

# HOE ONTWERPEN EN BEREKENEN MET EUROCODE 2?

## Ontwerp en berekening van betonconstructies

- ONTWERPEN EN BEREKENEN IN OVEREENSTEMMING MET DE BELGISCHE NATIONALE BIJLAGEN (ANB)
- ONTWERP- EN REKENPROCEDURE
- PLATEN, LIGGERS, KOLOMMEN, FUNDERING, VLAKKE PLAATVLOEREN, DOORBUIGINGSBEREKENINGEN





# **HOE ONTWERPEN EN BEREKENEN MET EUROCODE 2?**



Auteursrechten: FEBELCEM.

Met dank aan

- de European Concrete Platform vzw die de originele publicatie ter beschikking gesteld heeft aan haar leden
- de BCA en The Concrete Centre (Verenigd Koninkrijk) die voor het eerst deze achtjarige reeks richtlijnen gepubliceerd hebben (Ref.CCIP-006). De auteurs van de originele publicatie zijn O Brooker Beng, CEng, MICE, MStructE, R M Moss BSc, PhD, Ceng, MICE, MStructE, R S Narayanan FEng en R Webster CEng, FStructE
- Prof. Jean-François Cap (UCL) die het Europees document omgezet heeft naar de Belgische context
- Prof. Luc Taerwe (UGent) voor zijn medewerking aan de vertaling van deze publicatie 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 in geen enkel geval 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 betrachtting 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; Jozef II-straat 40, bus 6, 1000 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 978-2-9600430-8-2  
EAN 9782960043082  
D/2017/0280/08



## 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 ».

Nu, bijna veertig jaar later, is die Eurocode 2 bijzonder tastbaar. 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), 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 opgesteld:

1. In de ‘*Concise Eurocode 2*’ wordt Eurocode 2 en de context ervan, op een praktische manier uitgelegd in 130 bladzijden. 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. Het *Compendium Eurocode 2* en *Hoe ontwerpen en berekenen met Eurocode 2* kunnen gedownload worden van de website FEBELCEM <http://www.febelcem.be> via de link Publicatie Download / Andere publicaties.

De laatste twee door FEBELCEM herziene documenten, « Worked examples » en « Eurocode 2 – Commentary », kunnen ook gedownload worden via de website van FEBELCEM.

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

Het *Compendium Eurocode 2* werd opgesteld op basis van de originele publicatie van de BCA (British Cement Association) en The Concrete Center<sup>1</sup>. 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

---

<sup>1</sup> R S Narayanan FREng and C H Goodchild BSc CEng MCIQB 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







## Inhoud

<b>Navigatierichtlijnen</b> .....	<b>7</b>
<b>Woord vooraf</b> .....	<b>7</b>
<b>Inhoud</b> .....	<b>11</b>
<b>1. Inleiding tot de Eurocodes</b> .....	<b>15</b>
1.1 Inleiding .....	15
1.2 De Eurocodes .....	15
1.3 Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp.....	16
1.4 Eurocode 1 .....	21
1.5 Eurocode 2 .....	21
1.6 Eurocode 7 .....	23
1.7 Eurocode 8 .....	24
1.8 Gerelateerde normen .....	24
1.9 Overzicht van de Eurocode terminologie .....	25
1.10 Referenties.....	26
<b>2. Het begin</b> .....	<b>29</b>
2.1 Inleiding .....	29
2.2 Het ontwerpproces.....	29
2.3 Ontwerplevensduur .....	29
2.4 Belastingen op constructies .....	29
2.5 Belastingsschikkingen .....	30
2.6 Belastingcombinaties .....	31
2.7 Materiaaleigenschappen .....	31
2.8 Constructief ontwerp .....	33
2.9 Nominale betondekking .....	33
2.10 Ontwerpen op brandweerstand .....	34
2.11 Stabiliteit en imperfecties .....	36
2.12 Scheurwijdtebeheersing .....	37
2.13 Referenties.....	38
<b>3. Platen</b> .....	<b>39</b>
3.1 Inleiding.....	39
3.2 Ontwerpen en berekenen met Eurocode 2.....	39
3.3 Het ontwerp- en rekenproces.....	39
3.4 Brandweerstand.....	40
3.5 Buiging.....	41
3.6 Doorbuiging .....	43
3.7 Ontwerpen op dwarskracht.....	46
3.8 In twee richtingen dragende platen.....	48
3.9 Regels voor staafafstanden en voor de vereiste hoeveelheid betonstaal.....	50
3.10 Selectie van symbolen.....	51
3.11 Referenties.....	52

<b>4. Liggers</b>	<b>53</b>
4.1 Ontwerp en de berekening volgens Eurocode 2	53
4.2 Ontwerp- en rekenprocedure	53
4.3 Brandweerstand	53
4.4 Buiging	55
4.5 Dwarskracht	57
4.6 Doorbuiging	60
4.7 T-liggers	63
4.8 Regels voor staafafstanden en voor de vereiste hoeveelheid betonstaal	68
4.9 Selectie van symbolen	70
4.10 Referenties	71
<b>5. Kolommen</b>	<b>73</b>
5.1 Inleiding	73
5.2 Ontwerp en berekening volgens Eurocode 2	73
5.3 Rekenprocedure	73
5.4 Draagvermogen bij brand	73
5.5 Kolomontwerp	75
5.6 Constructieve berekening	76
5.7 Rekenwaarden van de momenten	76
5.8 Effectieve lengte	78
5.9 Slankheid	80
5.10 Sterkte van kolommen	81
5.11 Kruip	92
5.12 Dubbele buiging	92
5.13 Ongeschoorde kolommen	92
5.14 Wanden	92
5.15 Regels voor staafafstanden en voor de vereiste hoeveelheid betonstaal	93
5.16 Selectie van symbolen	94
5.17 Referenties	95
<b>6. Funderingen</b>	<b>97</b>
6.1 Inleiding	97
6.2 Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp	97
6.3 Toepassingsgebied	97
6.4 Grenstoestanden	97
6.5 Geotechnische categorieën	97
6.6 Ontwerpmethoden en combinaties	98
6.7 Geotechnisch ontwerprapport	99
6.8 Funderingen op staal	99
6.9 Plaatfunderingen	106
6.10 Paalfunderingen	106
6.11 Ongewapende funderingen	107
6.12 Regels voor staafafstand en -diameter	107
6.13 Selectie van symbolen	108
6.14 Referenties	109
<b>7. Vlakke plaatvloeren</b>	<b>111</b>
7.1 Inleiding	111

7.2	Ontwerp- en rekenprocedure .....	111
7.3	Brandweerstand .....	111
7.4	Buiging .....	112
7.5	Doorbuiging .....	115
7.6	Pons .....	117
7.7	Regels voor staafafstanden en voor de vereiste hoeveelheid betonstaal .....	121
7.8	Selectie van symbolen .....	124
7.9	Referenties .....	125
<b>8.</b>	<b>Doorbuigingsberekeningen .....</b>	<b>127</b>
8.1	Méthode de contrôle des flèches .....	127
8.2	Factoren van invloed op de doorbuiging .....	127
8.3	Betontreksterkte .....	128
8.4	Kruip .....	128
8.5	Elasticiteitsmodulus .....	129
8.6	Belastingsvolgorde .....	132
8.7	Scheurvorming .....	132
8.8	Methodes voor de doorbuigingsberekening .....	134
8.9	Vlakke plaatvloeren .....	139
8.10	Nauwkeurigheid .....	139
8.11	Toleranties voor gevelbekleding .....	139
8.12	Referenties .....	140



## 1. Inleiding tot de Eurocodes

### 1.1 Inleiding

Het doel van deze publicatie is de overgang naar *Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies* zo gemakkelijk mogelijk te laten verlopen. Hiertoe worden de belangrijkste informatie en de noodzakelijke toelichtingen, vereist om standaardbetonelementen te ontwerpen en te berekenen, op één plaats samengevoegd.

Wanneer in deze publicatie «Eurocode 2» wordt vermeld, worden hoofdzakelijk NBN EN 1992-1-1 en NBN EN 1992-1-2 bedoeld met hun nationale bijlage.

### 1.2 De Eurocodes

In dit hoofdstuk wordt uitgelegd hoe Eurocode 2<sup>1</sup> in combinatie met de andere Eurocodes moet worden gebruikt. Met name de Eurocode: *Grondslagen van het constructief ontwerp*<sup>2</sup> en Eurocode 1: *Belastingen op constructies*<sup>3</sup> worden toegelicht. Tevens wordt de ontwerper door het proces voor het bepalen van de rekenwaarden van belastingen op een constructie geleid. Tenslotte vindt men in dit hoofdstuk een [overzicht](#) van de Eurocode-terminologie.

Het opstellen van de Eurocodes startte in 1975. Sindsdien zijn ze aanzienlijk geëvolueerd en worden ze thans beschouwd als de technisch meest vooraanstaande ontwerp- en rekenvoorschriften ter wereld. De vele voordelen van het werken met Eurocode 2 worden hierna samengevat. In totaal tien Eurocodes behandelen de belangrijkste bouwmaterialen (zie [Figuur 1.1 De Eurocodes](#)). Ze zijn opgesteld door de Europese Commissie voor Normalisatie (CEN) en hebben in 33 landen de vroegere nationale voorschriften vervangen.

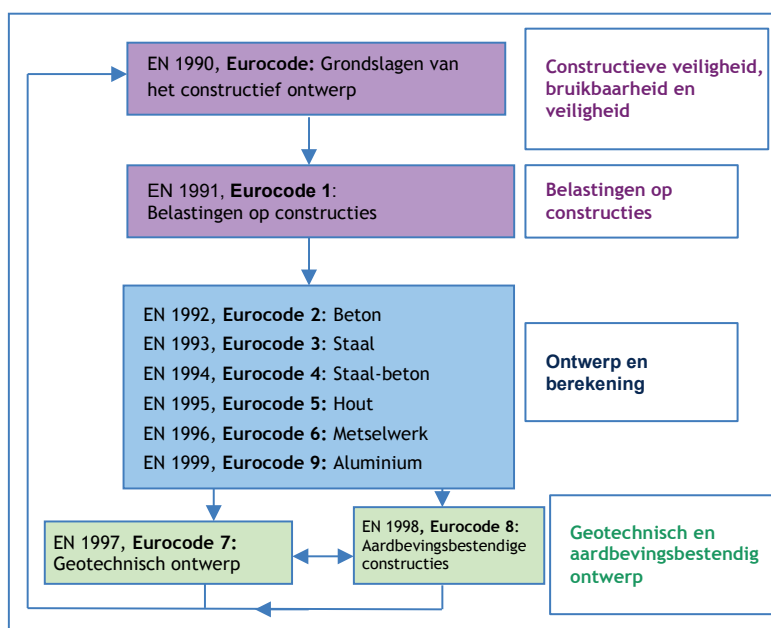
Ieder land moet de Eurocodes publiceren met een nationale titelpagina, een nationaal voorwoord en de tekst van de ANB (Annexe Nationale / Nationale Bijlage). *Daar waar NBP's voorkomen in de tekst van deze publicatie, zijn de Belgische waarden, zoals opgenomen in de ANB's, vermeld.*

#### De voordelen van het werken met Eurocode 2

Het leren werken met de Eurocodes vraagt tijd en inspanningen van de ontwerper. Maar, welke voordelen zijn er?

1. De Eurocodes worden beschouwd als de technisch meest geavanceerde voorschriften in de wereld.
2. De Eurocodes zijn logisch opgesteld en zodanig ingedeeld dat herhaling wordt voorkomen.
3. Eurocode 2 is minder restrictief dan de vroegere voorschriften.
4. Het toepassingsgebied van Eurocode 2 is ruimer dan dat van de vroegere voorschriften.
5. Het gebruik van de Eurocodes biedt aan ontwerpers de gelegenheid om in geheel Europa werkzaam te zijn.
6. In Europa moeten alle openbare overheden toestaan dat de Eurocodes worden gebruikt.

Figuur 1.1 De Eurocodes



Tabel 1.1 Eurocode, 7 en 8 en hun ANB

Referentie	Titel	Publicatiedatum	
		Eurocode	Nationale Bijlage
NBN EN 1990	Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp	2002 + A1 (2006)	2013
NBN EN 1997-1	Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp - Deel 1: Algemene regels	2005 + A1 (2014)	2014
NBN EN 1997-2	Eurocode 7 - Geotechnisch ontwerp - Deel 2: Grondonderzoek en beproeving	2007	2013
NBN EN 1998-1	Eurocode 8: Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 1: Algemene regels, seismische belastingen en regels voor gebouwen	2005 + A1 (2013)	2011
NBN EN 1998-2	Eurocode 8 - Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 2: Bruggen	2006 + A1 (2009) + A2 (2011)	2013
NBN EN 1998-3	Eurocode 8: Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 3: Beoordeling en hernieuwing van gebouwen	2005	2011
NBN EN 1998-4	Eurocode 8 - Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 4: Silo's, opslagtanks en buisleidingen	2006	2011
NBN EN 1998-5	Eurocode 8: Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 5: Funderingen, grondkerende constructies en geotechnische aspecten	2005	2011
NBN EN 1998-6	Eurocode 8: Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies - Deel 6: Torens, masten en schoorstenen	2005	2011

### 1.3 Eurocode: Grondslagen van het constructief ontwerp

Deze Eurocode legt de basis voor alle constructieve ontwerpen, ongeacht de aard van het bouw materiaal. De principes en vereisten met betrekking tot veiligheid, bruikbaarheid en duurzaamheid van constructies worden gegeven. (Let op: de correcte titel is Eurocode, niet



Eurocode 0.) De Eurocode hanteert een probabilistische benadering voor het vaststellen van realistische waarden voor belastingen die in combinatie met elkaar kunnen optreden.

Deze Eurocode introduceert ook nieuwe definities (zie: [Overzicht](#)) en symbolen (zie [Tabel 1.2a](#) en [Tabel 1.2b](#)), die overal in deze publicatie worden gebruikt. Ze zijn opgenomen in dit hoofdstuk om de gebruikers toe te laten er gemakkelijk mee vertrouwd te geraken. Partiële factoren voor belastingen worden in deze Eurocode gegeven, terwijl partiële factoren voor materialen opgenomen zijn in de betreffende relevante Eurocode.

