aangrijpende dwarskracht uitgedrukt onder de vorm van een spanning

$v_{Rd,c}$ = dwarskrachtweerstand als geen dwarskrachtwapening aanwezig is, uitgedrukt onder de vorm van een spanning

b_w = breedte van het lijf van de balk.

In het tegengesteld geval, moet een minimum hoeveelheid dwarskrachtwapening $A_{sw,min}$ voorzien worden. De minimum dwarskrachtwapening mag worden weggelaten in elementen zoals platen (massieve, ribben- of kanaalplaten) indien herverdeling van belastingen in dwarsrichting mogelijk is. Minimum wapening mag ook worden weggelaten in elementen van ondergeschikt belang (bijvoorbeeld lateien met een overspanning ≤ 2 m) die niet significant bijdragen aan de totale weerstand en stabiliteit van de constructie.

Deze minimum hoeveelheid dwarskrachtwapening is gelijk aan

$$A_{sw,min} = 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} b_w d = \rho_{w,min} b_w d$$

Waarden van $\rho_{w,min}$ zijn opgenomen in [Tabel 15.4](#) voor $f_{yk} = 500$ MPa

Tabel 15.4 – Minimum percentage dwarskrachtwapening

f_{ck} (MPa)	20	25	30	35	40	45	50
$\rho_{w,min}$ (%)	0,072	0,080	0,088	0,095	0,101	0,107	0,113

$$v_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} k \sqrt[3]{100 \rho_l f_{ck}} \geq 0,035 \sqrt{k^3 f_{ck}}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \quad \text{met } d \text{ in mm}$$

waarin $\rho_l \leq 2\%$ de verhouding van de langswapening is. Waarden van $v_{Rd,c}$ kunnen bekomen worden uitgaande van [Tabel 15.5](#)

Tabel 15.5 – Waarden van $v_{Rd,c}$ in MPa voor $\gamma_c = 1,5$

$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,44	0,41	0,38	0,35	0,33	0,32	0,31	0,30
0,50 %	0,52	0,49	0,47	0,44	0,42	0,41	0,39	0,37
0,75 %	0,59	0,56	0,54	0,51	0,48	0,47	0,44	0,43
1,00 %	0,65	0,62	0,59	0,56	0,53	0,51	0,49	0,47
1,25 %	0,70	0,66	0,64	0,60	0,57	0,55	0,53	0,51
1,50 %	0,75	0,71	0,68	0,64	0,61	0,59	0,56	0,54
1,75 %	0,79	0,74	0,71	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57
2,00 %	0,82	0,78	0,75	0,70	0,67	0,65	0,62	0,59

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,49	0,46	0,43	0,39	0,37	0,35	0,33	0,32
0,50 %	0,56	0,53	0,51	0,48	0,45	0,44	0,42	0,40
0,75 %	0,64	0,60	0,58	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46
1,00 %	0,70	0,66	0,64	0,60	0,57	0,55	0,53	0,51
1,25 %	0,76	0,72	0,69	0,65	0,62	0,60	0,57	0,55
1,50 %	0,80	0,76	0,73	0,69	0,66	0,63	0,60	0,58
1,75 %	0,85	0,80	0,77	0,72	0,69	0,67	0,63	0,61
2,00 %	0,88	0,84	0,80	0,75	0,72	0,70	0,66	0,64

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,54	0,50	0,47	0,43	0,40	0,38	0,35	0,34
0,50 %	0,59	0,56	0,54	0,51	0,48	0,47	0,44	0,43
0,75 %	0,68	0,64	0,62	0,58	0,55	0,53	0,51	0,49
1,00 %	0,75	0,71	0,68	0,64	0,61	0,59	0,56	0,54
1,25 %	0,80	0,76	0,73	0,69	0,66	0,63	0,60	0,58
1,50 %	0,85	0,81	0,78	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62
1,75 %	0,90	0,85	0,82	0,77	0,73	0,71	0,67	0,65
2,00 %	0,94	0,89	0,85	0,80	0,77	0,74	0,70	0,68

$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,59	0,54	0,51	0,46	0,43	0,41	0,38	0,36
0,50 %	0,62	0,59	0,57	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
0,75 %	0,71	0,68	0,65	0,61	0,58	0,56	0,53	0,52
1,00 %	0,79	0,74	0,71	0,67	0,64	0,62	0,59	0,57
1,25 %	0,85	0,80	0,77	0,72	0,69	0,67	0,63	0,61
1,50 %	0,90	0,85	0,82	0,77	0,73	0,71	0,67	0,65
1,75 %	0,95	0,90	0,86	0,81	0,77	0,75	0,71	0,68
2,00 %	0,99	0,94	0,90	0,84	0,81	0,78	0,74	0,72

$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,63	0,58	0,54	0,49	0,46	0,44	0,41	0,39
0,50 %	0,65	0,62	0,59	0,56	0,53	0,51	0,49	0,47
0,75 %	0,75	0,71	0,68	0,64	0,61	0,59	0,56	0,54
1,00 %	0,82	0,78	0,75	0,70	0,67	0,65	0,62	0,59
1,25 %	0,88	0,84	0,80	0,75	0,72	0,70	0,66	0,64
1,50 %	0,94	0,89	0,85	0,80	0,77	0,74	0,70	0,68
1,75 %	0,99	0,94	0,90	0,84	0,81	0,78	0,74	0,72
2,00 %	1,03	0,98	0,94	0,88	0,84	0,82	0,78	0,75

$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,66	0,61	0,57	0,52	0,49	0,47	0,43	0,41
0,50 %	0,68	0,64	0,62	0,58	0,55	0,53	0,51	0,49
0,75 %	0,78	0,73	0,70	0,66	0,63	0,61	0,58	0,56
1,00 %	0,85	0,81	0,78	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62
1,25 %	0,92	0,87	0,84	0,78	0,75	0,73	0,69	0,67
1,50 %	0,98	0,93	0,89	0,83	0,80	0,77	0,73	0,71
1,75 %	1,03	0,97	0,93	0,88	0,84	0,81	0,77	0,74
2,00 %	1,08	1,02	0,98	0,92	0,88	0,85	0,81	0,78

$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,70	0,65	0,61	0,55	0,52	0,49	0,45	0,43
0,50 %	0,70	0,66	0,64	0,60	0,57	0,55	0,53	0,51
0,75 %	0,80	0,76	0,73	0,69	0,66	0,63	0,60	0,58
1,00 %	0,88	0,84	0,80	0,75	0,72	0,70	0,66	0,64
1,25 %	0,95	0,90	0,87	0,81	0,78	0,75	0,71	0,69
1,50 %	1,01	0,96	0,92	0,86	0,83	0,80	0,76	0,73
1,75 %	1,07	1,01	0,97	0,91	0,87	0,84	0,80	0,77
2,00 %	1,11	1,06	1,01	0,95	0,91	0,88	0,84	0,81

Zie [Lid 7.3.2](#)

15.4.2. Controle van de weerstand van een doorsnede

Indien $v_{Ed,z} > v_{Rd,max}$, zijn de afmetingen van de doorsnede niet voldoende (bezwijken van de drukschoren)

$v_{Ed,z}$ = is de aangrijpende dwarskracht uitgedrukt onder de vorm van een gemiddelde spanning in het lijf

$$v_{Ed,z} = \frac{V_{Ed}}{b_w z} = \frac{V_{Ed}}{b_w 0,9d}$$

$v_{Rd,max}$ = is de maximum dwarskracht die kan opgenomen worden door het element bij verbrijzeling van de drukschoren, uitgedrukt onder de vorm van een gemiddelde spanning in het lijf.

$$v_{Rd,max} = \frac{V_{Rd,max}}{b_w z} = \frac{V_{Rd,max}}{b_w 0,9d}$$

$$v_{Rd,max} = \frac{v f_{cd}}{\cot\theta + \tan\theta}$$

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

$v_{Rd,max}$ kan worden afgeleid uit [Tabel 15.6](#), waarin is uitgegaan van $\cot\theta = 2$. Indien nodig, kan een grotere weerstand worden verkregen door uit te gaan van een grotere hellingshoek θ van de drukdiagonaal waarbij $1 < \cot\theta < 2$ (dit zal evenwel een toename van de hoeveelheid dwarskrachtwapening tot gevolg hebben).

Tabel 15.6 Waarden van $v_{Rd,max}$ in MPa voor $\gamma_c = 1,5$ (verticale beugels: $\cot\alpha = 0$) Zie [Lid 7.3.3 Tabel 7.2](#)

f_{ck}	$v_{Rd,max}$ (MPa)						v
	$\cot = 2,0$ $\theta = 27^\circ$	1,8 29°	1,6 32°	1,4 36°	1,2 40°	1,0 45°	
20	2,94	3,12	3,31	3,48	3,62	3,68	0,55
25	3,60	3,82	4,04	4,26	4,43	4,50	0,54
30	4,22	4,48	4,75	4,99	5,19	5,28	0,53
35	4,82	5,11	5,41	5,69	5,92	6,02	0,52
40	5,38	5,71	6,04	6,36	6,61	6,72	0,50
45	5,90	6,27	6,63	6,98	7,26	7,38	0,49
50	6,40	6,79	7,19	7,57	7,87	8,00	0,48

Zie [Lid 7.3.3](#)

15.4.3. Dimensioneren van dwarskrachtwapening

Verticale beugels worden berekend aan de hand van de uitdrukking:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{v_{Ed,z} b_w}{f_{ywd} \cot\theta} \geq \frac{A_{sw,min}}{s}$$

met

A_s = oppervlakte van de doorsnede van de dwarskrachtwapening

s = hart-op-hartafstand van de beugels

$v_{Rd,c}$ = aangrijpende dwarskracht uitgedrukt onder de vorm van een gemiddelde spanning

$$\text{in het lijf (zie hierboven)} \quad v_{Ed,z} = \frac{V_{Ed}}{b_w z}$$

b_w = breedte van het lijf

f_{ywd} = rekenwaarde van de elasticiteitsgrens van de dwarskrachtwapening

$$f_{ywd} = f_{ywk}/1,15$$

Tabel 15.7 – Waarden van ρ_w in % in functie van $v_{Ed,z}$ voor $f_{ywk} = 500 \text{ MPa}$ en $\gamma_c = 1,5$ (verticale beugels: $\cot\alpha = 0$)

$v_{Ed,z}$ (MPa)	f_{ck}							$v_{Ed,z}$ (MPa)	f_{ck}						
	20	25	30	35	40	45	50		20	25	30	35	40	45	50
0,5	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	4,3	0,74	0,51	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
0,6	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	4,4	0,82	0,55	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
0,7	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	4,5		0,59	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
0,8	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	4,6		0,62	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
0,9	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,11	4,7		0,67	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54
1,0	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	4,8		0,72	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
1,1	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	4,9		0,77	0,59	0,56	0,56	0,56	0,56
1,2	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	5,0		0,83	0,62	0,57	0,57	0,57	0,57
1,3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	5,1		0,91	0,65	0,59	0,59	0,59	0,59
1,4	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	5,2		1,01	0,70	0,60	0,60	0,60	0,60
1,5	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	5,3			0,74	0,61	0,61	0,61	0,61
1,6	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	5,4			0,78	0,63	0,62	0,62	0,62
1,7	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	5,5			0,83	0,66	0,63	0,63	0,63
1,8	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	5,6			0,89	0,70	0,64	0,64	0,64
1,9	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	5,7			0,94	0,73	0,66	0,66	0,66
2,0	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	5,8			1,02	0,78	0,67	0,67	0,67
2,1	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	5,9			1,12	0,81	0,68	0,68	0,68
2,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	6,0			1,28	0,86	0,72	0,69	0,69
2,3	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	6,1				0,91	0,75	0,70	0,70
2,4	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	6,2				0,95	0,78	0,71	0,71
2,5	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	6,3				1,02	0,82	0,72	0,72
2,6	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	6,4				1,08	0,86	0,74	0,74
2,7	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	6,5				1,17	0,90	0,78	0,78
2,8	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	6,6				1,27	0,94	0,81	0,81
2,9	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	6,7				1,43	0,99	0,85	0,85
3,0	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	6,8					1,05	0,88	0,88
3,1	0,39	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	6,9					1,11	0,91	0,91
3,2	0,44	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	7,0					1,17	0,96	0,96
3,3	0,48	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	7,1					1,24	1,00	1,00
3,4	0,53	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	7,2					1,33	1,05	1,05
3,5	0,59	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	7,3					1,46	1,10	1,10
3,6	0,67	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	7,4						1,14	1,14
3,7		0,45	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	7,5						1,21	1,21
3,8		0,49	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	7,6						1,28	1,28
3,9		0,53	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	7,7						1,34	1,34
4,0		0,56	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	7,8						1,44	1,44
4,1		0,61	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	7,9						1,56	1,56
4,2		0,67	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	8,0							

15.5. Dimensioneren op ponsweerstand

Er moet nagegaan worden of ponswapening vereist is, in eerste instantie in u_1 , en daarna, indien nodig, in de volgende controle-omtrekken, u_i .