Tabel 1.2a In Eurocode gehanteerde symbolen

Symbol	Definitie
$\bar{G}_k$	Karakteristieke waarde van een blijvende belasting
$Q_k$	Karakteristieke waarde van een veranderlijke belasting
$\gamma_G$	Partiële factor voor een blijvende belasting
$\gamma_Q$	Partiële factor voor een veranderlijke belasting
$\psi_0$	Factor voor de combinatie waarde van een veranderlijke belasting
$\psi_1$	Factor voor de frequente waarde van een veranderlijke belasting
$\psi_2$	Factor voor de quasi-blijvende waarde van een veranderlijke belasting
$\zeta$	Combinatiefactor voor blijvende belastingen

Tabel 1.2b Gehanteerde indexen

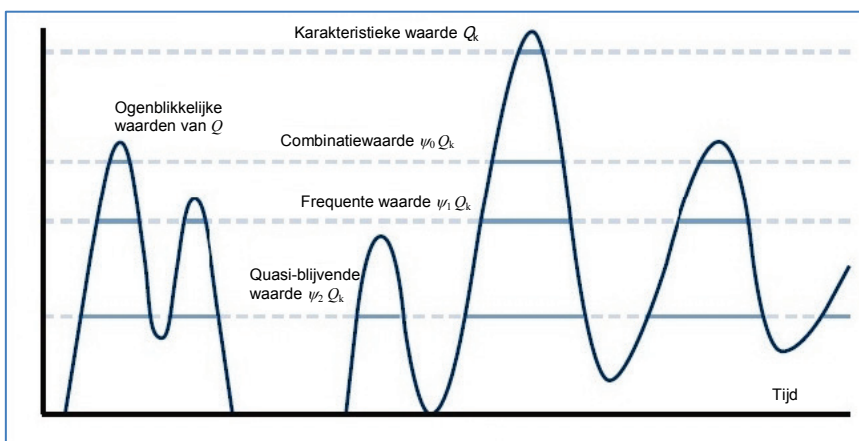
Index	Definitie
A	Buitengewone situatie
c	Beton
d	Rekenwaarde
E	Belastingseffect
fi	Brand
k	Karakteristiek
R	Sterkte
w	Dwarskrachtwapening
y	Elasticiteitsgrens

### 1.3.1 Representatieve waarden

Iedere belasting kent vier representatieve waarden. De voornaamste representatieve waarde is de karakteristieke waarde. Deze kan statistisch worden bepaald of, als er onvoldoende gegevens voorhanden zijn, aan de hand van een nominale waarde. De andere representatieve waarden zijn: de combinatie waarde, de frequente waarde en de quasi-blijvende waarde. Deze worden verkregen door de karakteristieke waarde te vermenigvuldigen met, respectievelijk, de factoren  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  en  $\psi_2$  (zie [Figuur 1.3](#)). Een semi-probabilistische methode is gebruikt om deze  $\psi$ -factoren af te leiden, waarvan de grootte afhankelijk is van het type belasting (zie [Tabel 1.3](#)). Meer informatie over de  $\psi$ -factoren kan worden gevonden in Bijlage C van de Eurocode.

De combinatie waarde ( $\psi_0 Q_k$ ) van een belasting brengt de gereduceerde kans op het tegelijkertijd voorkomen van twee of meer veranderlijke belastingen in rekening. De frequente waarde ( $\psi_1 Q_k$ ) is zodanig gekozen dat deze slechts gedurende een korte periode wordt overschreden en wordt voornamelijk gebruikt in de bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT) en in een buitengewone uiterste grenstoestand (UGT). De quasi-blijvende waarde ( $\psi_2 Q_k$ ) mag worden overschreden gedurende een langere periode. Deze kan in zekere zin worden gezien als de in de tijd gemiddeld optredend belastingsniveau. Deze waarde wordt gebruikt voor langetermijn-effecten in de BGT en ook bij buitengewone combinaties en seismisch ontwerp in de UGT.

Figuur 1.3: Representatieve waarden van veranderlijke belastingen



Tabel 1.3 Aanbevolen waarden voor de  $\psi$  factoren voor gebouwen

Belasting	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Voorgeschreven belastingen in gebouwen (zie NBN EN 1991-1-1)			
Categorie A: woon-, verblijfsruimtes	0,7	0,5	0,3
Categorie B: kantoorruimtes	0,7	0,5	0,3
Categorie C: bijeenkomstruimtes	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: verkeersruimte, voertuiggewicht < 30 kN	0,7	0,7	0,6
Categorie G: verkeersruimte, 30 kN < voertuiggewicht < 160 kN	0,7	0,5	0,3
Categorie H: daken*	0	0	0
Sneeuwbelasting op gebouwen (zie NBN EN 1991-3)			
Voor locaties gelegen op een hoogte H < 1000 m boven de zeespiegel	0,5	0,0	0
Windbelasting op gebouwen (zie NBN EN 1991-1-4)			
Temperatuur (geen brand) in gebouwen (zie NBN EN 1991-1-5)	0,6	0,2	0
<b>Legende</b>			
*Zie ook NBN EN 1991-1-1: Lid 3.3.2			

### 1.3.2 Belastingcombinaties

In de Eurocodes wordt de term “belastingcombinatie” specifiek gebruikt voor het definiëren van de grootte van belastingen om te gebruiken in een grenstoestand waarin verschillende belastingen simultaan kunnen optreden. Deze term moet niet worden verward een "belastingsschikking" dat betrekking heeft op de wijze waarop veranderlijke belastingen moeten worden geschikt (zie [2.5 Belastingsschikkingen](#)) zodanig dat de meest ongunstige resultaten bekomen worden. Deze worden gegeven in de materiaal-gebonden Eurocodes. De volgende stappen kunnen worden doorlopen om de waarde van een belasting te bepalen die moet toegepast worden in een berekening:

1. Stel de ontwerpsituatie vast (bv. blijvend, tijdelijk, buitengewoon).
2. Onderken alle realistische belastingen.
3. Bepaal de partiële factoren (zie hierna) voor iedere van toepassing zijnde belastingcombinatie.
4. Schik de belastingen zodanig dat de meest kritieke omstandigheden worden verkregen.

Als er slechts één veranderlijke belasting voorkomt in een combinatie (bv. een opgelegde belasting), wordt de grootte van de belastingen verkregen door vermenigvuldiging met de gepaste partiële belastingfactor.

Als er verschillende veranderlijke belastingen voorkomen in een combinatie, moet een onderscheid worden gemaakt tussen de overheersende belasting ( $Q_{k,l}$ ) en de andere, mogelijk gelijktijdig optredende belastingen ( $Q_{k,i}$ ). Een gelijktijdig optredende belasting wordt altijd meegenomen als combinatiewaarde.

### 1.3.3 Uiterste grenstoestand

De uiterste grenstoelstanden worden onderverdeeld in de volgende categorieën:

- EQU** Verlies van het evenwicht van de constructie.
- STR** Intern bezwijken of overdreven vervormingen van de constructie of constructieonderdelen.
- GEO** Bezwijken ten gevolge van excessieve deformatie van de ondergrond.
- FAT** Bezwijken van de constructie of constructieonderdelen ten gevolge van vermoeiing.

De Eurocode geeft verschillende belastingcombinaties voor deze uiterste grenstoelstanden. In het kader van deze publicatie wordt enkel de categorie STR beschouwd.

Voor de blijvende en tijdelijke ontwerptoelstanden in een STR uiterste grenstoelstand, definieert de Eurocode drie mogelijke belastingcombinaties, die gegeven worden door de vergelijkingen (6.10), (6.10a) en (6.10b) (zie [Tabel 1.4](#) en [Tabel 1.5](#)). De ontwerper kan vergelijking (6.10) gebruiken of de meest ongunstige van vergelijkingen (6.10a) en (6.10b).

De ANB laat het gebruik van de uitdrukkingen 6.10a en 6.10b (toepassing van de coëfficiënt  $\xi = 0,85$  op de blijvende belastingen) slechts toe, mits uitvoering van een specifiek nazicht. (zie opmerking 2 van [Tabel 1.4](#))

Voor een typisch gebouw met een betonnen draagstructuur, geeft uitdrukking (6.10b) de meest economische belastingcombinatie op structureel vlak.

*Tabel 1.4 Rekenwaarden voor belastingen in de uiterste grenstoelstand – blijvende en tijdelijke ontwerpsituaties (tabel A1.2(B) in Eurocode)*

Referentie van de combinatie	Blijvende belastingen		Overheersende veranderlijke belasting (*)	Gelijktijdige veranderlijke belastingen	
	Ongunstig	Gunstig		Belangrijkste	Andere
Vgl. (6.10)	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
Vgl. (6.10a)	$\gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$		$\gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}$	$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$
Vgl. (6.10b)	$\xi \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$	$\gamma_{G,j,inf} G_{k,j,inf}$	$\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$		$\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

**Opmerking**

1 Ontwerp volgens vergelijking (6.10) of volgens de ongunstigste van vergelijkingen (6.10a) en (6.10b).

2 Opmerking 2 van EN 1990: Wanneer men de vergelijkingen 6.10a / 6.10b gebruikt, kunnen zich twee situaties voordoen bij de evaluatie van  $\sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j,sup} G_{k,j,sup}$ :

- ofwel is de hoogste karakteristieke waarde van het eigen gewicht  $G_{k,j,sup}$  van de component j gecertificeerd op basis van de statistische verdeling met een variatiecoëfficiënt kleiner dan 10 % en zijn de betrouwbaarheidsvoorwaarden van deze certificatie vervuld:  
**in dit geval wordt de waarde  $\xi_j = 0,85$  toegepast**
- ofwel is één van deze vereisten niet vervuld:  
**in dit geval wordt de waarde  $\xi_j = 1,00$  toegepast**

De aan te nemen waarde van  $G_{k,j,sup}$  (gemiddelde waarde of 95 %-fractiel) is gedetailleerd in 4.1.2 (2) tot (5). Wanneer het eigen gewicht een grote variatie vertoont (variatioecoëfficiënt groter dan 10 %), dient men twee verschillende waarden voor  $G_{k,j}$  te beschouwen, namelijk  $G_{k,j,sup}$  en  $G_{k,j,inf}$ , aanvullend bij 4.1.2 (5).

Voor geotechnische toetsingen wordt enkel  $\xi_j = 1,00$  gebruikt.

3 Wegens de voorgaande opmerking worden in België de uitdrukkingen (6.10a) en (6.10b) weinig gebruikt.

Tabel 1.5 Rekenwaarden van belastingen voor de uiterste grenstoestand – blijvende en tijdelijke ontwerpsituaties

Referentie van de combinatie	Blijvende belastingen		Overheersende veranderlijke belasting (*)	Gelijktijdige veranderlijke belastingen	
	Ongunstig	Gunstig		Belangrijke (indien van toepassing)	Andere
Belastingscombinatie in het geval van slechts één veranderlijke belasting.					
Vgl. (6.10)	$1,35 G_k^a$	$1,0 G_k^a$	$1,5^c Q_k$		
Belastingscombinatie in het geval van verschillende gelijktijdige veranderlijke belastingen (één overheersende belasting met gelijktijdige belastingen).					
Vgl. (6.10)	$1,35 G_k^a$	$1,0 G_k^a$	$1,5^c Q_{k,1}$		$1,5^c \psi_{0,i}^b Q_{k,i}$
<b>Legende</b> a Indien de variatie van de blijvende belasting als niet significant wordt beoordeeld, kunnen de waarden $G_{k,j,sup}$ en $G_{k,j,inf}$ gelijk genomen worden aan $G_k$ b Voor de waarde van $\psi_0$ , zie <a href="#">Tabel 1.3</a> c Indien de gelijktijdige veranderlijke belasting gunstig is, is $\gamma_{Q,i} = 0$					

### 1.3.4 Bruikbaarheidsgrenstoestand

Voor het nazicht van de bruikbaarheidsgrenstoelstanden kunnen drie belastingscombinaties worden gebruikt (zie [Tabel 1.6](#) en [Tabel 1.7](#)). Eurocode 2 geeft aan welke combinatie voor welk nazicht moet worden gebruikt (bv. de doorbuiging wordt gecontroleerd met de quasi-blijvende combinatie). Men moet er op letten om de BGT combinaties met de benamingen karakteristiek, frequent en quasi-blijvend niet te verwarren met de gelijknamige representatieve waarden van de belastingen.

Tabel 1.6 Rekenwaarden van belastingen, bruikbaarheidsgrenstoelstanden

Combinatie	Blijvende belastingen		Veranderlijke belastingen		Voorbeeld van toepassing in Eurocode 2
	Ongunstig	Gunstig	Overheersend	Andere	
Karakteristieke	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i} Q_{k,i}$	
Frequente	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$	Scheurvorming – voorgespannen beton
Quasi-blijvende	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$\psi_{2,1} Q_{k,1}$	$\psi_{2,i} Q_{k,i}$	Doorbuigingen
<b>Opmerkingen</b> 1 Indien de variatie van de blijvende belasting als niet significant wordt beoordeeld, kunnen de waarden $G_{k,j,sup}$ en $G_{k,j,inf}$ gelijk genomen worden aan $G_k$ 2 Voor de waarden van $\psi_0$ , $\psi_1$ en $\psi_2$ , zie <a href="#">Tabel 1.3</a>					

Tabel 1.7 Voorbeeld van combinaties in geval van nazicht van doorbuigingen (quasi-blijvende) zoals afgeleid voor een typisch ontwerp in gewapend beton

Combinatie	Blijvende belastingen		Veranderlijke belastingen
	Ongunstig	Gunstig	Overheersend
Kantoorruimtes		$G_k^a$	$0,3^b Q_{k,1}$
Winkelruimtes		$G_k^a$	$0,6^b Q_{k,1}$
Opslagruimtes		$G_k^a$	$0,8^b Q_{k,1}$
<b>Legende</b> a Indien de variatie van de blijvende belasting als niet significant wordt beoordeeld, kunnen de waarden $G_{k,j,sup}$ en $G_{k,j,inf}$ gelijk genomen worden aan $G_k$ b Voor de waarden van $\psi_2$ zie <a href="#">Tabel 1.3</a>			

## 1.4 Eurocode 1

Eurocode 1 is samengesteld uit tien delen (zie [Tabel 1.8](#)) en bevat alle informatie die de ontwerper nodig heeft om de verschillende belastingen op een constructie te bepalen. De volumieke massa van gewapend beton is  $2500 \text{ kg/m}^3$ .

Tabel 1.8 Eurocode 1, de delen en de datums van publicatie

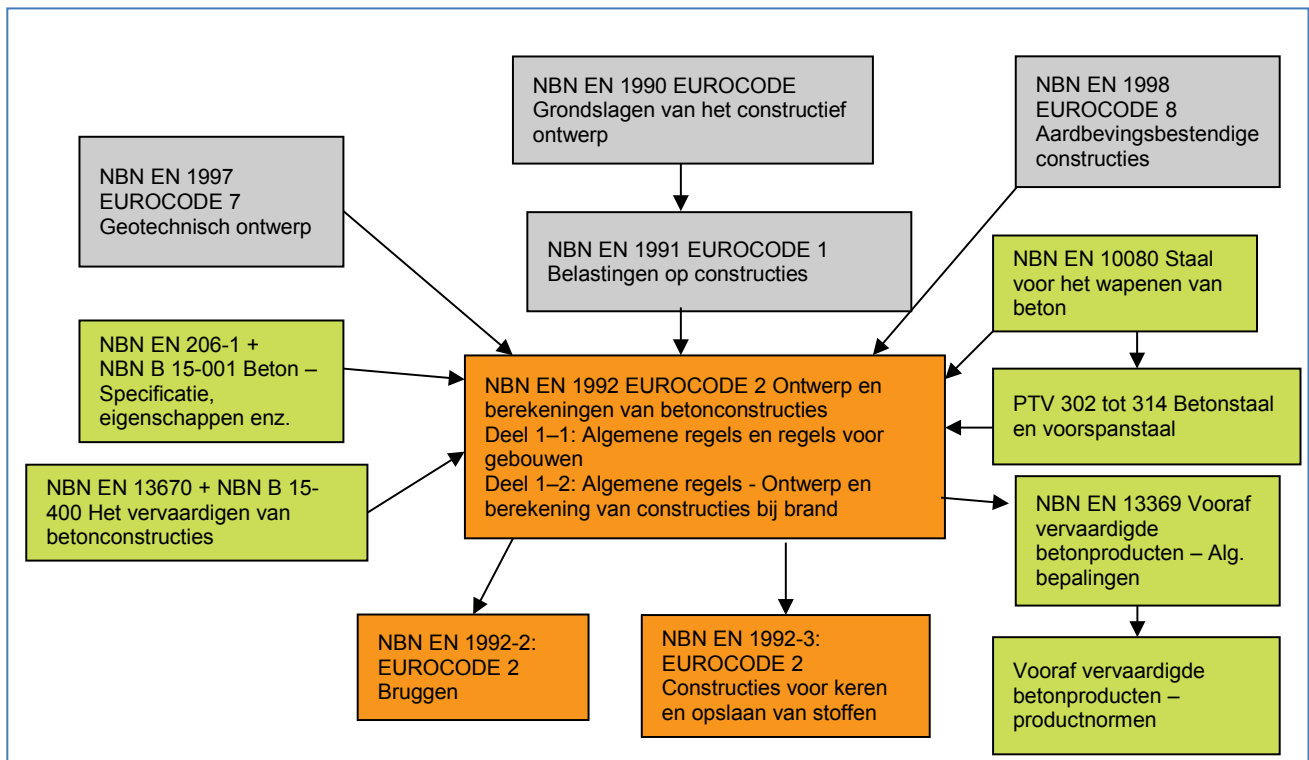
Referentie	Titel	Datum van publicatie	
		Eurocode	Nationale Bijlage
NBN EN 1991-1-1	Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen	2002	2007
NBN EN 1991-1-2	Belasting bij brand	2003	2008
NBN EN 1991-1-3	Sneeuwbelasting	2003 +A1 (2015)	2007
NBN EN 1991-1-4	Windbelasting	2005 +A1 (2010)	2010
NBN EN 1991-1-5	Thermische belasting	2003	2009
NBN EN 1991-1-6	Belastingen tijdens uitvoering	2005	2010
NBN EN 1991-1-7	Buitengewone belastingen: stootbelastingen en ontploffingen	2006 + A1 (2014)	2012
NBN EN 1991-2	Verkeersbelasting op bruggen	2004	2011
NBN EN 1991-3	Belastingen veroorzaakt door kranen en machines	2006	2011
NBN EN 1991-4	Constructies voor keren en opslaan van stoffen	2006	2011

## 1.5 Eurocode 2

Eurocode 2 omvat vier delen. [Figuur 1.4](#) geeft aan hoe deze passen in het Eurocode systeem dat ook andere Europese voorschriften omvat.

Bij iedere Europese norm hoort een nationale bijlage. Voor de Eurocodes is de aanwijzer van de nationale bijlagen dezelfde als de betreffende Europese norm met toevoeging van de vermelding ANB.

Figuur 1.4 Relaties tussen Eurocode 2 en andere voorschriften



### 1.5.1 Deel 1-1

Eurocode 2, Deel 1-1: *Algemene regels en regels voor gebouwen*<sup>5</sup> is het voornaamste deel waarnaar wordt verwezen in de drie andere delen. (zie [Tabel 1.9a](#))

### 1.5.2 Deel 1-2

Eurocode 2, Deel 1-2: *Ontwerp en berekening van constructies bij brand*<sup>6</sup>, geeft aanduidingen voor de berekening van de brandweerstand van betonconstructies. (zie [Tabel 1.9a](#)) Alhoewel het grootste deel van Eurocode 2 gewijd is vereenvoudigde en gevorderde rekenmethodes, kan de brandweerstand steeds berekend worden door te verwijzen naar tabellen met minimale waarden voor de asafstand en de afmetingen van constructieonderdelen. Deze worden gegeven in lid 5 van Deel 1-2. Meer informatie omtrent het gebruik van deze tabellen is te vinden in hoofdstuk [2 Het begin](#).

### 1.5.3 Deel 2

Eurocode 2, Deel 2: *Bruggen*<sup>8</sup> geeft aan hoe de algemene regels uit Deel 1-1 moeten worden toegepast bij het ontwerpen en berekenen van bruggen. (zie [Tabel 1.9a](#)) Bijgevolg zijn Deel 1-1 en Deel 2 beide nodig om een brug in gewapend beton te ontwerpen en te berekenen.

### 1.5.4 Deel 3

Eurocode 2, Deel 3: *Constructies voor keren en opslaan van stoffen*<sup>9</sup> geeft de toepassing van de algemene regels uit Deel 1-1 op opslagconstructies. (zie [Tabel 1.9a](#))

Tabel 1.9a Eurocode 2, de delen en de datums van publicatie

Referentie	Titel	Datum van publicatie	
		Eurocode	Nationale Bijlage
NBN EN 1992-1-1	Algemene regels en regels voor gebouwen	2005 +A1 (2015)	2010
NBN EN 1992-1-2	Ontwerp en berekening van constructies bij brand	2005	2010
NBN EN 1992-2	Bruggen	2005	2014
NBN EN 1992-3	Constructies voor keren en opslaan van stoffen	2006	2013

In [Tabel 1.9b](#) zijn de vroegere publicaties van de Belgische normen voor de berekening van betonconstructies opgenomen.

Tabel 1.9b Eurocode 2, de vroegere Belgische normen voor de berekening van betonconstructies

Onderwerp	Normaanwijzer + datum	Volledige titel
Beton, gewapend en voorgespannen beton	NBN B 15-103 (1977)	Beton, gewapend beton en voorgespannen beton – Berekening
Normaal beton	ENV 1992-1-1 (1991) + NAD = NBN B 15-002 1 <sup>ste</sup> uitg. (1995)	Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
	NBN B 15-002 2 <sup>de</sup> uitg. (1999)	Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen
Geprefabriceerd beton	ENV 1992-1-3 (1994) + NAD = NBN B 15-003 (2001)	Eurocode 2 - Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-3: Algemene regels - Geprefabriceerde betonnen elementen
Brandweerstand	ENV 1992-1-2 (1994) + NAD (1999)	Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-2: Algemene regels - Ontwerp en berekening van constructies bij brand
Licht beton	ENV 1992-1-4 (1994)	Eurocode 2 - Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-4: Algemene regels - Lichtbeton met gesloten structuur
Uitwendige voorspanning	ENV 1992-1-5 (1994) + NAD = NBN B 15-005 (2001)	Eurocode 2: Berekening van betonconstructies - Deel 1-5: Algemene regels - Constructies met voorspanning zonder aanhechting en uitwendige voorspanning
Ongewapend beton	ENV 1992-1-6 (1994)+ NAD = NBN B 15-006 (2001)	Eurocode 2 - Berekening van betonconstructies - Deel 1-6: Algemene regels - Constructies van ongewapend beton
Betonfunderingen	NBN ENV 1992-3 (1999)	Eurocode 2: Berekening van betonconstructies - Deel 3: Betonfunderingen
Keren en opslaan van stoffen	NBN ENV 1992-4 (1999)	Eurocode 2: Berekening van betonconstructies - Deel 4: Constructies voor keren en opslaan van stoffen.
Betonnen bruggen	NBN ENV 1992-2 (2001)	Eurocode 2: Berekening van betonconstructies - Deel 2: Betonnen bruggen

## 1.6 Eurocode 7

Eurocode 7: *Geotechnisch ontwerp*<sup>10</sup> bestaat uit twee delen (zie [Tabel 1.1](#)) en geeft een handleiding voor geotechnisch ontwerpen, bodemonderzoek en beproevingen. Het toepassingsgebied is zeer breed omvat het geotechnisch ontwerpen van funderingen op staal, paalfunderingen, keerwanden, diepe kelders en aarden dammen. Net zoals in de andere

Eurocodes is het ontwerp ook gebaseerd op de beschouwing van grenstoelstanden. Nadere toelichting betreffende eenvoudige funderingen wordt gegeven hoofdstuk [6. Funderingen](#)

### 1.7 Eurocode 8

Eurocode 8: *Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies*<sup>12</sup> is opgedeeld in zes delen (zie [Tabel 1.1](#)), behandelt alle aspecten die te maken hebben met het ontwerpen op aardbevingsbestendigheid en omvat richtlijnen voor de diverse constructiematerialen en voor alle types constructies. Ze geeft ook richtlijnen voor het versterken en herstellen van gebouwen. In gebieden die weinig aardbevingsgevoelig zijn, zouden de detailleringregels uit Eurocode 2 moeten volstaan om de conformiteit met Eurocode 8 te waarborgen.

### 1.8 Gerelateerde normen

Tabel 1.10 Normen van de reeks NBN A 24 en corresponderende PTV's

Referentie	Titel	Datum van publicatie
NBN A 24-301	Staalproducten - Betonstaal - Staven, draden en gelaste wapeningsnetten - Algemeenheden en gemeenschappelijke voorschriften	1986
NBN A 24-302	Staalproducten - Betonstaal - Gladde en geribde staven - Gladde en geribde walsdraad	1986
NBN A 24-303	Staalproducten - Betonstaal - Gladde en geribde koudvervormde draad	1986
NBN A 24-303/A1	Staalproducten - Betonstaal - Gladde geribde koudvervormde draad	1990
NBN A 24-304	Staalproducten - Betonstaal - Gelaste wapeningsnetten	1986
NBN A 24-304/A1	Staalproducten - Betonstaal - Gelaste wapeningsnetten	1988
PTV 302	Betonstaal - Geribde en gedeukte staven en draden	2015
PTV 303	Betonstaal - Geribde koudvervormde draad	2013
PTV 304	Betonstaal - Gelaste wapeningsnetten	2009
PTV 305	Betonstaal - Tralieliggers	2009
PTV 306	Betonstaal - Bewerking (rechtzetten, snijden, plooiën, automatisch instellen en lassen)	2010
PTV 307	Betonstaal - Geribde staven - Alternatief profiel	2009
PTV 308	Betonstaal - Tot vlakke panelen samengestelde wapeningen	2009
PTV 309	Betonstaal - Mechanische verbindingen van betonstaal	2014
PTV 310	Betonstaal - Geribde warmgewalste en geribde koudvervormde staven en draad, trekproef na heen- en terugbuigen	2010
PTV 311	Voorspanstaal - Strengen	2005
PTV 312	Voorspanstaal - Verzinkte voorspanwapeningen (Revisie 0).	2001
PTV 314	Voorspanstaal - Koudgetrokken draden	2005

#### 1.8.1 NBN EN 206

In EC2 wordt ervan uitgegaan dat het beton voldoet aan de norm NBN EN 206:2013+A1 wat betreft de specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit.

Zolang de nationale bijlage voor deze norm niet gepubliceerd is, dient men te verwijzen naar NBN EN 206-1 en zijn nationale bijlage, de norm NBN B 15-001 (2012) en naar de norm NBN EN 206 voor het gedeelte zelfverdichtend beton.

#### 1.8.2 NBN EN 10080<sup>13</sup> & Bijlage C van NBN EN 1992-1-1

In België is een karakteristieke elasticiteitsgrens tussen 400 MPa en 500 MPa toegelaten. Er bestaan drie klassen betonstaal namelijk A, B en C, in volgorde van toenemende ductiliteit. De klasse A voldoet niet indien een momentenhervdeling van 20 % werd aangenomen in



de berekening volgens de uitdrukkingen 5.10a, 5.10b in 5.5(4) van NBN EN 1992-1-1&ANB.

### 1.8.3 NBN EN 13670

EC2 verwijst naar de norm ENV 13670-1 voor de uitvoeringseisen en het betonwerk. Deze norm werd inmiddels omgezet in de EN 13670 *Uitvoering van betonconstructies*<sup>14</sup>.

## 1.9 Overzicht van de Eurocode terminologie

Benaming	Definitie
Principes	Hieronder vallen algemene stellingen, definities, voorwaarden en analytische modellen waarvoor geen alternatief is toegestaan. Zij worden onderscheiden door (P) na het artikelnummer.
Toepassingsregels	Algemeen erkende regels die in overeenstemming zijn met de principes en voldoen aan hun vereisten.
Nationaal Bepaalde Parameter (NBP)	Eurocodes mogen worden gebruikt om te voldoen aan nationale Bouwvoorschriften die op zichzelf niet worden geharmoniseerd op Europees vlak. NBP's mogen daarom door een land worden gebruikt om eigen veiligheidsniveaus vast te leggen. NBP's maken het ook mogelijk zekere andere parameters (in het algemeen gerelateerd aan klimaat, geografie en geologie) open te laten voor nationale invulling. NBP's worden vastgelegd in de Nationale Bijlage.
Nationale Bijlage (NB)	Een Nationale Bijlage vergezelt iedere Eurocode en omvat a) de waarden van NBP's b) de nationale besluiten aangaande het gebruik van Informatieve Bijlagen en c) verwijzingen naar NCCI's (zie definitie verderop).
Normatief	Benaming gebruikt voor de tekst van voorschriften die de basisvereisten omvatten. Overeenstemming met Eurocodes wordt veelal beoordeeld aan de hand van de normatieve vereisten.
Informatief	Een benaming alleen gebruikt in relatie tot de bijlagen die eerder als doel hebben om te informeren, dan om voor te schrijven.
NCCI	Niet-tegenstrijdige bijkomende informatie. Referentie in een Nationale Bijlage die nadere informatie of aanduidingen bevat die niet in tegenspraak zijn met de Eurocode.
Karakteristieke waarde	Een waarde die statistisch kan worden afgeleid met een bepaalde kans niet te worden overschreden gedurende een referentieperiode. De waarde komt overeen met een zekere fractie van een bepaalde eigenschap van een materiaal of product. De karakteristieke waarde wordt aangegeven met de index 'k' (bv. $Q_k$ enz.). Het is de basis representatieve waarde waarvan andere representatieve waarden kunnen worden afgeleid.
Representatieve waarde	Waarde gebruikt voor toetsing van een grenstoestand. Dit kan de karakteristieke waarde of een met een $\Psi$ -factor daarvan afgeleide waarde zijn, zoals bv. de combinatiewaarde, frequente waarde of quasi-blijvende waarde.