Zie [Lid 8.4](#) Indien $v_{Ed} > v_{Rd,c}$ is ponswapening vereist

waarin

v_{Ed} de ponsspanning is

$$v_{Ed} = \beta \frac{V_{Ed}}{u_i d}$$

- d = de gemiddelde nuttige hoogte
 u_i = de lengte van de beschouwde controle-omtrek (Zie Lid [8.3](#), [8.7](#) en [12.4.3](#))
 V_{Ed} = de aangrijpende ponskracht
 β = een coëfficiënt die de excentriciteit in rekening brengt (Zie [Lid 8.2](#))
 $v_{Rd,c}$ = de weerstandbiedende ponsspanning zonder ponswapening (zie [Tabel 15.5](#))

Zie [Lid 8.5](#) Verticale ponswapening wordt berekend op basis van de volgende uitdrukking:

$$\left(\frac{A_{sw}}{s_r} \right) = \frac{u_1 (v_{Ed} - 0,75 v_{Rd,c})}{1,5 f_{ywd,ef}}$$

Zie [Lid 10.4.2](#) & [Lid 12.4](#) waarin

- A_{sw} = de oppervlakte van de doorsnede van de ponswapening ter plaatse van een perimeter rond de kolom. Voor $A_{sw,min}$ zie [Lid 10.4.2](#)
 s_r = de radiale afstand tussen de perimeters van de ponswapening.
 u_1 = de lengte van de eerste controle-omtrek (zie [Figuur 8.3](#) en [Figuur 8.4](#))
 $f_{ywd,ef}$ = de effectieve rekenwaarde van de vloeigrens van de ponswapening in MPa.

$$f_{ywd,ef} = (250 + 0,25d) \leq f_{ywd} \quad d \text{ in mm}$$

Voor dwarskrachtwapening van de klasse 500, zie [Tabel 15.8](#)

Tabel 15.8 Effectieve rekenwaarde van de ponswapening voor $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

d	150	200	250	300	350	400	450
$f_{ywd,ef}$	287,5	300	312,5	325	337,5	350	362,5

► **6.4.5(3) ANB** Direct langs een kolom met omtrek u_0 , moet de optredende schuifspanning voldoen aan

$$v_{Ed} = \frac{\beta V_{Ed}}{u_0 d} \leq v_{Rd,max}$$

waarin

- β = coëfficiënt die de excentriciteit in rekening brengt (zie [Lid 8.2](#))
 V_{Ed} = aangrijpende dwarskracht
 d = gemiddelde nuttige hoogte
 u_0 = $2(c_1 + c_2)$ voor middenkolommen
 = $c_2 + 3d \leq c_2 + 2c_1$ voor randkolommen
 = $3d \leq c_2 + c_1$ voor hoekkolommen

met

- c_1 = hoogte van de dwarsdoorsnede van de kolom (voor randkolommen gemeten loodrecht op de vrije rand)
 c_2 = breedte van de kolom zoals aangeduid in [Figuur 8.5](#)

$$v_{Rd,max} = 0,5 v_{cd}$$

met

$$v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) (f_{ck} \text{ in MPa})$$

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} \quad \text{met } \alpha_{cc} = 1,0$$

15.6. Controle van de doorbuiging

Zie [Lid 10.5](#) In het algemeen mag de controle van de doorbuiging in de BGT worden uitgevoerd door begrenzing van de verhouding overspanning / nuttige hoogte.

Een nauwkeuriger nazicht valt buiten het toepassingsgebied van deze publicatie. Voor toepassing van de methode gebaseerd op de begrenzing van de verhouding overspanning / nuttige hoogte dient men na te gaan of:

$$l/d \leq N \cdot K \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_3$$

N = de basiswaarde van de verhouding overspanning / nuttige hoogte, afgeleid voor $K = 1,0$ en $\rho' = 0$ met behulp van de uitdrukkingen uit Zie [Lid 10.5.2](#) of van [Tabel 15.9](#) of van [Figuur 15.3](#)

K = een coëfficiënt om de verschillende constructieve systemen in rekening te brengen, zie [Tabel 15.10](#)

F_1 = een correctiecoëfficiënt voor T-doorsneden. Als $b_{\text{eff}}/b_w = 1,0$, is $F_1 = 1,0$. Als $b_{\text{eff}}/b_w > 3,0$, is $F_1 = 0,80$. Voor tussengelegen waarden van b_{eff}/b_w , wordt F_1 bekomen via interpolatie (zie [Tabel 15.11](#)).

Hierbij is

b_{eff} gedefinieerd in [Lid 5.2.2](#)

b_w de breedte van het lijf. Voor I-doorsnede, b_w = minimum breedte van het lijf in de trekzone. Voor een lijf met veranderlijke breedte, b_w = breedte van het lijf ter hoogte van het zwaartepunt van de wapening.

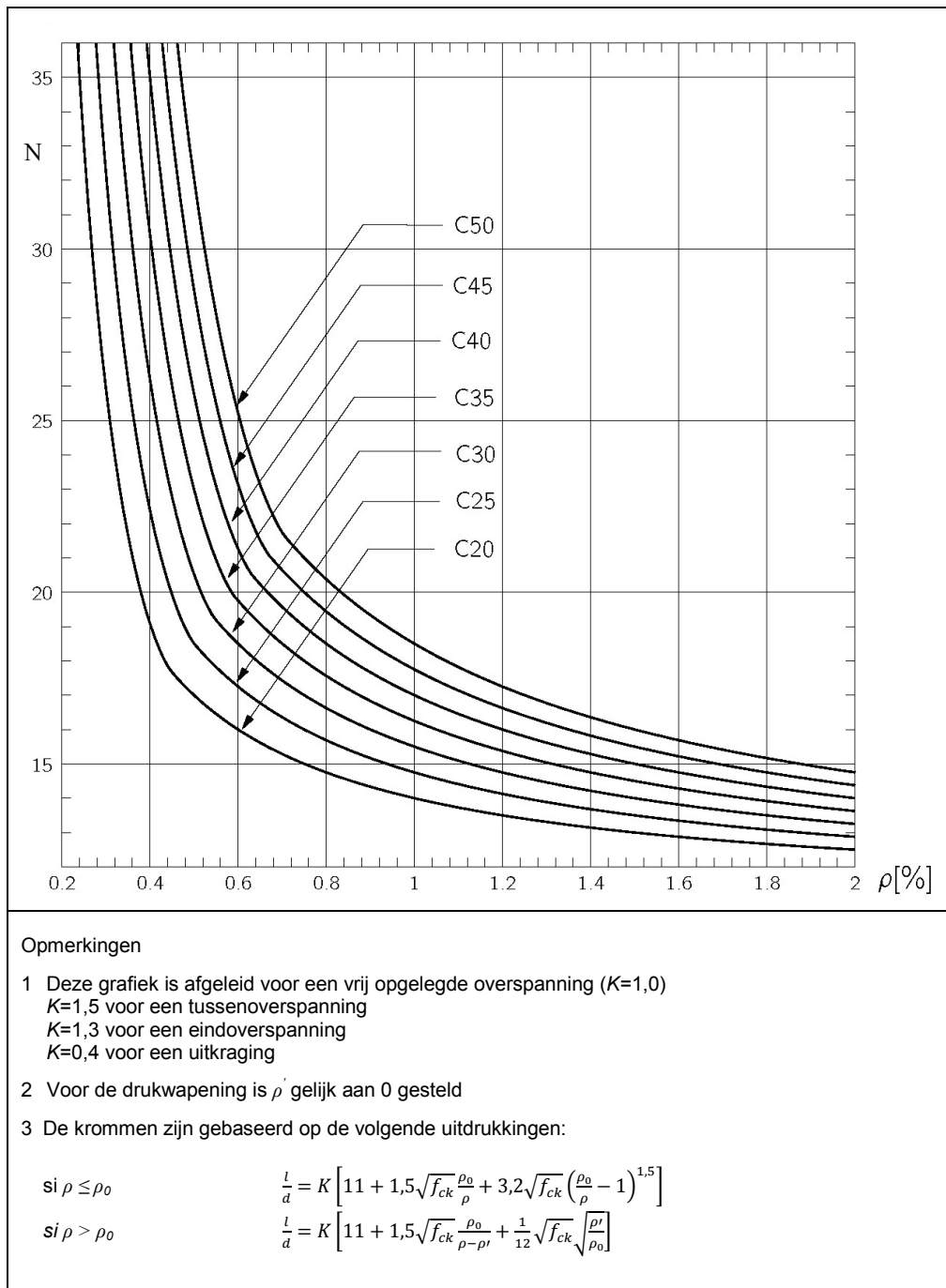
Tabel 15.9 Basiswaarden van de verhouding overspanning / nuttige hoogte, N , voor elementen zonder normaaldrukkracht

Vereiste wapenings-verhouding, ρ	f_{ck}						
	20	25	30	35	40	45	50
0,30 %	25,9	32,2	39,2	46,6	54,6	63,0	71,8
0,40 %	19,1	22,4	26,2	30,4	35,0	39,8	45,0
0,50 %	17,0	18,5	20,5	23,0	25,8	28,8	32,0
0,60 %	16,0	17,3	18,5	19,8	21,3	23,1	25,2
0,70 %	15,3	16,4	17,4	18,5	19,6	20,6	21,7
0,80 %	14,8	15,7	16,6	17,6	18,5	19,4	20,4
0,90 %	14,3	15,2	16,0	16,8	17,7	18,5	19,3
1,00 %	14,0	14,8	15,5	16,3	17,0	17,8	18,5
1,20 %	13,5	14,1	14,8	15,4	16,0	16,6	17,3
1,40 %	13,1	13,7	14,2	14,8	15,3	15,8	16,4
1,60 %	12,9	13,3	13,8	14,3	14,8	15,2	15,7
1,80 %	12,7	13,1	13,5	13,9	14,3	14,8	15,2
2,00 %	12,5	12,9	13,3	13,6	14,0	14,4	14,8
2,50 %	12,2	12,5	12,8	13,1	13,4	13,7	14,0
3,00 %	12,0	12,3	12,5	12,8	13,0	13,3	13,5
3,50 %	11,9	12,1	12,3	12,5	12,7	12,9	13,1
4,00 %	11,8	11,9	12,1	12,3	12,5	12,7	12,9
ρ_0	0,45 %	0,50 %	0,55 %	0,59 %	0,63 %	0,67 %	0,71 %
Voorwaarden De waarden van de verhouding overspanning / nuttige hoogte zijn bekomen door toepassing van de uitdrukkingen (7.16.a) en (7.16.b) van NBN EN 1992-1-1 Zie Lid 10.5.2 , met $K = 1$ (vrij opgelegd) en $\rho' = 0$ (geen drukwapening vereist). De verhouding overspanning / nuttige hoogte moet worden berekend op basis van de kleinste overspanning in geval van in twee richtingen dragende platen en de grootste overspanning in geval van vlakke plaatvloeren.							