Rekenwaarden	Deze verwijzen naar representatieve waarden inclusief partiële factoren. Zij worden voorzien van de index 'd' (bv. $f_{cd} = f_{ck}/\gamma_c$ ; $Q_d = \gamma_Q Q_k$ ).
Belasting (F)	Een stel krachten, vervormingen of versnellingen werkend op een bouwconstructie.
Belastingscombinaties	Een stel rekenwaarden te gebruiken voor het toetsen van de constructieve betrouwbaarheid in een grenstoestand waarin sprake is van de gezamenlijke invloed van verschillende en statistisch onafhankelijke belastingen.
Vaste belasting	Belasting met een vaste verdeling en positie op de bouwconstructie of een constructie-onderdeel.
Vrije belasting	Belasting die verscheidene ruimtelijke verdelingen over de bouwconstructie kan hebben.
Blijvende belasting (G)	Belasting die geacht wordt gedurende de gehele referentieperiode van een bouwconstructie aanwezig te zijn en waarvan de variatie in grootte in de tijd verwaarloosbaar klein is (bv. eigengewicht).
Variabele belasting (Q)	Belasting waarvan de grootte in de tijd varieert (bv. windbelasting).
Effect van een belasting (E)	Vervorming of interne kracht veroorzaakt door een belasting.
Buitengewone belasting (A)	Een belasting, veelal van korte duur maar van significante grootte, waarvan de kans klein is dat ze gedurende de referentieperiode zal optreden.
Gelijktijdige belasting	Belasting in een combinatie die niet de overheersende veranderlijke belasting is.
Tijdelijke ontwerpsituatie	Een ontwerpsituatie die van toepassing is gedurende een tijdsbestek dat veel korter is dan de referentieperiode van de bouwconstructie.
Blijvende ontwerpsituatie	Een ontwerpsituatie die van toepassing is gedurende een tijdsbestek dat ongeveer even lang duurt als de referentieperiode van de bouwconstructie.
Buitengewone ontwerpsituatie	Een ontwerpsituatie die overeenstemt met uitzonderlijke omstandigheden voor de bouwconstructie.
Irreversibele bruikbaarheidsgrenstoestand	Bruikbaarheidsgrenstoestand waarin sommige gevolgen van belastingen blijvend zijn nadat de belastingen niet meer werkzaam zijn.
Reversibele bruikbaarheidsgrenstoestand	Bruikbaarheidsgrenstoestand waarin geen van de gevolgen van belastingen blijvend zijn nadat de belastingen niet meer werkzaam zijn.
Uitvoering	Constructie van het bouwwerk

### 1.10 Referenties

- 1 NBN EN 1992, Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies* (4 delen).
- 2 NBN EN 1990, Eurocode: *Grondslagen van het constructief ontwerp*.
- 3 NBN EN 1991, Eurocode 1: *Belastingen op constructies* (10 delen).
- 4 GULVANESSIAN, H, CALGARO, J A & HOLICY, M T. *Designers' guide to EN 1990*. Thomas Telford, 2002.

- 5 NBN EN 1992-1-1, Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies. Algemene regels en regels voor gebouwen.*
- 6 NBN EN 1992-1-2, Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies. Ontwerp en berekening van constructies bij brand.*
- 8 NBN EN 1992-2, Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies. Bruggen.*
- 9 NBN EN 1992-3, Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies. Constructies voor keren en opslaan van stoffen.*
- 10 NBN EN 1997, Eurocode 7: *Geotechnisch ontwerp (2 delen).*
- 12 NBN EN 1998, Eurocode 8: *Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies (6 delen).*
- 13 NBN EN 10080: *Staal voor het wapenen van beton - Lasbaar betonstaal – Algemeen.*
- 14 NBN EN 13670: *Uitvoering van betonconstructies +*  
NBN B 15-400: *Uitvoering van betonconstructies - Nationale bijlage aan*  
NBN EN 13670
- 15 NARAYANAN, R S & BROOKER, O. *How to design concrete structures using Eurocode 2: Introduction to Eurocodes (TCC/03/16).* The Concrete Centre, 2005.

**Bijkomende referenties voor geprefabriceerde constructies**

- 1 NBN EN 13369 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten +*  
NBN B 21-600 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten –*  
*Nationale aanvulling bij NBN EN 13369*



## 2. Het begin

### 2.1 Inleiding

### 2.2 Het ontwerpproces

Dit hoofdstuk heeft als doel de ontwerper te assisteren bij het bepalen van de informatie die nodig is alvorens te kunnen starten met het gedetailleerd ontwerpen en berekenen van constructie-elementen. Het omvat de ontwerplevensduur, belastingen op constructies, belastingsschikkingen, belastingscombinaties, analysemethoden, materiaaleigenschappen, stabiliteit en imperfecties, minimale betondekking en maximale scheurwijdten.

*Wanneer NBP's voorkomen in de tekst van deze publicatie, dan zijn het de Belgische waarden zoals gedefinieerd in de corresponderende ANB's die gebruikt werden.*

Het proces van ontwerpen en berekenen van constructie-onderdelen wordt met Eurocode 2 niet revolutionair gewijzigd maar wel kunnen de regels voor constructieve schikkingen grondig aangepast zijn. Een en ander wordt in de opeenvolgende hoofdstukken van deze publicatie beschreven.

Verwacht wordt dat Eurocode 2 op lange termijn zal leiden tot constructies die meer kostenefficiënt zijn.

### 2.3 Ontwerplevensduur

De ontwerplevensduur van een constructie wordt gegeven in de Eurocode: *Grondslagen van het constructief ontwerp*, zoals opgenomen in [Tabel 2.1](#). Deze moet worden gebruikt om de duurzaamheidseisen vast te leggen die bij het ontwerpen en berekenen van een gewapend betonconstructie nodig zijn.

Tabel 2.1 — Indicatieve ontwerplevensduren

Ontwerplevensduur (jaren)	Voorbeelden
10	Tijdelijke constructies
10–25	Vervangbare constructie-elementen
15–30	Agrarische en vergelijkbare constructies
50	Gebouwen en andere gebruikelijke constructies
100	Monumentale gebouwen, bruggen en werken van burgerlijke bouwkunde

### 2.4 Belastingen op constructies

Eurocode 1: *Belastingen op constructies*<sup>4</sup> is opgebouwd uit tien delen die informatie geven over een grote verscheidenheid aan belastingen. Nadere informatie over de afzonderlijke delen kan worden gevonden in het hoofdstuk [1. Inleiding tot de Eurocodes](#). Eurocode 1, Deel 1-1: Algemene belastingen – *Volumieke gewichten, eigengewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen*, geeft de volumieke gewichten en eigengewichten van bouwmaterialen (zie [Tabel 2.2](#)).

Tabel 2.2 Soortelijke gewichten van materialen (Eurocode, Deel 1–1)

Materiaal	Volumiek gewicht (kN/m <sup>3</sup> )
Beton met normale volumieke massa	24,0
Gewapend beton met normale volumieke massa	25,0
Vers gewapend beton met normale volumieke massa	26,0

## 2.5 Belastingsschikkingen

De term belastingsschikking verwijst naar de manier waarop variabele belastingen (bv. opgelegde belastingen en windbelastingen) worden geconfigureerd, zodanig dat de ongunstigste krachten in een constructie of constructie-onderdeel worden gevonden.

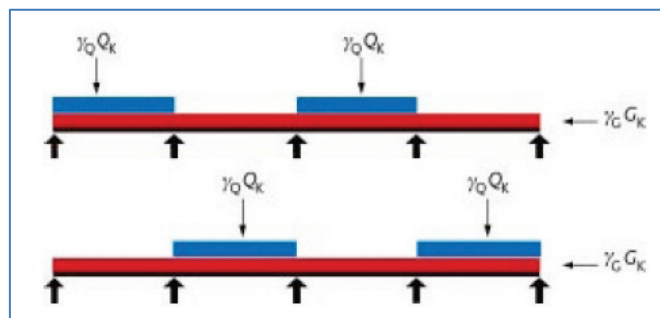
Voor gebouwen, beveelt Eurocode 2 Deel 1-1 aan de hierna volgende belastingsschikkingen in zowel de uiterste als de bruikbaarheidsgrenstoestand te hanteren. In de ANB wordt erop gewezen dat deze vereenvoudigde belastingsschikkingen slechts van toepassing zijn op doorgaande liggers met overspanningen met vergelijkbare lengtes en belastingen.

### 2.5.1 Afwisselend belast of aangrenzende velden belast

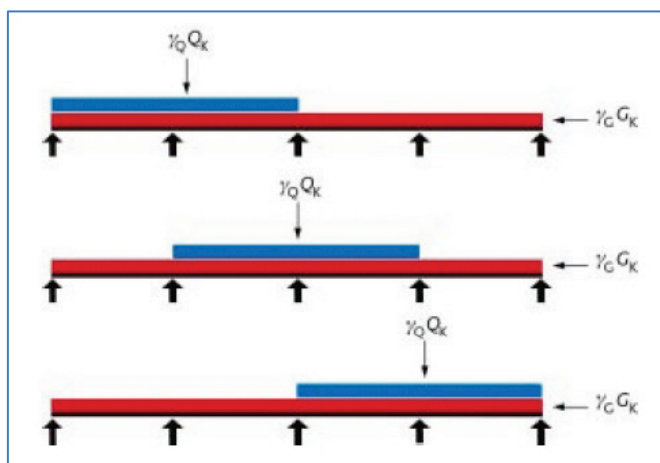
De rekenwaarden kunnen worden bepaald op basis van de meest ongunstige van de volgende belastingsschikkingen:

- De velden worden afwisselend belast met de veranderlijke en blijvende belastingen terwijl de andere velden alleen belast worden door de rekenwaarde van de blijvende belasting (zie [Figuur 2.1](#)). Overal moet dezelfde waarde voor  $\gamma_G$  worden gehanteerd.
- Twee naast elkaar gelegen velden worden belast met de veranderlijke en blijvende belastingen terwijl de andere velden alleen belast worden met de blijvende belastingen (zie [Figuur 2.2](#)). Overal moet dezelfde waarde voor  $\gamma_G$  worden gehanteerd.

*Figuur 2.1 Velden afwisselend belast*



*Figuur 2.2 Twee aan elkaar grenzende velden belast*



In [Tabel 2.3](#) wordt een selectie gegeven van veranderlijke belastingen in gebouwen.

Tabel 2.3 Opgelegde belastingen voor gebouwen volgens NBN EN 1991-1-1 ANB

Categorie	Voorbeeld	$q_k$ (kN/m <sup>2</sup> )	$Q_k$ (kN)
A	Vloeren	2,0	2,0
A	Trappen	3,0	2,0
A	Balkons	4,0	2,0
B	Kantoorruimten	3,0	3,0
C5	Ruimten waar zich grote mensenmassa's kunnen bevinden, bv. in gebouwen voor openbare evenementen, zoals concertzalen, sporthallen met inbegrip van balkons, tribunes en toegangsruimten, station perrons.	5,0	4,5
D1	Ruimten in gewone kleinhandelszaken.	5,0	4,0
D2	Ruimten in grootwarenhuizen/supermarkten.	5,0	7,0
E1	Opslagruimtes met inbegrip van boeken en andere documenten	7,5	7,0
F	Garages en zones voor voertuigtransport – lichte voertuigen < 25 kN (PTAC) ≤ 30 kN	2,5	20,0

## 2.6 Belastingscombinaties

De term 'belastingscombinatie' verwijst naar de te gebruiken waarde van belastingen in een grenstoestand waar er een invloed is van verschillende belastingen.

De numerieke waarden van de partiële factoren in de UGT-combinatie kunnen worden ontleend aan de Eurocode: *Grondslagen van het constructief ontwerp* of in hoofdstuk [1. Inleiding tot de Eurocodes](#).

Voor het nazicht van een BGT zijn er drie belastingscombinaties mogelijk, namelijk de karakteristieke, de frequente en de quasi-blijvende. De numerieke waarden van de partiële factoren zijn vermeld in de Eurocode: *Grondslagen van het constructief ontwerp*.

## 2.7 Materiaaleigenschappen

### 2.7.1 Beton

In Eurocode 2 is het ontwerpen en berekenen van gewapend beton gebaseerd op de karakteristieke cilinderdruksterkte en niet op de kubusdruksterkte (bv. voor de sterkteklasse C30/37 is de karakteristieke cilinderdruksterkte 30 MPa, terwijl de karakteristieke kubusdruksterkte 37 MPa is). De druksterkte moet worden gespecificeerd volgens NBN EN 206-1<sup>7</sup>. Een selectie van de voornaamste betoneigenschappen is vermeld in [Tabel 2.4](#).

Beton tot en met sterkteklasse C90/105 kan worden berekend met Eurocode 2. Voor sterkteklassen hoger dan C50/60 gelden echter bijkomende regels. Daarom worden deze sterkteklassen niet beschouwd in dit document.

Tabel 2.4 Selectie van materiaaleigenschappen van beton zoals vermeld in Tabel 3.1 van NBN EN 1992- 1-1

Symbool	Omschrijving	Grootte								
		12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ck}$ (MPa)	Karakteristieke cilinderdruksterkte	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ck,cube}$ (MPa)	Karakteristieke kubusdruksterkte	15	20	25	30	37	45	50	55	60
$f_{ctm}$ (MPa)	Gemiddelde treksterkte	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
$E_{cm}^b$ (GPa)	Secantelasticiteitsmodulus	27	29	30	31	33	34	35	36	37

**Legende**

**a** Voor niet opgenomen sterkteklassen, zie Tabel 3.1 van NBN EN 1992- 1-1

**b** Secantelasticiteitsmodulus op 28 dagen voor beton met kwarts als toeslagmateriaal. Voor beton met andere toeslagmaterialen wordt verwezen naar Lid 3.1.3 (2) van NBN EN 1992-1-1.

**c** De benaderde waarden van de elasticiteitsmodulus  $E_{cm}$  die vermeld zijn in deze tabel moeten worden verhoogd met 10 % voor beton met porfiergranulaten (ANB 3.1.3(2))

## 2.7.2 Betonstaal

Eurocode 2 kan worden gebruikt voor betonstaal met een karakteristieke sterkte van 400 tot en met 600 MPa. In de ANB wordt de bovengrens vastgelegd op 500 MPa. De eigenschappen van betonstaal zijn samengevat in [Tabel 2.5](#). Er zijn drie klassen betonstaal nl. A, B en C, in volgorde van toenemende ductiliteit. Klasse A is niet geschikt indien in de berekening is uitgegaan van een krachtenherverdeling van 20 % of meer. Er zijn geen regels voorzien voor het gebruik van wapening in ongewapend beton of voor zacht staal.