Tabel 15.10 K-factoren te hanteren voor de basiswaarden van de verhouding overspanning / nuttige hoogte. ► [Lid 10.5.2 Tabel 10.3](#)

Constructief systeem		K
Balken	Platen	
Vrij opgelegde balk	In één of twee richtingen dragende vrij opgelegde plaat	1,0
Eindoverspanning van een doorgaande balk	Eindoverspanning van een doorgaande In één richting dragende plaat of van een in twee richtingen dragende plaat, doorgaand over één lange zijde	1,3
Tussenoverspanning van doorgaande balk	Tussenoverspanning van een doorgaande plaat	1,5
—	Vlakke plaatvloer (gebaseerd op de grootste overspanning)	1,2
Uitkraging	Uitkraging	0,4

Figuur 15.3 – Basiswaarden van de verhouding overspanning / nuttige hoogte, N , voor elementen zonder normaaldrukkracht, in functie van $\rho = A_{s,req}/(bd)$



Tabel 15.11 Waarden van de correctiecoëfficiënt F_1 , voor T-doorsneden

b_{eff}/b_w	1,0	1,5	2,0	2,5	$\geq 3,0$
F_1 (MPa)	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80

F_2 = een coëfficiënt die rekening houdt met de scheurgevoeligheid van scheidingswanden bij grote overspanningen. In het algemeen is $F_2 = 1,0$ maar als scheidingswanden bij overmatige doorbuiging kunnen worden beschadigd, moet F_2 als volgt worden bepaald:

- voor vlakke plaatvloeren met een grootste overspanning groter dan 8,5 m, is $F_2 = 8,5/l_{eff}$
- voor balken en andere platen met een grootste overspanning groter dan 7,0 m, is $F_2 = 7,0/l_{eff}$,

- waarden van F_2 mogen worden ontleend aan [Tabel 15.12](#)

F_3 = een coëfficiënt die de staalspanning in de trekwapening in gebruiksomstandigheden in rekening brengt;

$$F_3 = \frac{310}{\sigma_s} \leq 1,5.$$

Men kan veiligheidshalve aannemen dat de wapening gedimensioneerd is voor een spanning in gebruiksomstandigheden σ_s , gelijk aan 310 MPa, zodat

$$F_3 = \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \leq 1,5$$

(Er wordt opgemerkt dat in EC2 de grenswaarde 1,5 niet gedefinieerd is)

De staalspanning in gebruiksomstandigheden, σ_s , kan nauwkeuriger berekend worden met de momenten onder de frequente belastingscombinatie of als volgt geschat worden:

$$\sigma_s = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot \frac{M_{Eqp}}{M_{Ed}} \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \cdot \frac{1}{\delta}$$

$$\sigma_s = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \cdot \frac{G_k + \psi_2 Q_k}{1,35 G_k + 1,5 Q_k} \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \cdot \frac{1}{\delta}$$

waarin

M_{Eqp}	is het aangrijpend moment in de BGT onder de frequente belastingscombinatie
M_{Ed}	is het aangrijpend moment in de UGT
$A_{s,req}$	is de vereiste oppervlakte van de doorsnede van het betonstaal
$A_{s,prov}$	is de toegepaste oppervlakte van de doorsnede van het betonstaal
$1/\delta$	is de factor die toelaat om de eventuele momentenherverdeling die toegepast werd bij het ontwerp in de UGT teniet te doen, om aldus de niet-herverdeelde momenten in de BGT te bekomen. Indien geen momentenherverdeling werd toegepast in de UGT is $1/\delta = 1$

Tabel 15.12 Factor F_2 voor grote overspanningen in combinatie met scheidingswanden die bij overmatige doorbuiging kunnen worden beschadigd

Overspanning (m)	l_{eff}	$\leq 7,0$	7,5	8,0	8,5	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0
Vlakke plaatvloeren	$8,5/l_{eff}$	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,85	0,77	0,71	0,65	0,61	0,57	0,53
Balken en andere platen	$7,0/l_{eff}$	1,00	0,93	0,88	0,82	0,78	0,70	0,64	0,58	0,54	0,50	0,47	0,44

15.7. Scheurbeheersing

Zie [Lid 10.2](#)

Scheurwijdtes kunnen worden beperkt tot aanvaardbare waarden door het nemen van de volgende maatregelen:

- Een minimum hoeveelheid wapening voorzien, zodanig dat dat wapening niet plastisch vervormt bij vorming van de eerste scheur (zie [Lid 10.3](#)).
- **► 7.3.3(2)** Voor scheuren die in hoofdzaak worden veroorzaakt door belemmerde vervormingen, de staafdiameter beperken tot de waarden vermeld in [Tabel 10.1](#). In dit geval kan om het even welke staalspanning worden gekozen, maar de gekozen waarde moet dan wel worden toegepast bij de berekening van $A_{s,min}$ en de staafdiameter moet beperkt worden zoals aangegeven.
- Voor scheuren die in hoofdzaak worden veroorzaakt door belastingen, de staafdiameter beperken tot de waarden vermeld in [Tabel 10.1](#) ofwel de afstand tussen de staven beperken zoals vermeld in [Tabel 10.2](#). (zie [Tabel 15.13](#))

Indien gebruik gemaakt wordt van deze tabellen dan moet de staalspanning berekend worden op basis van een gescheurde doorsnede onder de van toepassing zijnde belastingscombinatie.

Indien geen specifieke eisen gesteld worden (bv. waterdichtheid), mag de berekende scheurwijdte $w_{\max}$ begrensd worden tot 0,3 mm voor alle milieuklassen onder de quasi-blijvende belastingscombinatie. Voor de milieuklassen X0 en XC1 en de omgevingsklasse E1, heeft de scheurwijdte geen invloed op de duurzaamheid en kan een grenswaarde van 0,4 mm worden aangenomen om een aanvaardbaar uiterlijk te waarborgen.

De trekspanning in het betonstaal, σ_s , mag worden berekend zoals toegelicht bij de factor F_3 in het voorgaand lid.

De minimale oppervlakte van de doorsnede van het betonstaal en de wapeningsdetaillering moeten ook worden nagezien. Zie [Lid 0.3](#), en [Lid 0.4](#).

Tabel 15.13 Maximum staafdiameters of maximum staafafstand voor scheurbeheersing
Zie [Lid 10.2](#) [Tabellen 10.1](#) en [10.2](#)

Staalspanning σ_s (MPa)	Maximum staafdiameter (mm)			Maximum staafafstand (mm)	
	$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,4$ mm		$w_k = 0,3$ mm	$w_k = 0,4$ mm
160	32	40	OU	300	300
200	25	32		250	300
240	16	20		200	250
280	12	16		150	200
320	10	12		100	150
360	8	10		50	100

15.8. Dimensioneren op samengestelde buiging

15.8.1. Algemeen

De rekenwaarden van het aangrijpend buigend moment M_{Ed} en de aangrijpende normaalkracht N_{Ed} in kolommen, moeten worden verkregen uit een berekening waarin imperfecties en, indien nodig, tweede-orde effecten zijn meegenomen (zie [Lid 5.6](#)).

15.8.2. Dimensionering

15.8.2.1 Enkelvoudig gewapende rechthoekige doorsnede

Een enkelvoudig gewapende rechthoekige doorsnede kan gedimensioneerd worden met behulp van het interactiediagram dat weergegeven is in [Figuur 15.4](#).

Dit diagram is opgesteld op basis van de volgende aannames:

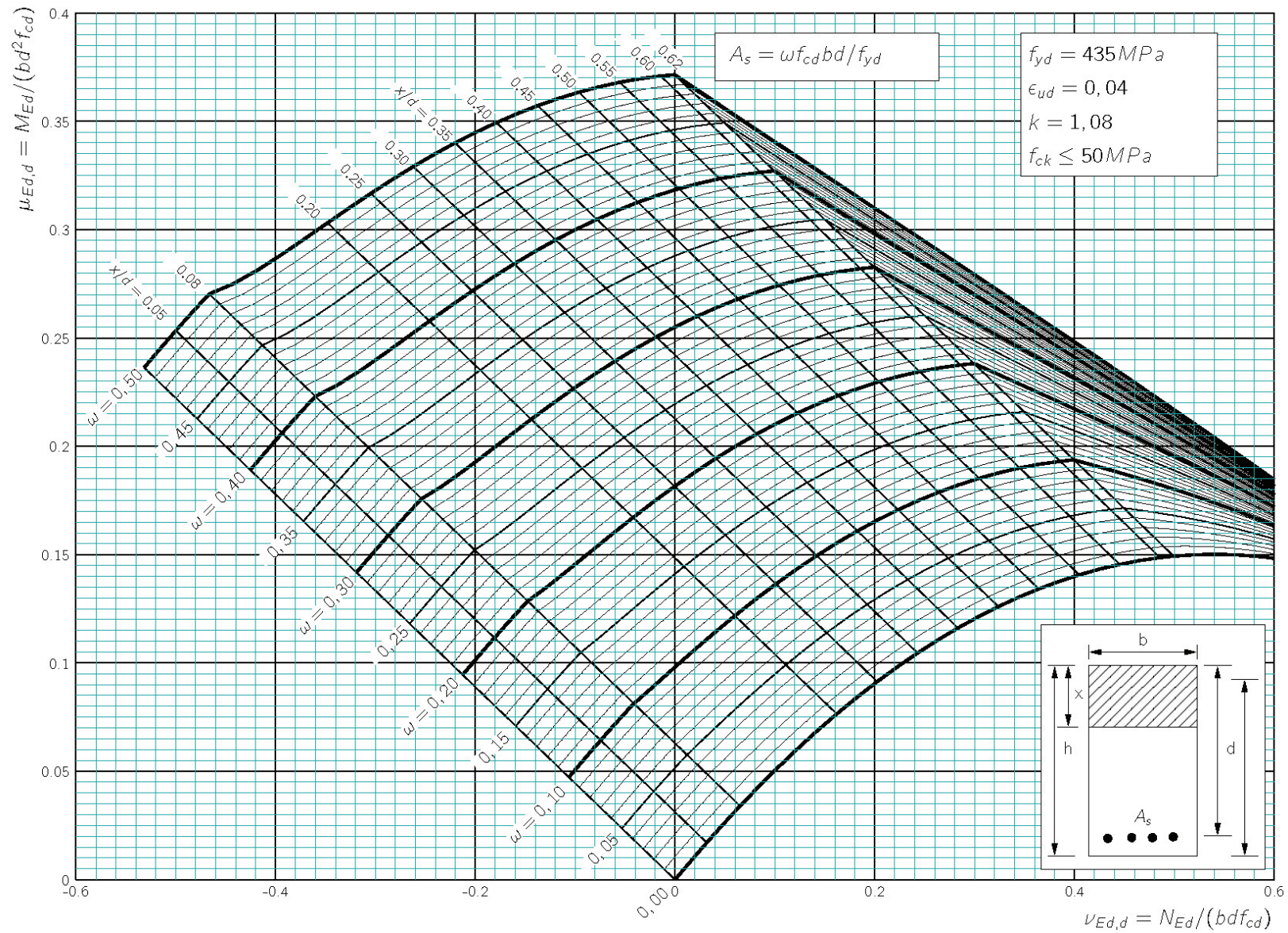
- Rechthoekige dwarsdoorsnede met breedte b , totale hoogte h , en nuttige hoogte d .
- Betonklasse C50 of lager, $f_{ck} \leq 50$ MPa, $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$ met $\alpha_{cc} = 0,85$
- Enkelvoudige wapening met doorsnede A_s , klasse B, $f_{yk} = 500$ MPa, $\gamma_s = 1,15$,
 $f_{yd} = 435$ MPa, $\epsilon_{ud} = 0,8 \cdot 0,05 = 0,04$, $k = (f_t / f_y)_k = 1,08$

De gereduceerde langskracht $v_{Ed,d}$ en het gereduceerd moment $\mu_{Ed,d}$ worden als volgt gedefinieerd:

$$v_{Ed,d} = \frac{N_{Ed}}{b d f_{cd}} \quad \text{en} \quad \mu_{Ed,d} = \frac{M_{Ed}}{b d^2 f_{cd}}$$

De wapeningsdoorsnede wordt bekomen op basis van de mechanische wapeningsverhouding ω

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{b d f_{cd}} \quad \text{of} \quad A_s = \omega b d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Figuur 15.4 Interactiediagram enkelvoudig gewapende rechthoekige doorsnede

15.8.2.2 Symmetrisch gewapende rechthoekige doorsnede

Een symmetrisch gewapende rechthoekige doorsnede kan gedimensioneerd worden met behulp van de interactiediagrammen die weergegeven zijn in de [Figuur 15.5](#) tot [Figuur 15.7](#).

Deze diagrammen zijn opgesteld op basis van de volgende aannames:

- rechthoekige dwarsdoorsnede met breedte b , totale hoogte h , en nuttige hoogte d
- betonklasse C50 of lager, $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$, $f_{cd} = \alpha_{cd} f_{ck} / \gamma_c$ met $\alpha_{cd} = 0,85$
- symmetrische dubbele wapening met doorsneden $A_{s1} = A_{s2}$, klasse B, $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$, $\gamma_s = 1,15$, $f_{yd} = 435 \text{ MPa}$, $\varepsilon_{ud} = 0,8 \cdot 0,05 = 0,04$, $k = (f_t / f_y)_k = 1,08$

De gereduceerde langskracht $v_{Ed,h}$ en het gereduceerd moment $\mu_{Ed,h}$ worden als volgt gedefinieerd:

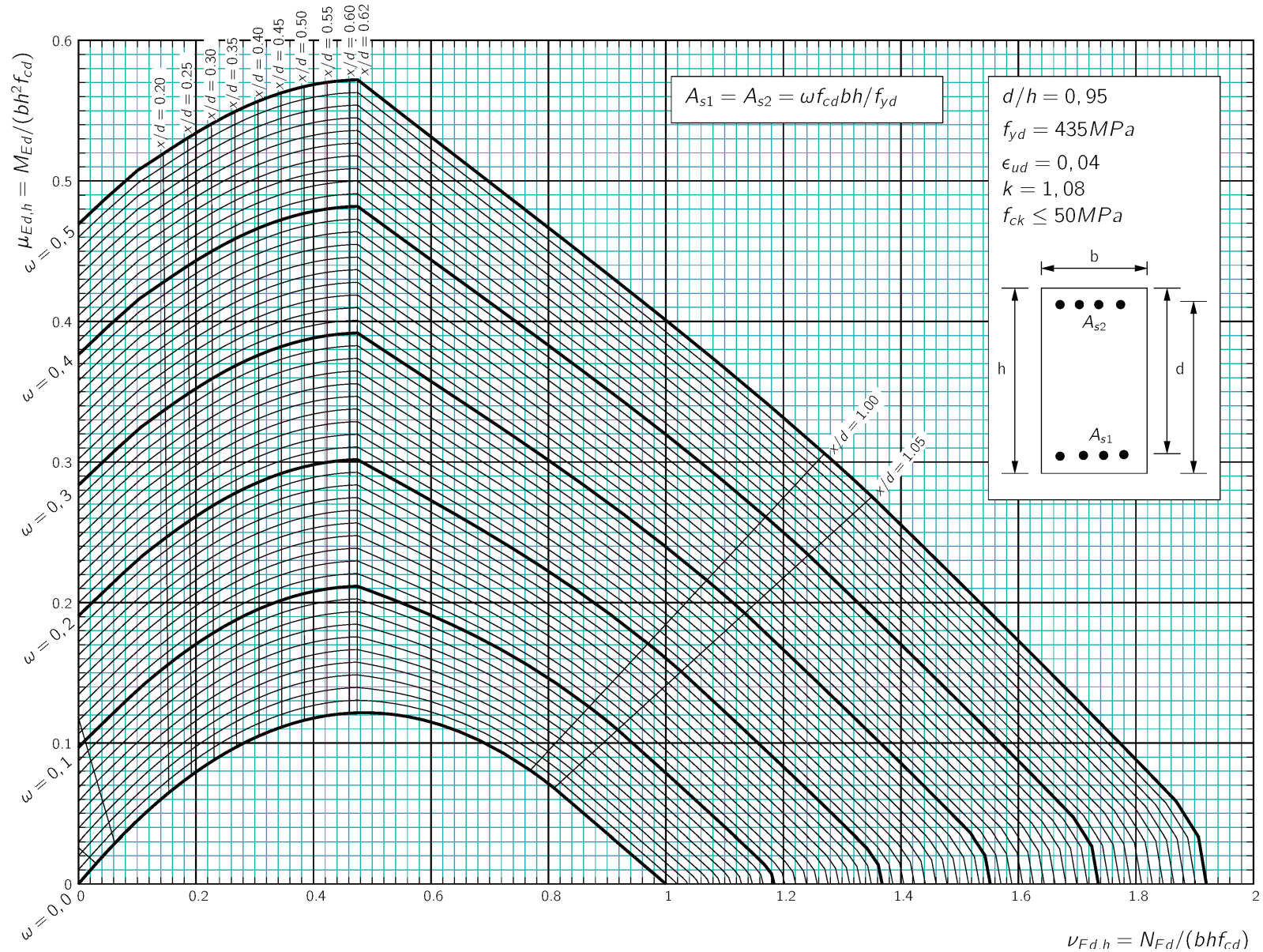
$$v_{Ed,h} = \frac{N_{Ed}}{b h f_{cd}} \quad \text{en} \quad \mu_{Ed,h} = \frac{M_{Ed}}{b h^2 f_{cd}}$$

De wapeningsdoorsneden worden bekomen op basis van de mechanische wapeningsverhouding ω

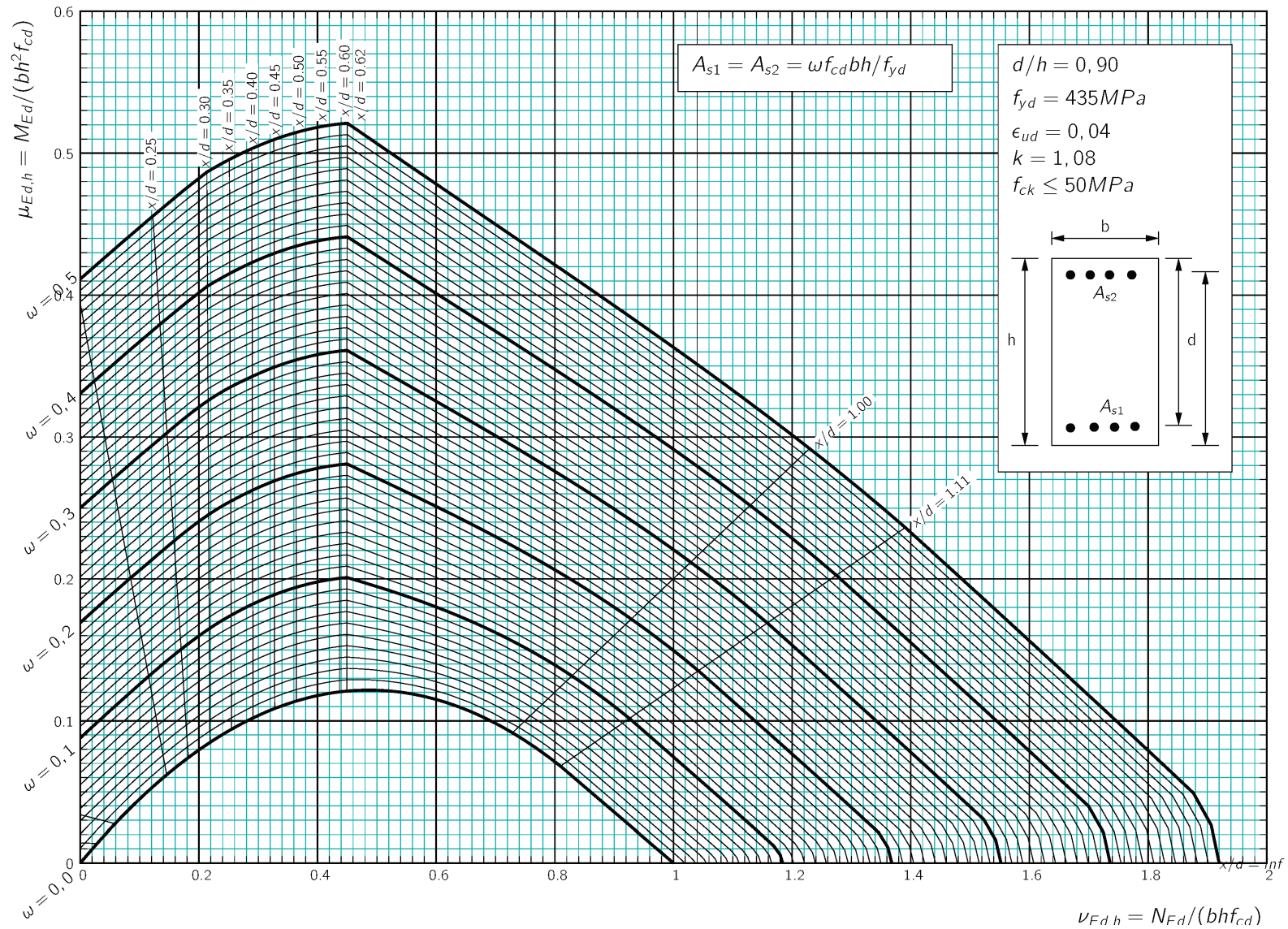
$$\omega = \frac{A_{s1} f_{yd}}{b h f_{cd}} = \frac{A_{s2} f_{yd}}{b h f_{cd}} \quad \text{of} \quad A_{s1} = A_{s2} = \omega b h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

De diagrammen 15.5, 15.6, 15.7 en 15.8 zijn respectievelijk opgesteld voor de waarden $d/h = 0,95$, $d/h = 0,90$, $d/h = 0,85$ en $d/h = 0,80$

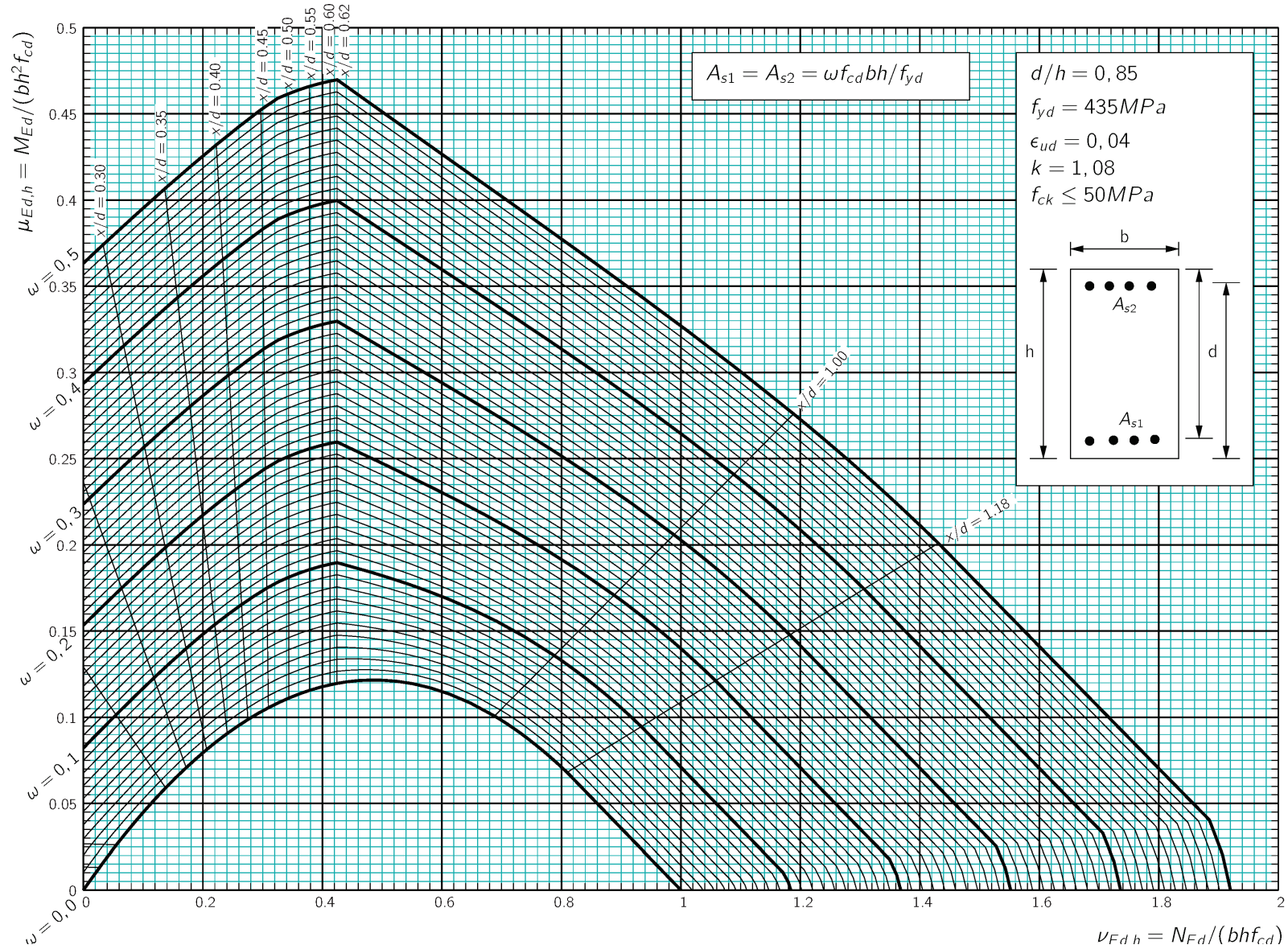
Figuur 15.5 Interactiediagram voor een dubbelgewapende symmetrische rechthoekige doorsnede – $d/h = 0,95$