Tabel 2.5 Karakteristieke eigenschappen van op trek belast betonstaal

Productvorm	Staven en gerechte draden			Wapeningsnetten			Eis of onderschrijdingskans (%)
	A	B	C	A	B	C	
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 $\epsilon_{uk}$ (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0
Buigbaarheid	Heen- en terugbuigproef			Heen- en terugbuigproef			-
Afschuifsterkte	-			$0,25 A f_{yk}$ (A is de oppervlakte van de draaddoorsnede)			Minimum
Maximale afwijking van de nominale massa (afzonderlijke staaf of draad) (%)	Nominale afmeting (mm): $\leq 8$ $> 8$						5,0
		$\pm 6,0$ $\pm 4,5$					

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



## 2.8 Constructief ontwerp

Het voornaamste doel van een structurele analyse is het bepalen van de verdeling van de inwendige krachten en de vervormingen van de gehele constructie of een deel ervan en van de kritieke ontwerpvoorwaarden in alle doorsneden. De geometrie van de constructie wordt daarbij gebruikelijk geïdealiseerd als een geheel van lineaire elementen en vlakke tweedimensionale elementen.

Het type analyse moet aangepast zijn aan het beschouwde probleem. De volgende analyses kunnen worden gebruikt: lineair-elastische analyse, lineair-elastische analyse met beperkte momentenherverdeling en plastische analyse. De lineair-elastische analyse mag worden uitgevoerd op basis van ongescheurde doorsneden (bv. met de stijfheidskarakteristieken van de geometrische betondoorsnede), daarbij gebruik makend van lineaire spanning-rekrelaties en de gemiddelde waarde van de elasticiteitsmodulus.

Alleen in de uiterste grenstoestand mogen de momenten, berekend op basis van een lineair-elastische analyse worden herverdeeld (tot een maximum van 30 %), mits de resulterende momentenverdeling in evenwicht blijft met de aangrijpende belastingen en voldoet aan zekere grenswaarden en ductiliteitsvoorwaarden (bv. begrenzing van de hoogte van de drukzone om een voldoende plastische rotatiecapaciteit te waarborgen).

Onafhankelijk van de gehanteerde analysemethode, zijn de volgende principes van toepassing:

- Als een ligger of plaat monolithisch verbonden is met de opleggingen mag voor de rekenwaarde van het negatief moment worden uitgegaan van de waarde ter plaatse van het dagvlak van de oplegging, dat echter niet kleiner mag zijn dan 0,65 maal het inklemmingsmoment.
- Als een ligger of plaat doorlopend is over een oplegging waarvan mag worden aangenomen dat dit de rotatie niet belemmert, mag het steunpuntsmoment berekend in het midden van de oplegging worden gereduceerd met  $(F_{Ed,sup}t/8)$  met  $F_{Ed,sup}$  de oplegreactie en  $t$  de breedte van de oplegging.
- Bij het ontwerpen van kolommen moeten de elastische momenten uit een raamwerkberekening worden gebruikt zonder dat herverdeling wordt toegepast.

## 2.9 Nominale betondekking

De nominale betondekking op de wapening kan als volgt worden berekend:

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}} \quad \text{Vgl. (4.1)}$$

waarbij  $c_{\text{min}}$  aan de volgende vereisten moet voldoen:

- goede overdracht van de hechtingskrachten
- duurzaamheid
- brandweerstand

en waarin  $\Delta c_{\text{dev}}$  een toeslag is die in het ontwerp in rekening moet worden gebracht met betrekking tot afwijkingen ten opzichte van de minimumdekking. Hiervoor moet 10 mm worden aangehouden voor ter plaatse gestort beton.

De nominale betondekking stemt overeen met de hoogte van de wapeningsafstandhouders ten opzichte van de bekisting of ook met de waarde van de « nominale betondekking » zoals vermeld op de wapeningsplannen.

Voor geprefabriceerde betonelementen is het mogelijk om de rekenmarge voor uitvoeringstoleranties  $\Delta c_{\text{dev}}$  te reduceren zodat:  $10 \text{ mm} \geq \Delta c_{\text{dev}} \geq 0 \text{ mm}$  in het geval de drie hierna vermelde voorwaarden gelijktijdig voldaan zijn:

- 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
- het kwaliteitsborgingssysteem en de zelfcontrole behelzen metingen van de betondekking en afwijzing van niet-conforme elementen.

- gepaste maatregelen, die goedgekeurd werden door de derde partij, worden toegepast in de loop van de productie teneinde te garanderen dat de door de fabrikant van de elementen verklaarde tolerantie  $\Delta c_{dev}$  niet overschreden wordt.

### 2.9.1 Minimale betondekking voor aanhechting

De minimale betondekking vereist om een adequate aanhechting te verzekeren mag niet kleiner zijn dan de staafdiameter of de gelijkwaardige staafdiameter bij stavenbundels. Bij een nominale maximale korrelafmeting groter dan 32 mm moet een toeslag van 5 mm worden toegepast.

### 2.9.2 Minimale betondekking voor duurzaamheid

De waarden van de minimale betondekking met betrekking tot duurzaamheid zijn vastgelegd in de tabellen 4.4-ANB en 4.5-ANB van de ANB. De waarden voor gewapend beton, de constructieklasse S4 (ontwerplevensduur van 50 jaar) en voor de verschillende omgevingsklassen zijn opgenomen in de hiernavolgende [Tabel 2.6](#). Voor voorgespannen beton moeten deze betondekkingen vermeerderd worden met 10 mm.

*Tabel 2.6 Duurzaamheidseisen voor gewapend (GB) en voorgespannen (VB) beton volgens NBN B 15-001 met waarden voor de minimale 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)	Minimaal cementgehalte (kg/m <sup>3</sup> )	Minimale sterkteklasse
Symbol	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 doozouten (aanwezigheid van ter plaatse ontdooid of opspattend of aflopend doozouthoudend 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 minimaal 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.

### 2.10 Ontwerpen op brandweerstand

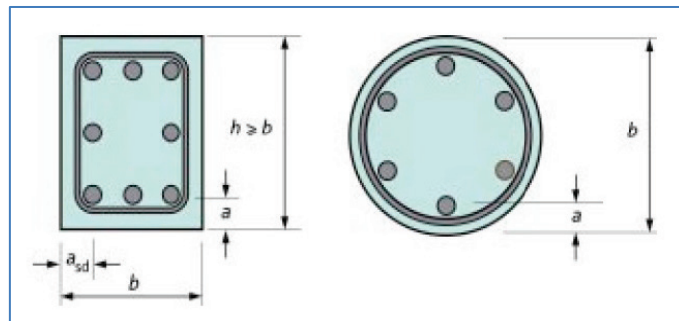
Eurocode 2, Deel 1-2: *Ontwerp en berekening van constructies bij brand*<sup>8</sup>, geeft diverse methoden om de brandweerstand van betonelementen te bepalen. Nadere informatie kan worden gevonden in gespecialiseerde literatuur. Het ontwerpen en berekenen op

brandweerstand mag gebeuren op basis van tabellen die de minimale betondekking en afmetingen van betonelementen vastleggen, zoals hierna besproken.

De methode met tabellen is niet gebaseerd op een minimale betondekking maar op een nominale asafstand  $a$  (zie [Figuur 2.4](#)). Dit is de afstand van het middelpunt van een hoofdwapeningsstaaf tot het oppervlak van het element en wordt asafstand genoemd. Het is een nominale (niet een minimum) afmeting. De ontwerper moet er voor zorgen dat:

$$a \geq c_{\text{nom}} + \phi_{\text{beugel}} + \phi_{\text{staaf}} / 2.$$

*Figuur 2.4 Doorsneden van constructie-elementen met aanduiding van de nominale asafstand,  $a$*



Bij de standaard brandbelasting moet aan drie criteria worden voldaan:

- R** mechanische sterkte van de dragende elementen
- E** integriteit van de scheidende functie
- I** isolerende functie

[Tabel 2.9](#) en [Tabel 2.10](#) geven de minimale afmetingen voor kolommen en platen zodanig dat aan bovenstaande voorwaarden wordt voldaan. Nadere informatie wordt gegeven in Eurocode 2 en in de volgende hoofdstukken, meer bepaald de toepassingsvoorwaarden en gegevens voor wanden en liggers.

*Tabel 2.9 Minimale kolomafmetingen en asafstanden voor kolommen met rechthoekige of ronde doorsnede en voor een belastingsniveau  $\mu_{fi}=0,7$  – Methode A*

Standaard brandweerstand	Minimale afmetingen (mm) Kolombreedte ( $b_{\text{min}}$ ) / asafstand $a$ van de hoofdwapening	
	Kolom aan meer dan één zijde blootgesteld ( $\mu_{fi} = 0,7$ )	Blootgesteld aan één zijde ( $\mu_{fi} = 0,7$ )
R 60	250/46 350/40	155/25
R 120	350/57* 450/51*	175/35
R 240	-	295/70

**Opmerkingen**

- Voor de toepassingsgrenzen, zie NBN EN 1992-1-2.
- $\mu_{fi}$  is de verhouding tussen de rekenwaarde van de normaalkracht onder brandcondities en de rekenwaarde van de draagkracht van de wand bij normale temperatuur. Conservatief mag  $\mu_{fi}$  gelijk worden gesteld aan 0.7
- Voor voorgespannen elementen moet de asafstand uit de tabel, verhoogd worden met 10mm (staven) of 15 mm (draden en strengen)

\* Minimum 8 staven

Tabel 2.10 Minimale afmetingen en asafstanden voor vrij opgelegde of doorgaande massieve gewapende betonplaten

Standaard Brandweer-stand		Minimale afmetingen (mm)							
		Plaat dragend in één richting	Plaat dragend in twee richtingen		Vlakke plaatvloer (rustend op kolommen)	Ribbenvloer die in twee richtingen draagt en minstens in een richting doorloopt <i>b<sub>min</sub></i> is de ribbreedte			
			$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$					
REI 60	$h_s =$ $a =$	80 20	80 10	80 15	180 15	$b_{min} =$ $a =$	100 25	120 15	$\geq 200$ 10
REI 120	$h_s =$ $a =$	120 40	120 20	120 25	200 35	$b_{min} =$ $a =$	160 45	190 40	$\geq 300$ 30
REI 240	$h_s =$ $a =$	175 65	175 40	175 50	200 50	$b_{min} =$ $a =$	450 70	700 60	—

**Opmerkingen**

- 1 Voor de toepassingsgrenzen, zie NBN EN 1992-1-2.
- 2 *a* is de asafstand tot het buitenvlak (zie [Figuur 2.3](#)).
- 3 *h<sub>s</sub>* is de plaatdikte, met inbegrip van elke niet-brandbare vloerafwerkingslaag.

### 2.11 Stabiliteit en imperfecties

De invloeden van geometrische imperfecties moeten worden beschouwd in combinatie met de invloed van windbelastingen (d.w.z. niet als een afzonderlijke belastingscombinatie). Voor een globale analyse kunnen de imperfecties worden weergegeven als een scheefstand  $\theta_i$ :

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

Waarin

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

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

*l* is de gebouwhoogte in meter

*m* is het aantal verticale elementen dat bijdraagt aan de horizontale kracht in het schorende systeem

De invloed van de scheefstand mag worden weergegeven door in dwarsrichting aangrijpende krachten op ieder niveau en mag in de analyse worden toegevoegd aan die van andere belastingen (zie [Figuur 2.5](#)):

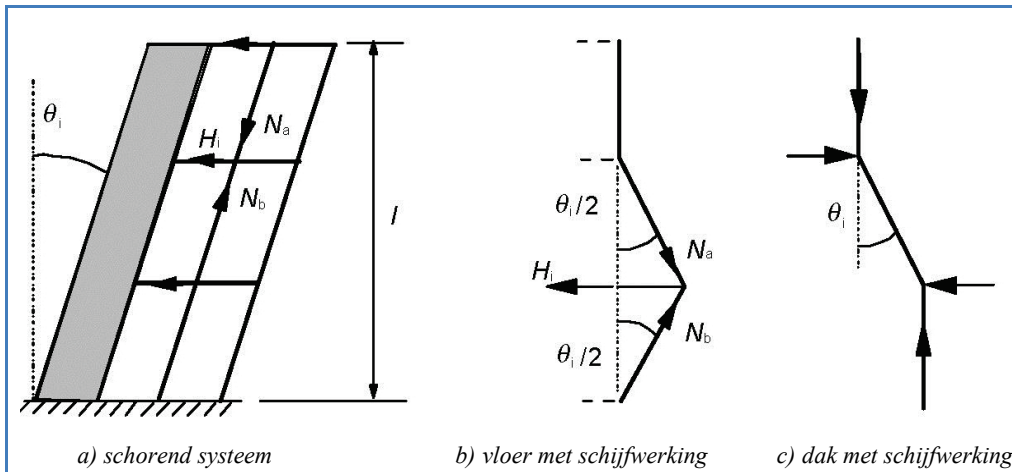
Effect op het schorende systeem:  $H_i = \theta_i (N_b - N_a)$

Effect op vloer met schijfwerking:  $H_i = \theta_i (N_b + N_a)/2$

Effect op dak met schijfwerking:  $H_i = \theta_i N_a$

met *N<sub>a</sub>* en *N<sub>b</sub>* de normaalkrachten die bijdragen aan *H<sub>i</sub>*

Figuur 2.5 Voorbeelden van de invloed van geometrische imperfecties



Meestal zijn toleranties voor imperfecties verwerkt in de partiële factoren die bij de berekening van elementen worden gebruikt. Bij kolommen daarentegen moet men het effect van imperfecties in aanmerking nemen, vergelijkbaar met het hiervoor geschetste principe, (zie [5. Kolommen](#)).