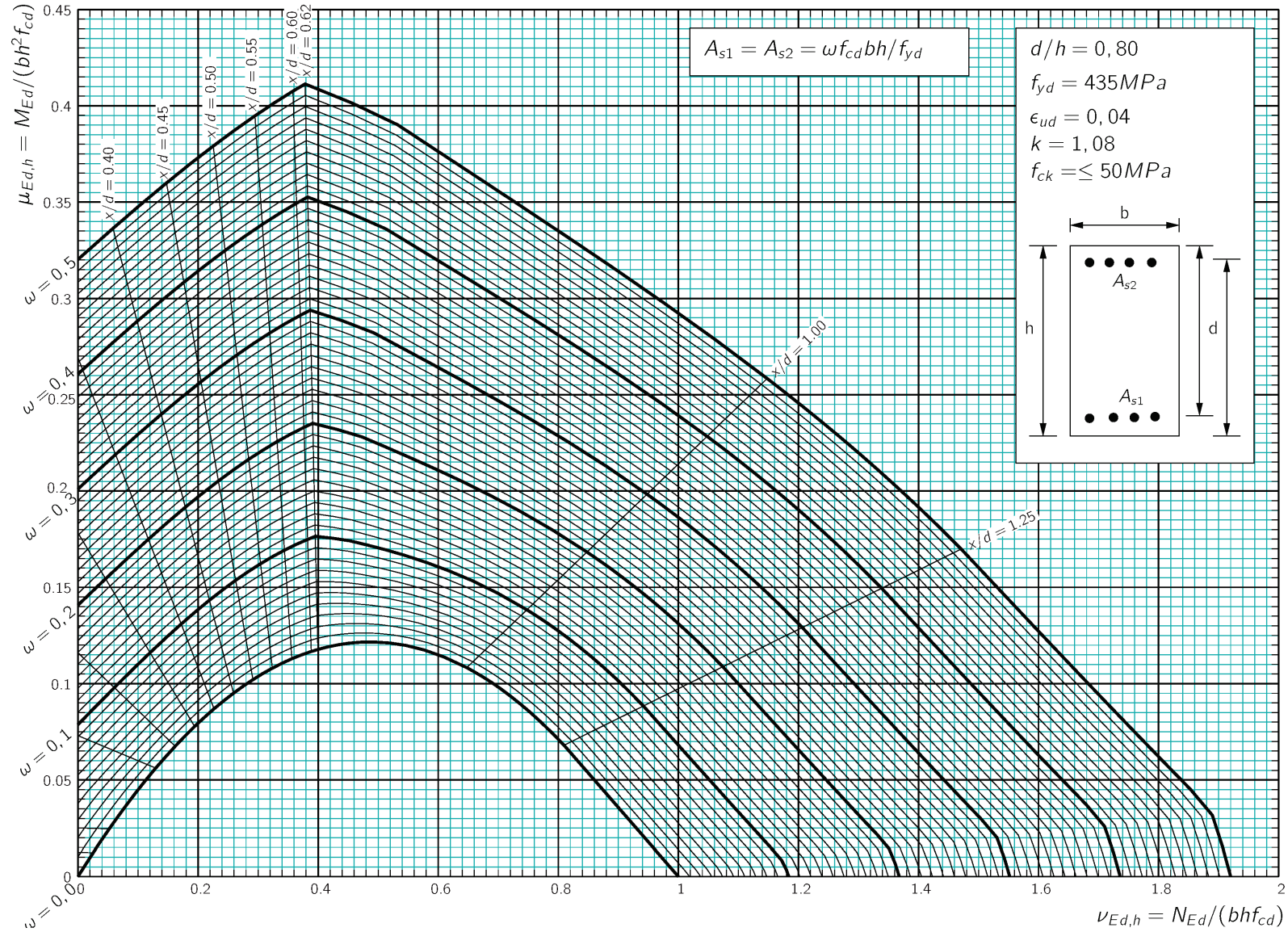
Figuur 15.6 Interactiediagram voor een dubbelgewapende symmetrische rechthoekige doorsnede – $d/h = 0,90$



Figuur 15.7 Interactiediagram voor een dubbelgewapende symmetrische rechthoekige doorsnede – $d/h = 0,85$



Figuur 15.8 Interactiediagram voor een dubbelgewapende symmetrische rechthoekige doorsnede – $d/h = 0,80$



15.8.2.3 Cirkelvormige dwarsdoorsnede

Een cirkelvormige dwarsdoorsnede kan gedimensioneerd worden met behulp van de interactiediagrammen die weergegeven zijn in de [Figuur 15.9](#) tot [Figuur 15.12](#).

Deze diagrammen zijn opgesteld op basis van de volgende aannames:

- cirkelvormige dwarsdoorsnede met diameter h en nuttige hoogte d
- betonklasse C50 of lager, $f_{ck} \leq 50$ MPa, $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$ met $\alpha_{cc} = 0,85$
- wapening A_s uniform verdeeld over een cirkel met straal $(d - h/2)$, klasse B, $f_{yk} = 500$ MPa, $\gamma_s = 1,15$, $f_{yd} = 435$ MPa, $\varepsilon_{ud} = 0,8 \cdot 0,05 = 0,04$, $k = (f_t/f_y)_k = 1,08$

De gereduceerde langskracht $v_{Ed,h}$ en het gereduceerd moment μ_{Ed} worden als volgt gedefinieerd:

$$v_{Ed,h} = \frac{N_{Ed}}{A_c f_{cd}} \quad \text{en} \quad \mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{A_c h f_{cd}}$$

met

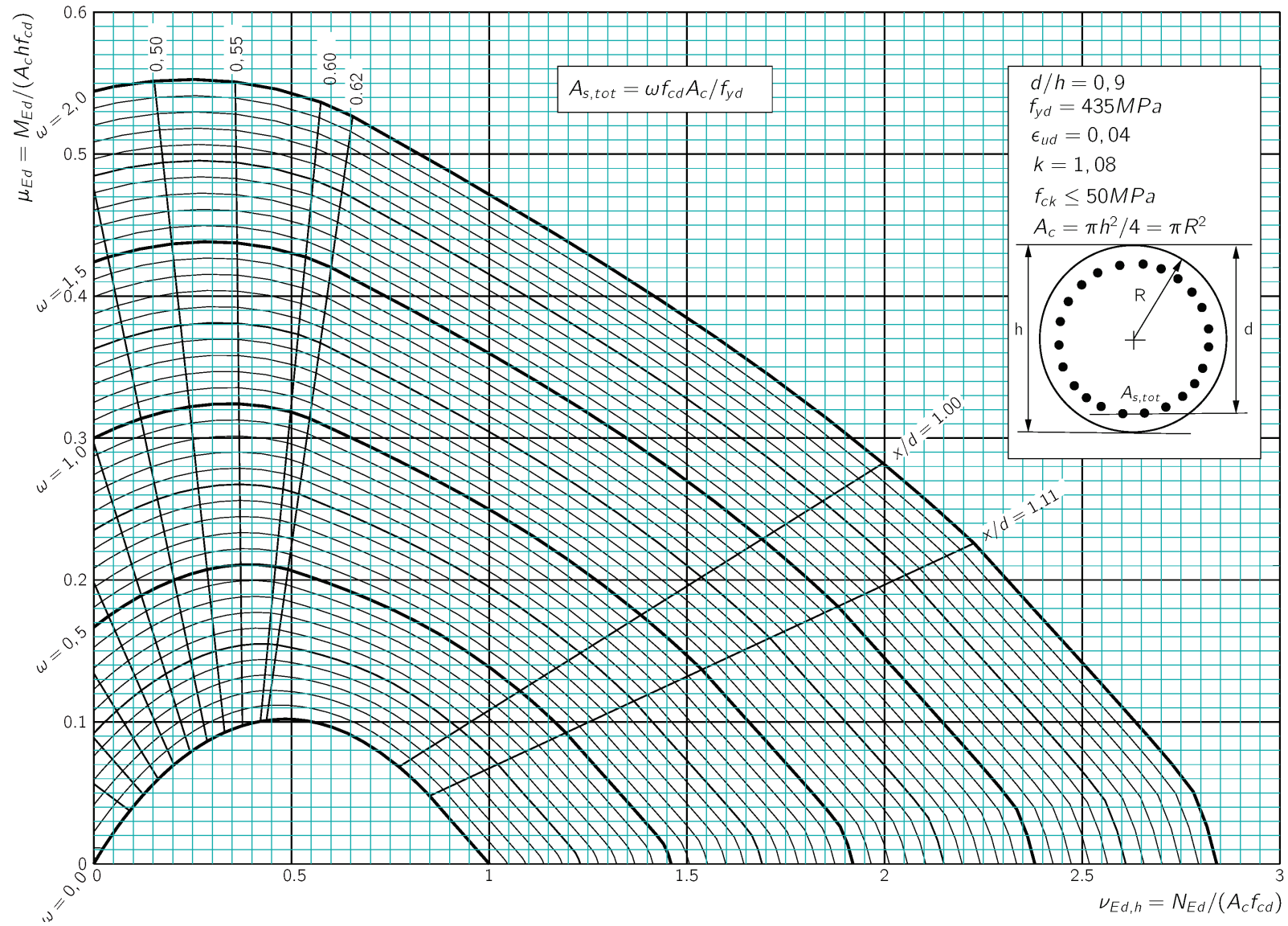
A_c de oppervlakte van de dwarsdoorsnede $A_c = \pi h^2/4$

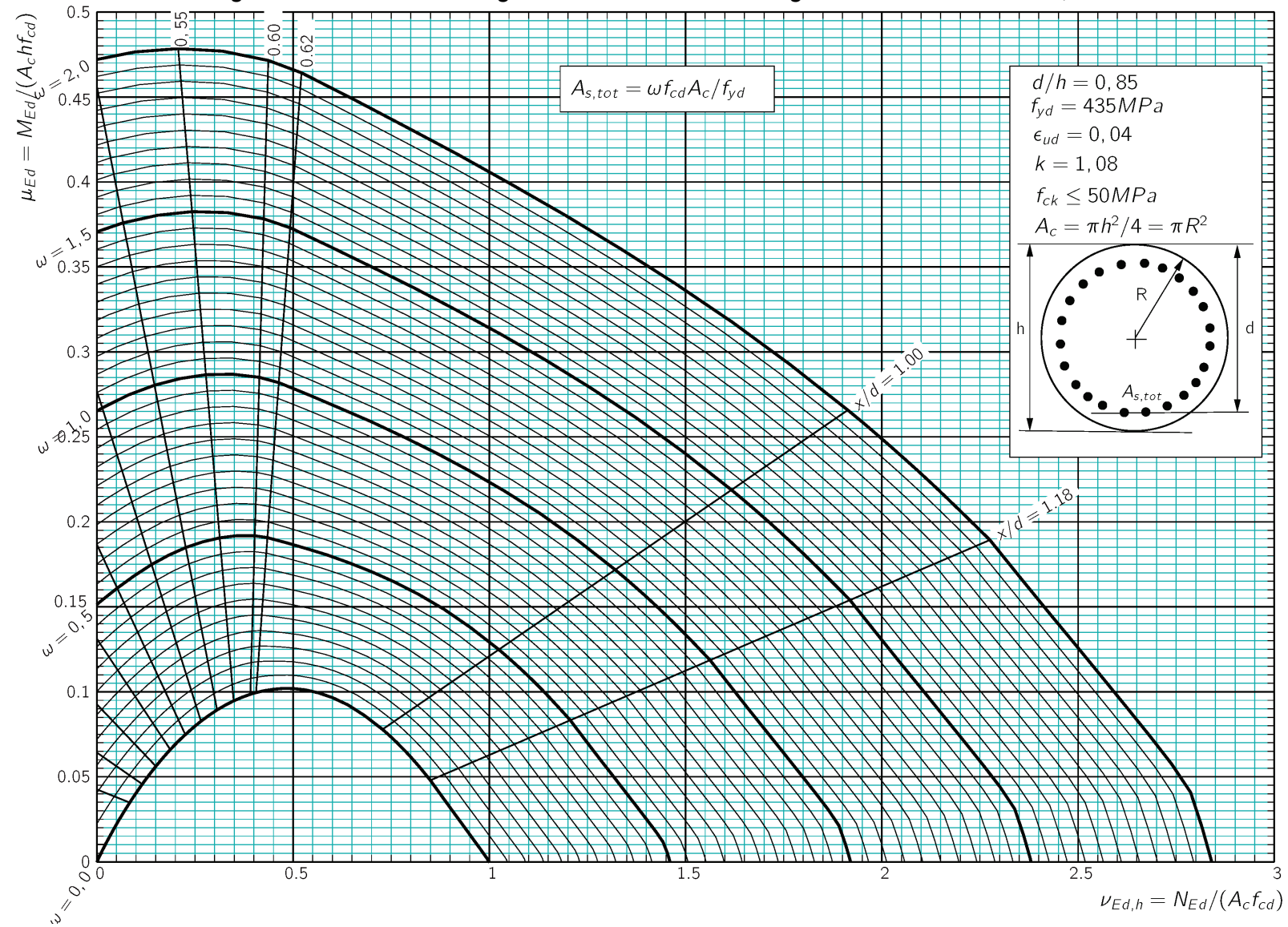
De wapeningsdoorsnede wordt bekomen op basis van de mechanische wapeningsverhouding ω

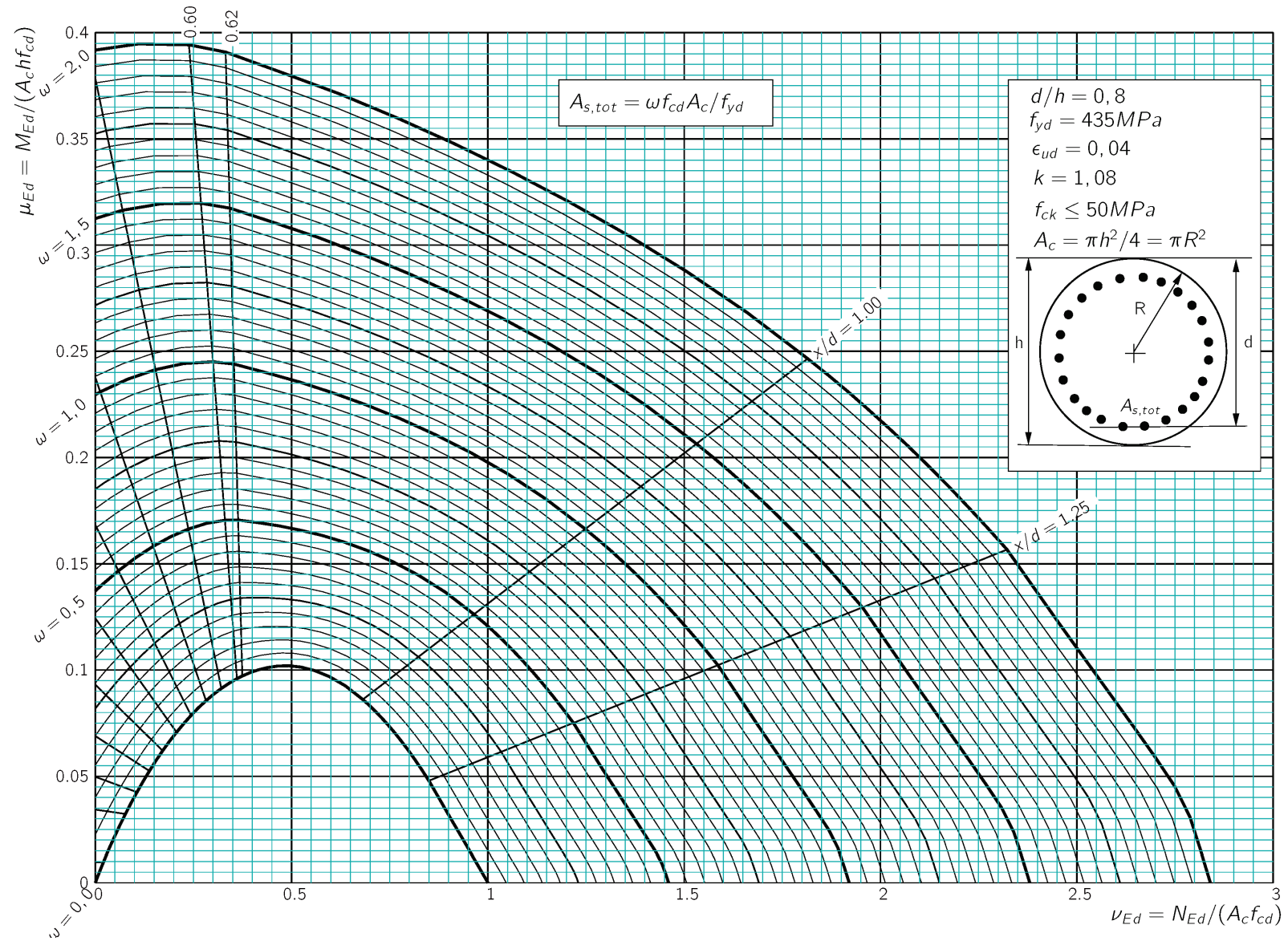
$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \quad \text{of} \quad A_s = \omega A_c \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

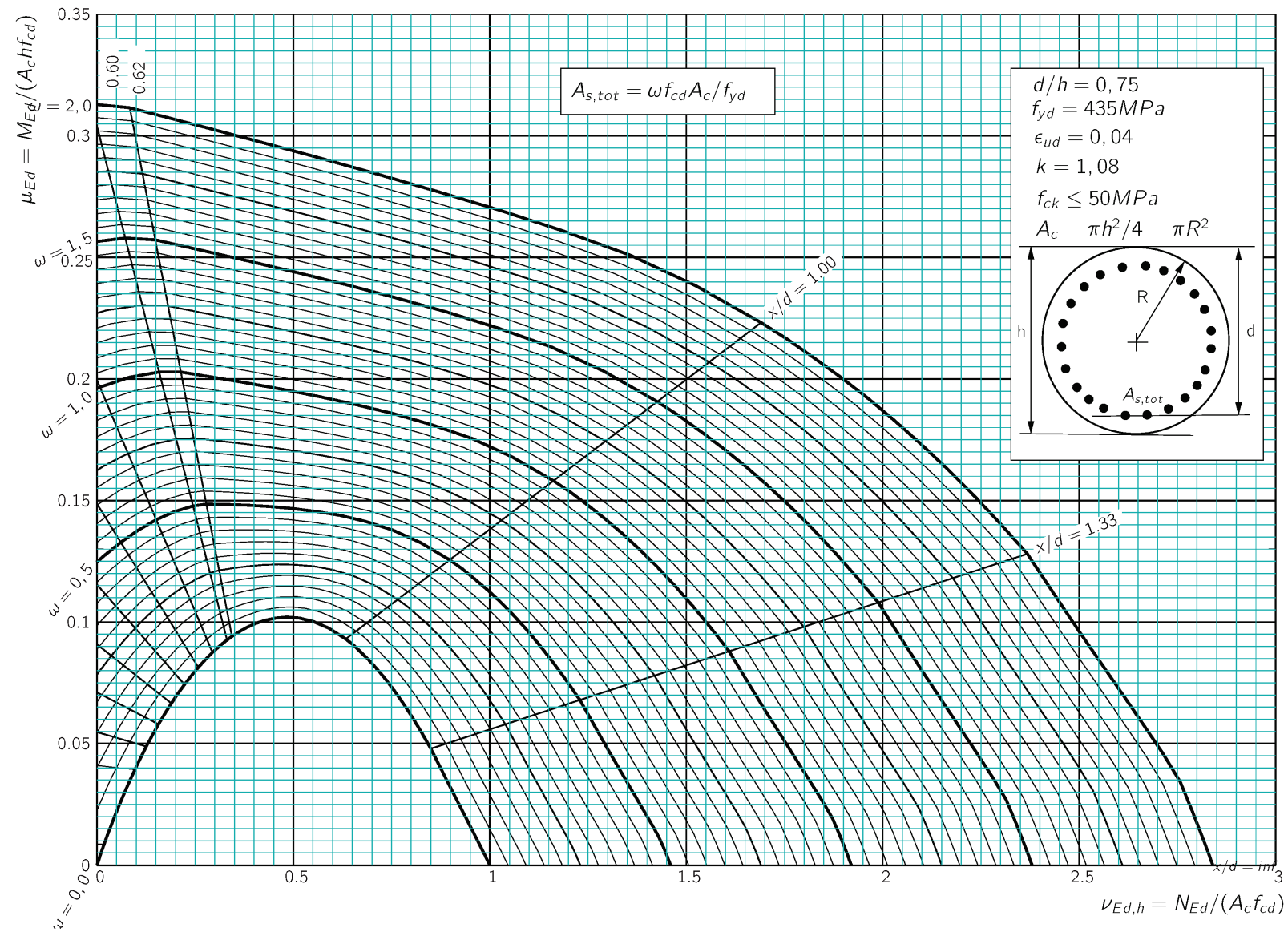
De diagrammen 15.9, 15.10, 15.11 en 15.12 zijn respectievelijk opgesteld voor de waarden $d/h = 0,90$, $d/h = 0,85$, $d/h = 0,80$ en $d/h = 0,75$

Figuur 15.9 Interactiediagram voor een cirkelvormige doorsnede – $d/h = 0,90$



Figuur 15.10 Interactiediagram voor een cirkelvormige doorsnede – $d/h = 0,85$ 

Figuur 15.11 Interactiediagram voor een cirkelvormige doorsnede – $d/h = 0,80$ 

Figuur 15.12 Interactiediagram voor een cirkelvormige doorsnede – $d/h = 0,75$ 

16. Referenties

- 1 NBN EN 1992-1-1:2005, Eurocode 2 – Deel 1-1: *Ontwerp en berekening van betonconstructies - Algemene regels en regels voor gebouwen.* + AC:2008 + AC:2010 (corrigenda)
1a Nationale Bijlage voor Eurocode 2 – Deel 1-1 ANB:2010, NBN
- 2 NBN EN 1992-1-2:2005, Eurocode 2 – Deel 1-2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-2. Ontwerp en berekening van constructies bij brand.* + AC:2008
2a Nationale Bijlage voor Eurocode 2 – Deel 1-2 ANB:2010, NBN
- 3 NBN EN 1992-2:2005, Eurocode 2 – Deel 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies - Bruggen.* + AC:2008
3a Nationale Bijlage voor Eurocode 2 – Deel 2 ANB: 2014, NBN
- 4 NBN EN 1992-3:2006, Eurocode 2 – Deel 3: *Ontwerp en berekening van betonconstructies – Constructies voor keren en opslaan van stoffen.*
4a Nationale Bijlage voor Eurocode 2 – Deel 3 ANB:2013, NBN
- 5 NBN EN 1990+A1:2002, Eurocode: *Grondslagen voor het constructief ontwerp.*
NBN EN 1990/A1:2006, NBN EN 1990/A1/AC: 2010,
5a Nationale Bijlage voor Eurocode ANB:2013, NBN
- 6 NBN EN 1991, Eurocode 1: *Belastingen op constructies* (10 delen).
6a Nationale Bijlagen voor Eurocode 1, NBN
- 7 DD NBN ENV 13670-1:2000: *Uitvoering van betonconstructies. Gemeenschappelijk deel.*
- 8 NBN EN 13670: 2010: *Uitvoering van betonconstructies*, NBN
8a Nationale Bijlage voor NBN EN 13670 = NBN B 15-400:2015 + AC:2016
- 9 NBN EN 1997-1:2005, Eurocode 7: *Geotechnisch ontwerp – Deel 1. Algemene Regels.* +A1:2014
9a Nationale Bijlage voor Eurocode 7 – Deel 1 ANB:2014, NBN
- 10 NBN EN 206-1:2001, *Beton – Deel 1: Beton - Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit.*
10a NBN B 15-001:2012 – Aanvulling bij NBN EN 206-1 - Beton - Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit, NBN
10b NBN EN 206: 2014 *Beton - Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit*
- 11 NBN EN 10080:2005 *Staal voor het wapenen van beton - Lasbaar betonstaal – Algemeen.*, NBN
- 12 *Hoe ontwerpen en berekenen met Eurocode 2 ?* FEBELCEM, 2017
- 13 DD NBN ENV 1992-1-1: *Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1 - Algemene regels en regels voor gebouwen*, met zijn Nationaal Toepassingsdocument, NBN
- 14 ISO/FDIS 17660-2: *Welding – Welding of reinforcing steel – Part 2: Non-load bearing welded joints.* ISO, 2005.
- 15 NBN EN 1536+A1:2015 *Uitvoering van bijzonder geotechnisch werk – Boorpalen*, NBN