## 2.12 Scheurwijdtebeheersing

Scheurwijdten moeten worden beperkt uit het oogpunt van uiterlijk en duurzaamheid. Bij afwezigheid van specifieke eisen (bv. waterdichtheid) mogen de berekende scheurwijdten in gewapend betonelementen beperkt blijven tot 0,3 mm in alle milieu- en omgevingsklassen onder de quasi-blijvende belastingscombinatie. Voor de omgevingsklasse EI (zie [Tabel 2.6](#)), is deze grenswaarde vastgelegd op 0,4 mm teneinde een acceptabel uiterlijk te garanderen. Bij afwezigheid van specifieke eisen met betrekking tot het uiterlijk, mag deze grenswaarde minder strikt worden toegepast. De theoretische scheurwijdte kan worden berekend met de uitdrukkingen uit lid 7.3.4 van NBN EN 1992-1-1. Men kan afzien van een expliciete berekening van de scheurwijdte indien men voldoet aan de eisen van [Tabel 2.11](#), die gebaseerd is op de tabellen 7.2N en 7.3N van de Eurocode. Deze regels zijn slechts toepasbaar indien de elementen een minimumwapening bevatten volgens lid 7.3.2 van de Eurocode. Het volstaat in dit geval om te voldoen aan de voorwaarden voor de staafdiameter of aan de voorwaarden voor de staafafstand. Het is dus niet nodig om aan beide voorwaarden gelijktijdig te voldoen. In het geval de scheurvorming hoofdzakelijk veroorzaakt wordt door verhinderde vervormingen, is enkel de voorwaarde voor de staafdiameter van toepassing.

Tabel 2.11 Maximale staafdiameter of staafafstand om scheurwijdten te beperken

Staalspanning $\sigma_s$ (MPa)	$w_{\max} = 0,4$ mm		$w_{\max} = 0,3$ mm	
	Maximale staafdiameter (mm)	OF Maximale staafafstand (mm)	Maximale staafdiameter (mm)	OF Maximale staafafstand (mm)
160	40	300	32	300
200	32	300	25	250
240	20	250	16	200
280	16	200	12	150
320	12	150	10	100
360	10	100	8	50

**Opmerking**

Indien de scheurvorming wordt veroorzaakt door belastingen, wordt de staalspanning  $\sigma_s$  berekend op basis van een gescheurde doorsnede onder de quasi-blijvende belastingscombinatie. Indien geen gedetailleerde berekening wordt uitgevoerd, mag de staalspanning worden geschat met behulp van de volgende uitdrukking:

$$\sigma_s = \frac{f_{yk} m A_{s,req}}{\gamma_s n A_{s,prov} \delta}$$

met

$f_{yk}$  = karakteristieke waarde van de elasticiteitsgrens van het betonstaal

$\gamma_s$  = partiële factor voor betonstaal

$m$  = totale belasting in de quasi-blijvende combinatie

$n$  = totale belasting in de UGT combinatie

$A_{s,req}$  = hoeveelheid betonstaal vereist in de UGT

$A_{s,prov}$  = aanwezige hoeveelheid betonstaal

$\delta$  = verhouding tussen het moment na herverdeling en het moment uit een elastische analyse ( $\delta=1$  indien geen herverdeling is toegepast bij het ontwerp in de UGT)

Indien de scheurvorming wordt veroorzaakt door verhinderde vervormingen dient de staalspanning berekend te worden in de toestand onmiddellijk na scheurvorming voor de gekozen staafdiameter, hetgeen iteratief zal moeten gebeuren. De methode met nazicht van de staafafstand is niet van toepassing op dit geval.

**2.13 Referenties**

- 1 Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies*. (4 delen).
- 3 NBN EN 1990 - Eurocode: *Grondslagen van het constructief ontwerp*. 2002.
- 4 NBN EN 1991 - Eurocode 1: *Belastingen op constructies*. (10 delen).
- 5 NBN EN 1991-1-1 - Eurocode 1: *Belastingen op constructies - Deel 1-1: Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigen gewicht en opgelegde belastingen voor gebouwen*, 2002.
- 6 NBN EN 10080 - *Staal voor het wapenen van beton - Lasbaar betonstaal - Algemeen*. 2005.
- 7 NBN EN 206-1 - *Beton - Deel 1: Specificatie, eigenschappen, vervaardiging en conformiteit*. 2001.
- 8 NBN EN 1992-1-2 - Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies. Ontwerp en berekening van constructies bij brand*, 2004.
- 10 BROOKER, O. *How to design concrete structures using Eurocode 2: Getting started* (TCC/03/17). The Concrete Centre, 2005.

**Bijkomende referenties voor geprefabriceerde constructies**

- 1 NBN EN 13369 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten* + NBN B 21-600 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten – Nationale aanvulling bij NBN EN 13369*
- 2 NARAYANAN, RS - *Precast Eurocode 2 - Design Manual. British precast*, 2006.

### 3. Platen

#### 3.1 Inleiding

Een plaat is een element waarvan de kleinste afmeting in zijn vlak, groter dan of gelijk is aan 5 maal zijn totale dikte.

#### 3.2 Ontwerpen en berekenen met Eurocode 2

Dit hoofdstuk behandelt het analyseren, ontwerpen en berekenen van platen volgens Eurocode 2. Deze bevat echter geen formules of specifieke richtlijnen om de momenten en dwarskrachten te berekenen. Deze werkwijze is in overeenstemming met de Europese praktijk waarbij het gebruikelijk is dat normen principes geven, waarvan de gedetailleerde toepassing wordt beschreven in andere bronnen zoals handboeken.

Hoofdstuk [7. Vlakke plaatvloeren](#) behandelt het ontwerp van vlakke plaatvloeren.

Een [lijst met symbolen](#) betreffende de berekening van platen is gegeven op het einde van dit hoofdstuk.

#### 3.3 Het ontwerp- en rekenproces

Een procedure voor het gedetailleerd ontwerpen en berekenen van platen is weergegeven in [Tabel 3.1](#). Bij het gebruik van deze tabel wordt ervan uitgegaan dat de plaatdikte al voorafgaandelijk tijdens een predimensionering is vastgelegd. Voor meer gedetailleerde informatie omtrent de bepaling van de ontwerplevensduur, de belastingen, de materiaaleigenschappen, de analysemethodes en de minimale betondekking wordt verwezen naar hoofdstuk [2 Het begin](#).

Tabel 3.1 Ontwerp- en rekenprocedure voor platen

Stap	Taak	Bijkomende informatie	
		Hoofdstuk in deze publicatie	Norm
1	Bepaling van de ontwerplevensduur	<a href="#">2:3 Ontwerp-levensduur</a>	NBN EN 1990 ANB
2	Bepaling van de belastingen op de plaat	<a href="#">2:4 Belastingen op constructies</a>	NBN EN 1991 (10 delen) en ANB
3	Bepaling van de belastingscombinaties die van toepassing zijn	<a href="#">1.3.2 Belastingscombinaties</a>	NBN EN 1990 ANB
4	Bepaling van de belastingsschikkingen	<a href="#">2.5 Belastingsschikkingen</a>	NBN EN 1992-1-1 ANB
5	Bepaling van de duurzaamheidseisen en keuze van de sterkteklasse	<a href="#">Tabel 2.6</a>	
6	Bepaling van de betondekking nodig voor de vereiste brandweerstand	<a href="#">2.10 Ontwerpen op brandweerstand</a> en <a href="#">Tabel 3.2</a>	NBN EN 1992-1-2: Lid 5 + ANB
7	Berekening van de minimale betondekking voor duurzaamheid, brand en aanhechting	<a href="#">2.9 Nominale betondekking</a>	NBN EN 1992-1-1 en 4.4.1 + NBN EN 1992-1-2 en 5.7
8	Analyse van de constructie om de maatgevende momenten en dwarskrachten te bepalen	<a href="#">2.8 Constructief ontwerp</a> en <a href="#">Tabel 3.3</a>	NBN EN 1992-1-1 Lid 5
9	Berekening van de buigwapening	Zie <a href="#">Figuur 3.1</a>	NBN EN 1992-1-1 Lid 6.1
10	Nazicht van de doorbuiging	Zie <a href="#">Figuur 3.3</a>	NBN EN 1992-1-1 Lid 7.4
11	Controleer de dwarskrachtsterkte	Zie <a href="#">Tabel 3.7</a>	NBN EN 1992-1-1 Lid 6.2
12	Nazicht van de staafafstand en staafdiameter.	<a href="#">2.12 Scheurwijdte-beheersing</a>	NBN EN 1992-1-1 Lid 7.3

Opmerking ANB = Nationale Bijlage

### 3.4 Brandweerstand

Eurocode 2, Deel 1-2: *Ontwerp en berekening van constructies bij brand*<sup>5</sup> biedt de keuze uit geavanceerde, vereenvoudigde en op tabellen gebaseerde methoden voor het bepalen van de brandweerstand. Het gebruik van tabellen is de snelste methode voor het bepalen van de minimale afmetingen en de minimale betondekking van platen. Er moet echter rekening worden gehouden met zekere beperkingen. Nadere uitleg over de geavanceerde en vereenvoudigde methoden kan worden gevonden in gespecialiseerde literatuur.

De tabellenmethode is niet gebaseerd op de minimale betondekking maar op de nominale asafstand *a*. Dit is de afstand van het middelpunt van de hoofdwapeningsstaven tot het oppervlak van het element. Het betreft een nominale (niet een minimale) afstand, zodat de ontwerper moet verzekeren dat  $a \geq c_{nom} + \phi_{verdeelwapening} + \phi_{staaf}/2$ . De vereisten voor diverse plaattypes zijn gegeven in [Tabel 3.2](#).

Tabel 3.2 Minimale afmetingen en asafstanden voor gewapende betonplaten

Standaard-brandweerstand		Minimale afmetingen (mm)						
		Plaat dragend in één richting <sup>a,b</sup>	Plaat dragend in twee richtingen <sup>a,b,c,d</sup>		Ribben van een ribbenvloer dragend in twee richtingen <sup>e</sup> met ten minste één ingeklemde zijde			
			$l_y/l_x \leq 1,5^f$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2^f$				
REI 60	$h_s =$ $a =$	80 20	80 $10^g$	80 $15^g$	$b_{min} =$ $a =$	100 25	120 $15^g$	$\geq 200$ $10^g$
REI 90	$h_s =$ $a =$	100 30	100 $15^g$	100 20	$b_{min} =$ $a =$	120 35	160 25	$\geq 250$ $15^g$
REI 120	$h_s =$ $a =$	120 40	120 20	120 25	$b_{min} =$ $a =$	160 45	190 40	$\geq 300$ 30
REI 240	$h_s =$ $a =$	175 65	175 40	175 50	$b_{min} =$ $a =$	450 70	700 60	-

**Opmerkingen**

1 Deze tabel is afgeleid uit de tabellen 5.8 en 5.11 van NBN EN 1992-1-2. Voor vlakke plaatvloeren wordt verwezen naar [hoofdstuk 7](#).

2 De tabel is alleen van toepassing als rekening wordt gehouden met de detailleringseisen (zie opmerking 3) en als in de berekening bij normale temperatuur de herverdeling van de buigende momenten de 15 % niet overschrijdt.

3 Bij de brandweerstandsklasse R90 of hoger mag over een afstand gelijk aan  $0,3l_{eff}$  vanaf de hartlijn van elk tussensteunpunt de doorsnede van de bovenwapening niet kleiner zijn dan:

$$A_{s,req}(x) = A_{s,req}(0) (1 - 2,5(x / l_{eff}))$$

met:

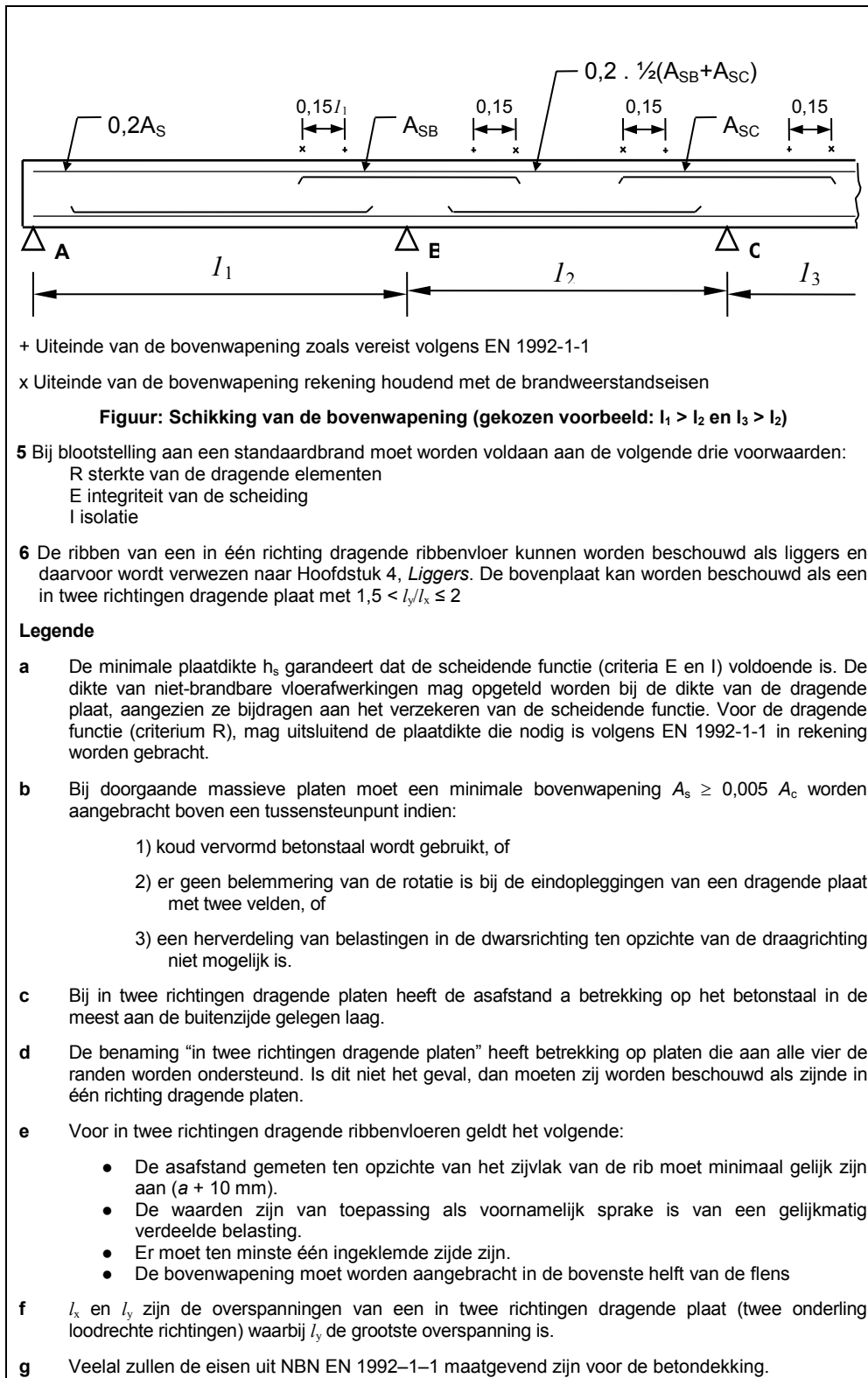
- $x$  = afstand van de beschouwde doorsnede tot de hartlijn van het steunpunt.
- $A_{s,req}(0)$  = doorsnede van de bovenwapening vereist voor een ontwerp bij normale temperatuur.
- $A_{s,req}(x)$  = minimale doorsnede van de bovenwapening vereist in de beschouwde doorsnede maar niet minder dan de hoeveelheid vereist voor een ontwerp bij normale temperatuur
- $l_{eff}$  = de grootste van de effectieve lengten van de twee aangrenzende overspanningen.