Symbolen en afkortingen gebruikt in deze publicatie

17. Symbolen – Definities

$ x $	Absolute waarde van x
$1/r$	Kromming in een bepaalde doorsnede
A	Oppervlakte van de doorsnede; buitengewone belasting
A, B, C	Veranderlijken gebruikt bij het berekenen van $\lambda_{\min}$
A_c	Oppervlakte van de betondoorsnede
A_{ct}	Oppervlakte van het gedeelte van de betondoorsnede onder trek direct voor het ontstaan van de eerste scheur
A_d	Rekenwaarde van een buitengewone belasting
A_k	Oppervlakte van het gebied omsloten door de hartlijnen van verbindende wanden, inclusief het inwendige holle gebied (wringing)
A_p	Oppervlakte van de doorsnede van een voorspanelement of van voorspanelementen
A_s	Oppervlakte van de doorsnede van betonstaal
$A_{s,min}$	Minimum oppervlakte van de doorsnede van betonstaal
$A_{s,prov}$	Oppervlakte van de doorsnede van het aanwezige ('provided') betonstaal
$A_{s,req,d}$	Oppervlakte van de doorsnede van het vereiste ('required') betonstaal
A_{s1}	Oppervlakte van de doorsnede van betonstaal in laag 1 (trekzone)
A_{s2}	Oppervlakte van de doorsnede van betonstaal in laag 2 (drukzone)
A_{sl}	Oppervlakte van de doorsnede van betonstaal dat zich uitstrekt ten minste $l_{bd} + d$ voorbij de beschouwde doorsnede
$A_{sM}(A_{sN})$	Oppervlakte van de doorsnede van de totale hoeveelheid betonstaal in een symmetrische, rechthoekige kolom vereist om een moment (normaalkracht) op te nemen volgens een vereenvoudigde rekenmethode
A_{st}	Oppervlakte van de doorsnede van dwarswapening (bij overlappingsen)
A_{sw}	Oppervlakte van de doorsnede van dwarskrachtwapening
A_{sw}	Oppervlakte van de doorsnede van ponswapening in een controle-omtrek rond een kolom
$A_{sw,min}$	Oppervlakte van de minimum doorsnede van de dwarskrachtwapening
$A_{sw,min}$	Oppervlakte van de minimum doorsnede van de ponswapening in een controle-omtrek rond een kolom
a	Afstand; tolerantie bij een oplegging
a	Asafstand; afstand van het hart van de staaf tot het betonoppervlak (brand)
a	Een exponent (bij het beschouwen van twee-assige buiging in een kolom)
a	Lengte van het deel van een funderingsvoet uitstekend vanaf het zijvlak van een kolom of wand
a_b	Helte van de hart-op-hartafstand van staven (loodrecht ten opzichte van het vlak van de ombuiging)
a_l	Afstand waarover het punt waar een staaf niet langer vereist is vanwege het buigend moment, moet worden verschoven om de krachten uit het staafwerkmodel voor dwarskracht in rekening te brengen ('verschuivingsregel' voor schorsing van de wapening)
a_m	Gemiddelde asafstand (brand)
a_{sd}	Asafstand (bij brand) van het zijvlak van een element tot het hart van de hoofdwapeningsstaaf
a_v	Afstand van een oplegging of het dagvlak van de ondersteuning tot de eerste positie waar de belasting aangrijpt
BGT	Bruikbaarheidsgrenstoestand(en)
b	Totale breedte van een doorsnede of meewerkende flensbreedte van een T- of L-balk
b_e	Effectieve breedte van een vlakke plaatvloer (grenzend aan de controle-omtrek van een kolom)
b_{eff}	Meewerkende breedte van een flens
$b_{eq}(h_{eq})$	Equivalente breedte (hoogte) van een kolom = $b(h)$ bij een rechthoekige doorsnede
b_{min}	Minimum breedte van het lijf van een T, I of L-balk
b_t	Gemiddelde breedte van de trekzone. Voor een T-balk met de flens onder druk wordt alleen de breedte van het lijf in rekening gebracht

b_w	Breedte van het lijf van een T-, I- of L-vormige doorsnede. Minimum breedte van de zone tussen de getrokken en de gedrukte flens
b_w	Breedte van het lijf van een T-, I- of L-balk
b_w	Minimum afstand tussen trek- en drukstaven
b_y, b_z	Afmetingen van de controle-omtrek (pons)
c_{min}	Minimum betondekking (voor aanhechting: $c_{min,b}$; voor duurzaamheid: $c_{min,dur}$)
c_{nom}	Nominale betondekking; moet voldoen aan minimum eisen voor aanhechting, duurzaamheid en brandweerstand
c_d	Betondekking op de betreffende wapening
c_y, c_z	Kolomafmetingen in het horizontale vlak
c_1, c_2	Afmetingen van een rechthoekige kolom. Voor een randkolom wordt c_1 gemeten loodrecht op de vrije rand (pons)
D	Diameter van een cirkelvormige kolom; diameter
d	Nuttige hoogte ten opzichte van de trekwapening
d_2	Nuttige hoogte ten opzichte van de drukwapening
d_c	Nuttige hoogte van beton onder druk
d_{eff}	Nuttige hoogte van een plaat, gelijk aan de gemiddelde nuttige hoogte in twee orthogonale richtingen (pons)
dl	Elementaire lengte van de omtrek (pons)
E	Effect van een belasting; integriteit (bij brand); elasticiteitsmodulus
$E_c, E_c(28)$	Tangent-elasticiteitsmodulus van normaal beton bij een spanning $\sigma_c = 0$ en na 28 dagen
E_{eff}	Effectieve elasticiteitsmodulus van beton
E_{cd}	Rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus van beton
E_{cm}	Secans-elasticiteitsmodulus van beton
E_d	Rekenwaarde van de invloed van belastingen
E_I	Buigstijfheid
E_s	Rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus van betonstaal
EQU	Statisch evenwicht
e	Excentriciteit
e_2	Uitbuiging (gebruikt bij het berekenen van M_2 in slanke kolommen)
e_i	Excentriciteit ten gevolge van imperfecties
e_{par}	Excentriciteit evenwijdig aan de plaatrand ten gevolge van een buigend moment rond een as loodrecht op de plaatrand (pons)
e_y, e_z	Excentriciteit, M_{Ed}/V_{Ed} langs de assen y en z respectievelijk (pons)
F_1	Factor om doorsneden met flens in rekening te brengen (doorbuiging)
F_2	Factor om, bij grote overspanningen, rekening te houden met scheidingswanden gevoelig voor toename van de doorbuiging (doorbuiging)
F_3	Factor om de spanning in de trekwapening in het gebruiksstadium in rekening te brengen
F	Belasting
F_{bt}	Trekkracht in een staaf bij het begin van een ombuiging ten gevolge van belastingen in de uiterste grenstoestand
$F_c (F_s)$	Kracht in beton (staal)
F_{cd}	Rekenwaarde van de betondrukkracht in de richting van de langsas van een element
F_d	Rekenwaarde van een belasting
F_E	Trekkracht optredend in te verankeren betonstaal
F_{Ed}	Drukkracht; rekenwaarde van een oplegreactie
F_k	Karakteristieke waarde van een belasting
F_{rep}	Representatieve waarde van een belasting ($= \psi F_k$, met ψ een factor nodig om een karakteristieke belasting in een representatieve belasting om te zetten)
F_{Rs}	Trekweerstand van de wapening
F_s	Trekkracht in de wapening
F_{td}	Rekenwaarde van de trekkracht in de langswapening
$F_{tie,col}$	Horizontale trekbandkracht, kolom aan vloer of dak
$F_{tie,int}$	Kracht in inwendige trekband
$F_{tie,per}$	Kracht in trekband langs de omtrek
F_{wd}	Rekenwaarde van de afschuifsterkte van een las; rekenwaarde van de kracht in beugels in consoles

f_{bd}	Uiterste hechtspanning
f_c	Druksterkte van beton
f_{cd}	Rekenwaarde van de druksterkte van beton
$f_{cd,pl}$	Rekenwaarde van de druksterkte van ongewapend beton
f_{ck}	Karakteristieke cilinderdruksterkte van beton op 28 dagen
$f_{ck,cube}$	Karakteristieke kubusdruksterkte van beton op 28 dagen
f_{cm}	Gemiddelde cilinderdruksterkte van beton
$f_{ct,d}$	Rekenwaarde van de treksterkte van beton ($\alpha_{ct} f_{ct,k} / \gamma_c$)
$f_{ct,eff}$	Gemiddelde treksterkte van beton op de ouderdom dat de eerste scheurvorming wordt verondersteld; $f_{ct,eff} = f_{ctm}$
$f_{ct,k}$	Karakteristieke axiale treksterkte van beton
f_{ctm}	Gemiddelde axiale treksterkte van beton
$f_{ct,0,05}$	5 %-fractiel van de axiale treksterkte van beton
$f_{ct,0,95}$	95 %-fractiel van de axiale treksterkte van beton
f_{cvd}	Rekenwaarde van de sterkte van beton bij afschuiving en druk (ongewapend beton)
f_{sc}	Druksterkte van betonstaal
f_t	Treksterkte van betonstaal
$f_{tie,fac}$	Horizontale trekbandkracht per m', wand aan vloer of dak (kN/m)
$f_{t,k}$	Karakteristieke treksterkte van betonstaal
f_{yd}	Rekenwaarde van de treksterkte van betonstaal
f_{yk}	Karakteristieke waarde van de elasticiteitsgrens van betonstaal
f_{ywd}	Rekenwaarde van de elasticiteitsgrens van dwarskrachtwapening
$f_{ywd,ef}$	Effectieve rekenwaarde van de elasticiteitsgrens van dwarskrachtwapening
f_{ywk}	Karakteristieke elasticiteitsgrens van dwarskrachtwapening
G_k	Karakteristieke waarde van een blijvende belasting
g_k	Karakteristieke waarde van een blijvende belasting per lengte- of oppervlakte-eenheid
H_i	Horizontale kracht werkzaam op een bepaald niveau
h	Totale hoogte van een dwarsdoorsnede; hoogte
h_f	Hoogte van een funderingszool; flensdikte
h_H	Verticale hoogte van een kolomkop onder de onderkant van een vloer (pons)
h_0	Fictieve dikte van een doorsnede = $2A_c/u$
h_s	Hoogte (dikte) van een plaat
I	Traagheidsmoment
I	Isolerend vermogen (bij brand)
i	Traagheidsstraal
K	$M_{Ed} / (bd^2 f_{ck})$; een maat voor de relatieve drukspanning in een op buiging belast element
K	Factor om verschillende constructieve systemen in rekening te brengen (doorbuiging)
K'	Waarde van K waarboven drukwapening is vereist
K_r	Correctiefactor voor de kromming, afhankelijk van de axiale belasting
K_j	Factor voor het in rekening brengen van kruip
k	Coëfficiënt of factor
k_c	Coëfficiënt voor het in rekening brengen van de spanningsverdeling in een doorsnede juist voor het optreden van scheurvorming en van de verandering van de hefboomsarmten gevolge van scheurvorming (minimum wapening)
l	Vrije lengte van een kolom tussen de eindaansluitingen
l (of L)	Lengte; overspanning
l_0	Effectieve lengte (van kolom)
l_0	Afstand tussen twee momentennulpunten
l_0	Rekenwaarde van de overlappingslengte
$l_{0,fi}$	Effectieve lengte onder brandcondities
l_b	Basisverankeringslengte
l_{bd}	Rekenwaarde van de verankeringslengte
$l_{b,eq}$	Gelijkwaardige verankeringslengte
$l_{b,min}$	Minimum verankeringslengte
$l_{b,rqd}$	Vereiste basisverankeringslengte
l_{eff}	Effectieve overspanning
l_H	Horizontale afstand vanaf het dagvlak van een kolom tot de rand van de kolomkop (pons)