Voor doorgaande massieve platen geldt bijkomend het volgende:

- Tenminste 20 % van de bovenwapening die vereist is op de tussensteunpunten volgens NBN EN 1992-1-1 moet over alle overspanning doorgetrokken worden.
- De bovenwapening moet doorgetrokken worden over een lengte van minstens  $0,15 l_{eff}$  voorbij het punt dat vereist is volgens NBN EN 1992-1-1.
- Het vermeerderen van de hoeveelheid bovenwapening ten opzichte van deze vereist volgens NBN EN 1992-1-1 moet vermeden worden.

4 Bij voorgespannen platen moeten de asafstanden vermeld in Tabel 10, vermeerderd worden met 10 mm voor voorspanstaven en met 15 mm voor voorspanraden en -strengen.

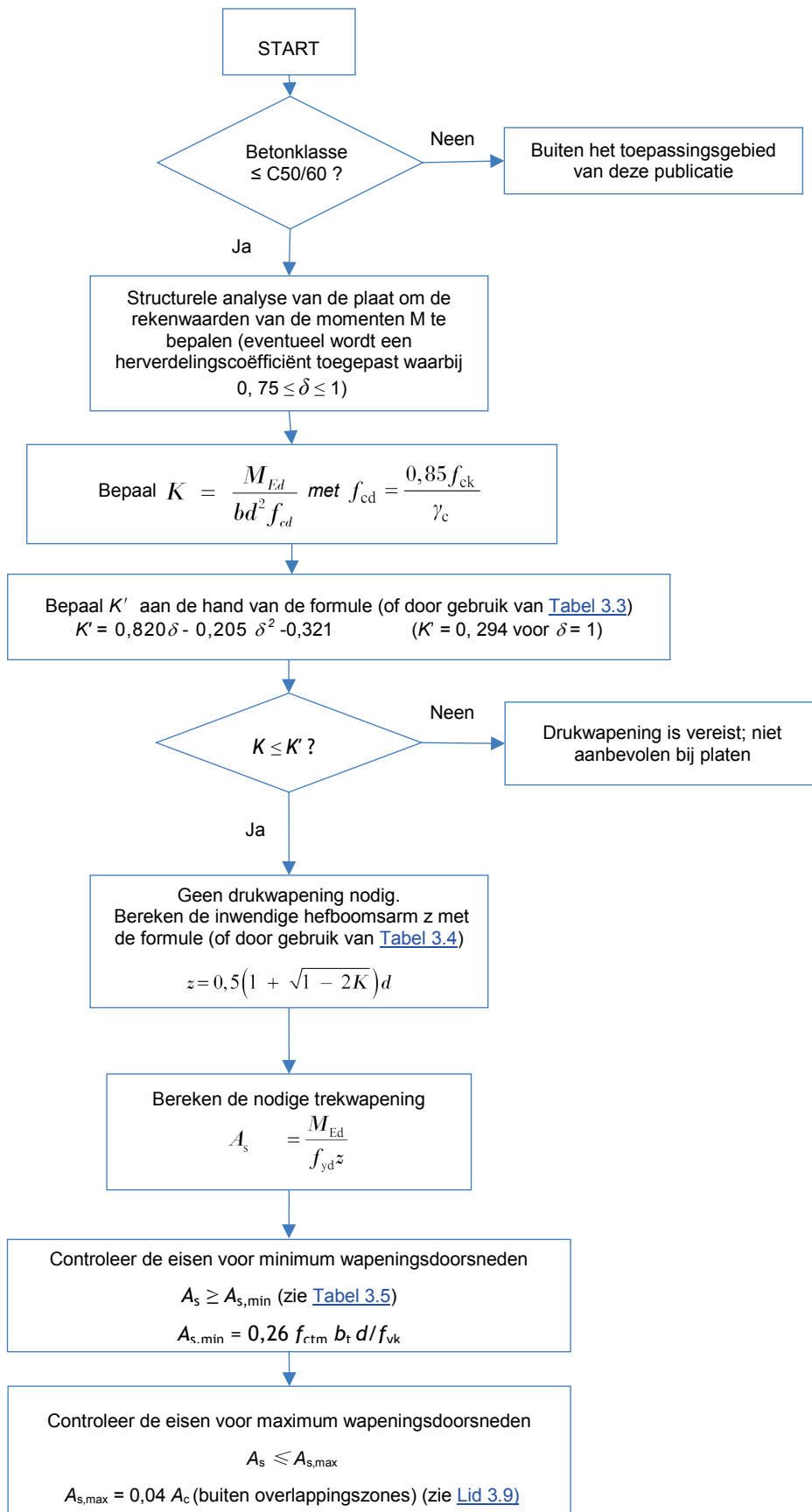




### 3.5 Buiging

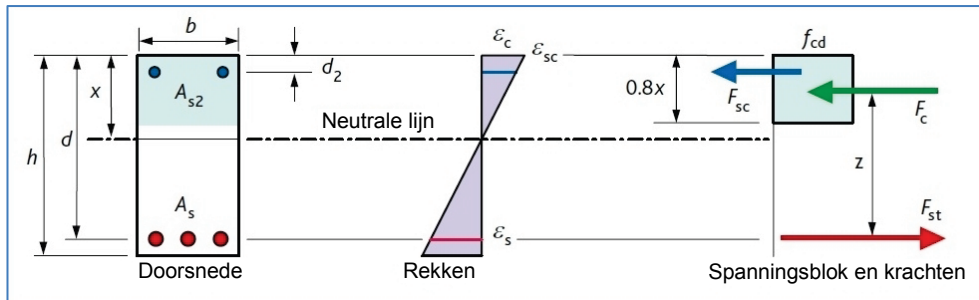
De ontwerp- en berekeningsprocedure voor buiging is weergegeven in [Figuur 3.1](#). Deze bevat formules die zijn afgeleid op basis van het vereenvoudigd rechthoekig spanningsdiagram uit Eurocode 2. Voor bijkomende informatie betreffende de berekening van ribbenvloeren of cassettenvloeren, wordt verwezen naar de [betreffende delen](#).

Figuur 3.1 Procedure voor het bereken van de benodigde buigwapening  $\alpha_{cc}$  (=0,85) en  $\gamma_c$  (=1,5)



Eurocode 2 geeft verschillende spanning-rekrelaties voor beton. Eenvoudigheidshalve is hier het rechthoekig spanningsblok toegepast (zie [Figuur 3.2](#)).

Figuur 3.2: Rechthoekig spanningsblok voor beton tot en met sterkteklasse C50/60.



De Eurocode geeft aanbevelingen voor berekeningen met sterkteklassen tot en met C90/105. Echter, voor sterkteklassen hoger dan C50/60 moet de spanning-rekrelatie worden aangepast (dit is de reden waarom deze niet worden beschouwd in dit hoofdstuk). Het is van belang erop te wijzen dat de sterkteklasse is gebaseerd op de cilinderdruksterkte en niet op de kubusdruksterkte (zo is bijvoorbeeld voor de sterkteklasse C28/35 de karakteristieke cilinderdruksterkte 28 MPa, terwijl de karakteristieke kubusdruksterkte 35 MPa is).

Tabel 3.3 Waarden van  $K'$

% herverdeling	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
Coëfficiënt $\delta$	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

Tabel 3.4 Waarden van  $z/d$

$K$	$z/d$	$K$	$z/d$	$K$	$z/d$
0,10	0,947	0,17	0,906	0,24	0,861
0,11	0,942	0,18	0,900	0,25	0,854
0,12	0,936	0,19	0,894	0,26	0,846
0,13	0,930	0,20	0,887	0,27	0,839
0,14	0,924	0,21	0,881	0,28	0,832
0,15	0,918	0,22	0,874	0,29	0,824
0,16	0,912	0,23	0,867	0,294	0,821

Tabel 3.5 Minimale wapeningsverhouding

$f_{ck}$	$f_{ctm}$	Minimale verhouding % ( $0,26f_{ctm}/f_{yk}^a$ )
25	2,6	0,13 %
30	2,9	0,15 %
35	3,2	0,17 %
40	3,5	0,18 %
45	3,8	0,20 %
50	4,1	0,21 %

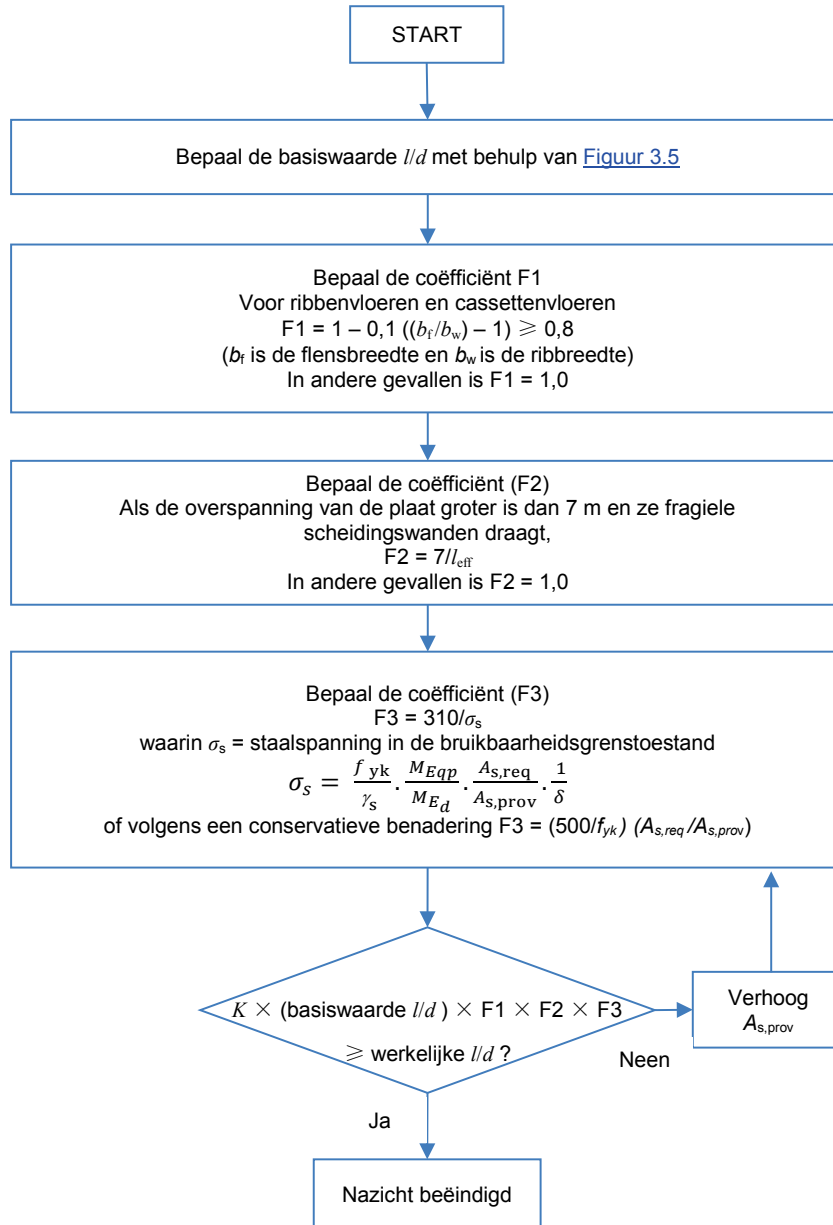
**Legende**  
a met  $f_{yk} = 500$  MPa.

### 3.6 Doorbuiging

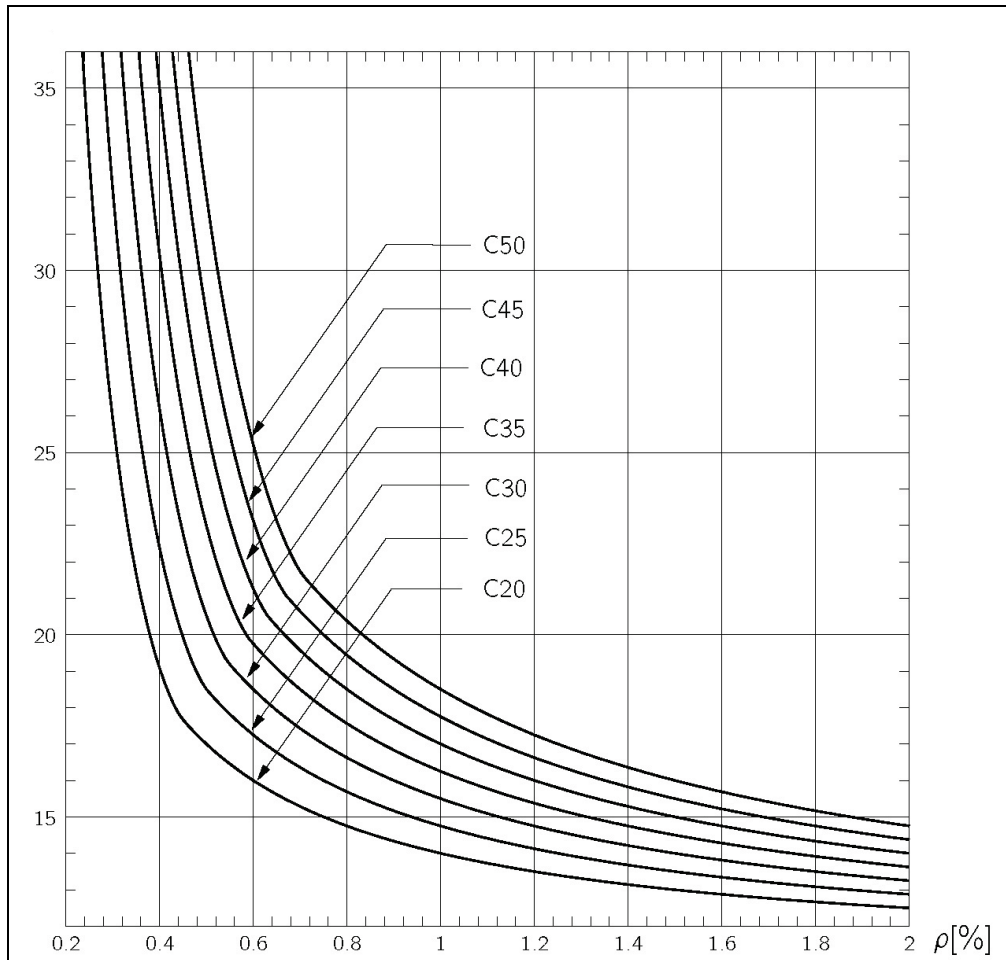
Eurocode 2 geeft twee methoden om te voldoen aan de doorbuigingseisen: ofwel op basis van grenswaarden voor de verhouding overspanning/nuttige hoogte ofwel door berekening van de theoretische doorbuiging met behulp van uitdrukkingen die in de Eurocode worden gegeven. Details van de tweede methode worden besproken in [8.8 Methodes voor de doorbuigingsberekening](#).