l_n	Vrije afstand tussen oplegvlakken
l_s	Afstand tussen bovenkant vloer en onderkant bovengelegen vloer
$l_x ; l_y$	Overspanningen in x- en y-richting van een in twee richtingen dragende plaat
M	Buigend moment; moment uit een eerste-orde berekening
M'	Weerstandbiedend buigend moment van een doorsnede voorzien van alleen trekwapening (waarde waarboven drukwapening is vereist)
$M_{0,Eqp}$	Eerste-orde buigend moment ten gevolge van de quasi-blijvende belastingscombinatie (BGT)
$M_{01} ; M_{02}$	Eerste-orde kopmomenten in UGT inclusief toeslag vanwege imperfecties
M_{0Ed}	Equivalent eerste-orde buigend moment inclusief de invloed van imperfecties ongeveer op halve hoogte van de kolom
$M_{0Ed,fi}$	Eerste-orde buigend moment optredend onder brandcondities
M_2	Nominaal tweede-orde buigend moment in slanke kolommen
M_{Ed}	Rekenwaarde van een aangrijpend buigend moment
$M_{Edy} ; M_{Edz}$	Rekenwaarden van de aangrijpende momenten in de respectievelijke richtingen
$M_{Rdy} ; M_{Rdz}$	Weerstandbiedende buigende momenten in de respectievelijke richtingen
m	Het aantal verticale constructie-elementen dat bijdraagt aan een effect
m	Massa
N	Normaalkracht
$N_{0Ed,fi}$	Normaalkracht optredend onder brandcondities
$N_a ; N_b$	Kracht in langsrichting bijdragend aan H_i
ANB	Nationale Bijlage
NBP	Nationaal Bepaalde Parameter
N_{Ed}	Rekenwaarde van de aangrijpende normaalkracht (trek of druk) in de UGT
n	Belastingsniveau bij normale temperaturen; conservatief is $n = 0,7$ (brand)
n	Axiale spanning in UGT
n	Grootste belasting per lengte- of oppervlakte-eenheid
n_0	Aantal bouwlagen
n_b	Aantal staven in een stavenbundel
Q_k	Karakteristieke waarde van een veranderlijke belasting
$Q_{kl} (Q_{ki})$	Karakteristieke waarde van de overheersende veranderlijke belasting (karakteristieke waarde van een gelijktijdig optredende veranderlijke belasting)
q_k	Karakteristieke waarde van een veranderlijke belasting per lengte- of oppervlakte-eenheid
R	Weerstand; mechanische weerstand (bij brand)
R_d	Rekenwaarde van de weerstand tegen een belasting
RV	Relatieve vochtigheid
r	Straal
r_{cont}	Afstand van het centrum van een kolom tot de controle-omtrek
r_m	Verhouding tussen de eerste-orde kopmomenten in een kolom in UGT
S, N, R	Cementtypen
s	Tussenaf
stand	
s_r	Radiale afstand tussen perimeters van dwarskrachtwapening
s_t	Tangentiële afstand tussen dwarskrachtwapening in een perimeter van dwarskrachtwapening
T	Wringend moment
T_{Ed}	Rekenwaarde van een aangrijpend wringend moment
T_{Rd}	Rekenwaarde van een weerstandbiedend wringend moment
$T_{Rd,max}$	Grootste rekenwaarde van een weerstandbiedend wringend moment
t	Dikte; beschouwde tijd; breedte van een ondersteuning
t_0	Ouderdom van het beton op het moment van belastingen
$t_{ef,i}$	Effectieve wanddikte (wringing)
UGT	Uiterste grenstoestand(en) (UGT)
u	Omtrek van een betondoorsnede met een oppervlakte A_c
u	Omtrek van het gedeelte dat is blootgesteld aan uitdroging
u	Omtrek van de buitenrand van de effectieve betondoorsnede (wringing)
u_0	Controle-omtrek direct naast een kolom (pons)
u_l	Eerste controle-omtrek (gelegen op een afstand $2d$ van het belaste gebied) (pons)
u_{l*}	Verkleinde eerste controle-omtrek van een kolom (gelegen op een afstand $2d$ van het belaste gebied) (pons)

u_i	Lengte van de beschouwde controle-omtrek
u_k	Omtrek van het gebied A_k (wringing)
u_{out}	Controle-omtrek waarvoor geen ponswapening meer is vereist
V	Dwarskracht
V_{Ed}	Rekenwaarde van de aangrijpende dwarskracht
$V_{Ed,red}$	Aangrijpende dwarskracht gereduceerd met de opwaartse kracht door gronddruk minus het eigengewicht van de kolomvoet (pons, funderingen)
$V_{Rd,c}$	Dwarskrachtweerstand van een element zonder dwarskrachtwapening
$V_{Rd,max}$	Maximum dwarskrachtweerstand corresponderend met verbrijzeling van de betondrukschoren
$V_{Rd,s}$	Dwarskrachtweerstand van een element bepaald door het vloeien van de dwarskrachtwapening
v_{Ed}	Ponsschuifspanning
v_{Ed}	Schuifspanning in een doorsnede zonder dwarskrachtwapening ($= V_{Ed} / b_w d$)
$v_{Ed,z}$	Schuifspanning in een doorsnede met dwarskrachtwapening $= V_{Ed} / (b_w z) = V_{Ed} / (b_w 0,9 d)$
$v_{Rd,c}$	Rekenwaarde van de afschuifweerstand van beton zonder dwarskrachtwapening uitgedrukt als een spanning
$v_{Rd,cs}$	Rekenwaarde van de ponsweerstand van beton zonder ponswapening uitgedrukt als een spanning (pons)
$v_{Rd,max}$	Weerstand van betondrukdiagonalen uitgedrukt in een spanning
W_l	Factor corresponderend met een schuifspanningsverdeling (pons)
w_k	Scheurwijdte
w_{max}	Grenswaarde voor de berekende scheurwijdte
$X0, XA, XC, XD, XF, XS$	Milieuklassen voor beton
x	Afstand van de beschouwde doorsnede tot de as van de oplegging
x_u	Hoogte van de drukzone in de UGT na herverdeling
x_u	Hoogte van de betondrukzone in de UGT
x, y, z	Coördinaten; beschouwde vlakken
z	Inwendige hefboomsarm
α	Hoek; hoek tussen beugels en lengteas; verhouding
$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$	Coëfficiënten betreffende verankeringen en overlappingsen
$\alpha_{cc} (\alpha_{cl})$	Coëfficiënt voor het in rekening brengen van lange termijn invloeden op de druksterkte (treksterkte) en van ongunstige effecten veroorzaakt door de manier waarop de belasting is aangebracht
β	Hoek; verhouding; coëfficiënt
β	Factor waarmee de excentriciteit in rekening wordt gebracht (pons)
γ	Partiële factor
γ_A	Partiële factor voor buitengewone belastingen, A
γ_c	Partiële factor voor beton
γ_F	Partiële factor voor belastingen, F
γ_f	Partiële factor voor belastingen zonder modelonzekerheden in rekening te brengen
γ_g	Partiële factor voor blijvende belastingen zonder modelonzekerheden in rekening te brengen
γ_G	Partiële factor voor blijvende belastingen, G
γ_M	Partiële factor voor een materiaaleigenschap, in rekening houdend met de onzekerheid in de materiaaleigenschap zelf, in geometrische afwijkingen en in het gebruikte rekenmodel
γ_Q	Partiële factor voor veranderlijke belastingen, Q
γ_s	Partiële factor voor betonstaal
δ	Verhouding tussen het buigend moment na herverdeling en het buigend moment uit een elastische berekening. De herverdelingsverhouding $= (1 - \delta)$
Δ_c	In het ontwerp meegenomen toeslag wegens een tolerantie, bv. voor een uitvoeringsafwijking (EN 13670 ^[8])
Δ_{cdev}	Toeslag voor een uitvoeringstolerantie
$\Delta \epsilon_p$	Verandering van de rek in het voorspanstaal
ΔF_{td}	Toename van de trekkracht in de langswapening ten gevolge van het staafwerkmodel voor de opname van dwarskracht

ε_c	Betonstuik
ε_{c2}	Grenswaarde van de betonstuik bij centrisch belast beton of de betonstuik bij het bereiken van de piekspanning bij gebruik van het parabool-rechthoekig spanningsrekdiagram
ε_{c3}	Grenswaarde van de betonstuik bij centrisch belast beton of de betonstuik bij het bereiken van de piekspanning bij gebruik van het bilineair spanningsrekdiagram
ε_{cu}	Grenswaarde van de betonstuik
ε_{cu2}	Grenswaarde van de betonstuik bij niet geheel centrisch belast beton bij gebruik van het parabool-rechthoekig spanningsrekdiagram
ε_{cu3}	Grenswaarde van de betonstuik bij niet geheel centrisch belast beton bij gebruik van het bilineair spanningsrekdiagram
$\varepsilon_{p(0)}$	Initiële rek van voorspanstaal
ε_s	Rek van betonstaal
ε_u	Rek van betonstaal of voorspanstaal bij maximale belasting
ε_{ud}	Rekenwaarde van de rek van beton- of voorspanstaal bij maximale belasting = $0,8 \varepsilon_{uk}$
ε_{uk}	Karakteristieke rek van beton- of voorspanstaal bij maximale belasting
ε_y	Rek in betonstaal bij bereiken vloeigrens
η	Coëfficiënt voor bepaling van de effectieve sterkte (= 1 voor $\leq C50/60$)
η_1	Coëfficiënt voor de hechtingsvoorwaarden
η_2	Hoek; hellingshoek van drukdiagonalen (dwarskracht)
θ_i	Hellingshoek gebruikt voor het weergeven van imperfecties
λ	Slankheid of de factor die de nuttige hoogte van de drukzone definieert
λ_{fi}	Slankheid onder brandcondities
λ_{lim}	Grenswaarde van de slankheid
μ_{fi}	Verhouding tussen de rekenwaarde van de axiale belasting onder brandcondities en de weerstand bij normale temperaturen, maar bij een excentriciteit zoals van toepassing bij brandcondities
ν	Sterktereductiefactor voor beton gescheurd door dwarskracht
ρ	Vereiste wapeningsverhouding
ρ	Wapeningsverhouding van de vereiste drukwapening, $A_{s2} / (bd)$
ρ_l	Wapeningsverhouding overlappend binnen $0,65 l_0$ vanaf het midden van de beschouwde overlapping
ρ_l	Wapeningsverhouding van de langwapening
ρ_0	Referentiewapeningsverhouding = $0,001 \sqrt{f_{ck}}$
σ_{gd}	Rekenwaarde van de gronddruk
σ_s	Spanning in het betonstaal in UGT
σ_s	Absolute waarde van de toelaatbare maximum spanning in het betonstaal direct na het ontstaan van een scheur
$\sigma_{sc} (\sigma_{st})$	Spanning in druk- (en trek-)wapening
σ_{sd}	Rekenwaarde van de spanning in de wapening in de UGT
σ_{su}	Geschatte spanning in betonstaal in de BGT (doorbuiging)
τ	Schuiфspanning door wringing
$\varphi (\infty, t_0)$	Eindwaarde van de kruipcoëfficiënt
ϕ_{ef}	Effectieve kruipcoëfficiënt
$\varphi (t, t_0)$	Kruipcoëfficiënt, voor de kruip tussen twee tijdstippen t en t_0 , gerelateerd aan de elastische vervorming op 28 dagen
ϕ	Staafdiameter
ϕ_n	Gelijkwaardige diameter van een stavenbundel
ϕ_m	Doordiameter
ψ	Factor die de representatieve waarde van een veranderlijke belasting vastlegt
ψ_0	Combinatiewaarde van een veranderlijke belasting (bv. gebruikt bij het beschouwen van de BGT)
ψ_1	Frequente waarde van een veranderlijke belasting (bv. gebruikt bij het beoordelen of een doorsnede al dan niet is gescheurd)
ψ_2	Quasi-blijvende waarde van een veranderlijke belasting (bv. gebruikt bij het berekenen van de doorbuiging)
ω	Mechanische wapeningsverhouding = $\frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \leq 1$



Een publicatie van

FEBELCEM

Federatie van de Belgische Cementnijverheid

Vorstlaan 68 bus 11 – 1170 Brussel

tél. 02 645 52 11 - fax 02 640 06 70

www.febelcem.be - info@febelcem.be

Auteurs :

Jean-François Cap (UCL)

Jean-François Denoël (FEBELCEM)

Luc Taerwe (UGENT)

Wettelijk depot

D/2017/0280/07

Verantw. uitgever : A. Jasienski

Infobeton.be