De procedure weergegeven in [Figuur 3.3](#) bestaat erin de verhouding overspanning/nuttige hoogte te beperken volgens de richtlijnen van lid 7.4.2 van NBN EN 1992-1-1. (zie [Figuur 3.5](#) of [Tabel 3.6](#))

Figuur 3.3 Procedure voor het nazicht van de doorbuigingen



Figuur 3.5 Basiswaarden van de verhouding overspanning/nuttige hoogte



## Opmerkingen

- 1 Voor in twee richtingen dragende platen moet het nazicht worden uitgevoerd op basis van de kleinste overspanning
- 2 De figuur gaat uit van een enkelvoudig opgelegd element ( $K=1,0$ )  
 $K=1,5$  voor een tussenveld  
 $K=1,3$  voor een eindveld  
 $K=0,4$  voor een uitkraging
- 3 De drukwapening  $\rho'$  is gelijk aan 0 genomen
- 4 De curves zijn gebaseerd op de volgende uitdrukkingen met  $\rho_0 = 0,001\sqrt{f_{ck}}$  :

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

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

Tabel 3.6 Basiswaarde van de verhouding overspanning / nuttige hoogte voor platen zonder drukwapening

Wapeningsverhouding, $\rho$	$f_{ck}$						
	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
$\rho_0$	0,45 %	0,50 %	0,55 %	0,59 %	0,63 %	0,67 %	0,71 %

**Voorwaarden**

De waarden van de verhouding overspanning / nuttige hoogte werden berekend volgens de formules (7.16.a) en (7.16.b) van EN 1992-1-1, voor  $K = 1$  (enkelvoudige oplegging) en  $\rho' = 0$  (geen drukwapening).

$K=1,5$  voor een tussenveld  
 $K=1,3$  voor een eindveld  
 $K=0,4$  voor een uitkraging

Voor in twee richtingen dragende platen heeft de verhouding overspanning / nuttige hoogte betrekking op de kleinste overspanning

### 3.7 Ontwerpen op dwarskracht

Het is niet gebruikelijk dat een plaat dwarskrachtwapening bevat. Daartoe is het nodig dat de afschuifweerstand zonder dwarskrachtwapening ( $v_{Rd,c}$  – zie [Tabel 3.7](#)) groter is dan de rekenwaarde van de optredende schuifspanning ( $v_{Ed} = V_{Ed}/(bd)$ ). Als dwarskrachtwapening vereist is, zoals bijvoorbeeld in ribben van een ribbenvloer, wordt verwezen naar hoofdstuk [4 Liggers](#).

In het geval van puntlasten of kolommen moet een nazicht aan pons worden uitgevoerd.

Tabel 3.7  $\nu_{Rd,c}$  afschuifweerstand van elementen zonder dwarskrachtwapening (MPa)

$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,55	0,51	0,48	0,44	0,41	0,40	0,39	0,38
0,50 %	0,65	0,61	0,59	0,55	0,53	0,51	0,49	0,46
0,75 %	0,74	0,70	0,68	0,64	0,60	0,59	0,55	0,54
1,00 %	0,81	0,78	0,74	0,70	0,66	0,64	0,61	0,59
1,25 %	0,88	0,83	0,80	0,75	0,71	0,69	0,66	0,64
1,50 %	0,94	0,89	0,85	0,80	0,76	0,74	0,70	0,68
1,75 %	0,99	0,93	0,89	0,84	0,80	0,78	0,74	0,71
2,00 %	1,03	0,98	0,94	0,88	0,84	0,81	0,78	0,74

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,61	0,58	0,54	0,49	0,46	0,44	0,41	0,40
0,50 %	0,70	0,66	0,64	0,60	0,56	0,55	0,53	0,50
0,75 %	0,80	0,75	0,73	0,68	0,65	0,63	0,60	0,58
1,00 %	0,88	0,83	0,80	0,75	0,71	0,69	0,66	0,64
1,25 %	0,95	0,90	0,86	0,81	0,78	0,75	0,71	0,69
1,50 %	1,00	0,95	0,91	0,86	0,83	0,79	0,75	0,73
1,75 %	1,06	1,00	0,96	0,90	0,86	0,84	0,79	0,76
2,00 %	1,10	1,05	1,00	0,94	0,90	0,88	0,83	0,80

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,68	0,63	0,59	0,54	0,50	0,48	0,44	0,43
0,50 %	0,74	0,70	0,68	0,64	0,60	0,59	0,55	0,54
0,75 %	0,85	0,80	0,78	0,73	0,69	0,66	0,64	0,61
1,00 %	0,94	0,89	0,85	0,80	0,76	0,74	0,70	0,68
1,25 %	1,00	0,95	0,91	0,86	0,83	0,79	0,75	0,73
1,50 %	1,06	1,01	0,98	0,91	0,88	0,84	0,80	0,78
1,75 %	1,13	1,06	1,03	0,96	0,91	0,89	0,84	0,81
2,00 %	1,18	1,11	1,06	1,00	0,96	0,93	0,88	0,85

$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,74	0,68	0,64	0,58	0,54	0,51	0,48	0,45
0,50 %	0,78	0,74	0,71	0,66	0,64	0,61	0,59	0,56
0,75 %	0,89	0,85	0,81	0,76	0,73	0,70	0,66	0,65
1,00 %	0,99	0,93	0,89	0,84	0,80	0,78	0,74	0,71
1,25 %	1,06	1,00	0,96	0,90	0,86	0,84	0,79	0,76
1,50 %	1,13	1,06	1,03	0,96	0,91	0,89	0,84	0,81
1,75 %	1,19	1,13	1,08	1,01	0,96	0,94	0,89	0,85
2,00 %	1,24	1,18	1,13	1,05	1,01	0,98	0,93	0,90

$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,79	0,73	0,68	0,61	0,58	0,55	0,51	0,49
0,50 %	0,81	0,78	0,74	0,70	0,66	0,64	0,61	0,59
0,75 %	0,94	0,89	0,85	0,80	0,76	0,74	0,70	0,68
1,00 %	1,03	0,98	0,94	0,88	0,84	0,81	0,78	0,74
1,25 %	1,10	1,05	1,00	0,94	0,90	0,88	0,83	0,80
1,50 %	1,18	1,11	1,06	1,00	0,96	0,93	0,88	0,85
1,75 %	1,24	1,18	1,13	1,05	1,01	0,98	0,93	0,90
2,00 %	1,29	1,23	1,18	1,10	1,05	1,03	0,98	0,94

$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,83	0,76	0,71	0,65	0,61	0,59	0,54	0,51
0,50 %	0,85	0,80	0,78	0,73	0,69	0,66	0,64	0,61
0,75 %	0,98	0,91	0,88	0,83	0,79	0,76	0,73	0,70
1,00 %	1,06	1,01	0,98	0,91	0,88	0,84	0,80	0,78
1,25 %	1,15	1,09	1,05	0,98	0,94	0,91	0,86	0,84
1,50 %	1,23	1,16	1,11	1,04	1,00	0,96	0,91	0,89
1,75 %	1,29	1,21	1,16	1,10	1,05	1,01	0,96	0,93
2,00 %	1,35	1,28	1,23	1,15	1,10	1,06	1,01	0,98

$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,88	0,81	0,76	0,69	0,65	0,61	0,56	0,54
0,50 %	0,88	0,83	0,80	0,75	0,71	0,69	0,66	0,64
0,75 %	1,00	0,95	0,91	0,86	0,83	0,79	0,75	0,73
1,00 %	1,10	1,05	1,00	0,94	0,90	0,88	0,83	0,80
1,25 %	1,19	1,13	1,09	1,01	0,98	0,94	0,89	0,86
1,50 %	1,26	1,20	1,15	1,08	1,04	1,00	0,95	0,91
1,75 %	1,34	1,26	1,21	1,14	1,09	1,05	1,00	0,96
2,00 %	1,39	1,33	1,26	1,19	1,14	1,10	1,05	1,01

### **3.8 In twee richtingen dragende platen**

Eurocode 2 geeft geen specifieke richtlijnen voor het berekenen van de buigende momenten in platen dragend in twee richtingen. Voor het bepalen van die buigende momenten kan gebruik worden gemaakt van een geschikte methode uit Hoofdstuk 5 van NBN EN 1992-1-1 of van rekenprogramma's of tabellen die op deze theorieën gebaseerd zijn.

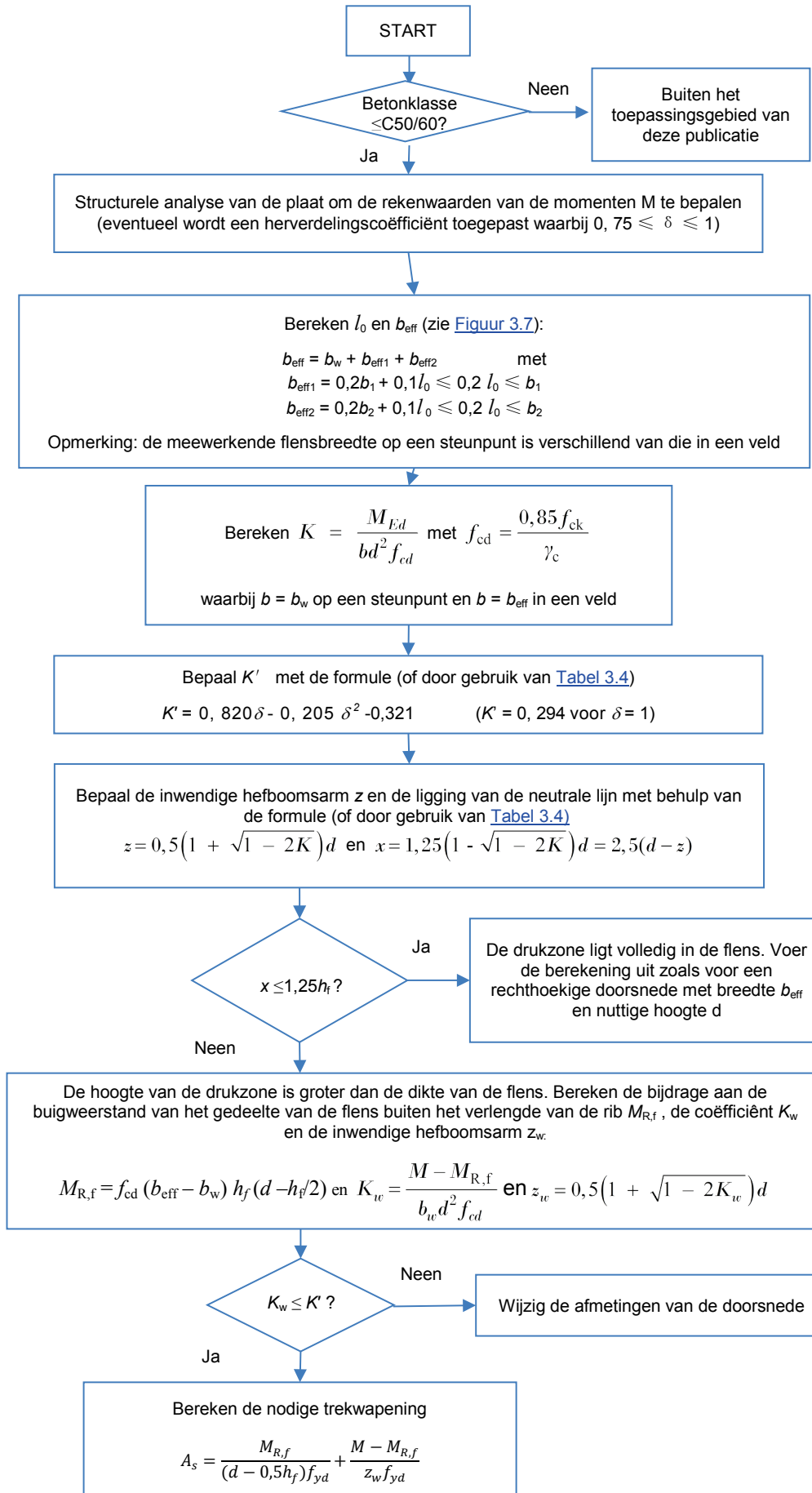
#### **3.8.1 Ribbenvloeren en cassettenvloeren**

De huidige praktijk voor het berekenen van krachten in ribben- en cassettenvloeren mag ook worden gebruikt voor het ontwerpen en berekenen volgens Eurocode 2.

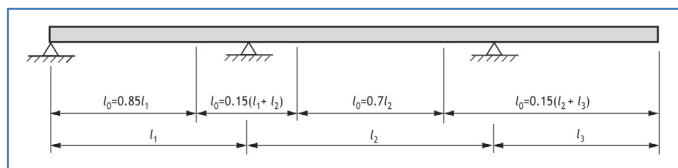
Eerst wordt de ligging van de neutrale lijn bepaald waarna de vereiste hoeveelheid wapening kan worden berekend en dit afhankelijk van de ligging van de neutrale lijn in de flens of in de rib (zie het stroomdiagram in [Figuur 3.6](#)). In sommige gevallen (bv. flens met geringe dikte) kan het noodzakelijk zijn om de afschuiving tussen flens en lijfplaat (scheerkracht) te controleren volgens lid 6.2.4 van NBN EN 1992-1-1.



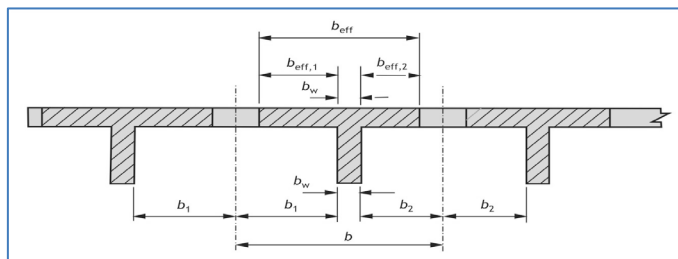
Figuur 3.6 Procedure voor het berekenen van de buigweerstand van een T-doorsnede ( $\gamma_c = 1,5$ )



Figuur 3.7 Definitie van  $l_0$  voor de berekening van de meewerkende flensbreedte



Figuur 3.8 Parameters voor de bepaling van de meewerkende flensbreedte



### 3.9 Regels voor staafafstanden en voor de vereiste hoeveelheid betonstaal

#### 3.9.1 Minimale doorsnede van de hoofdwapening

De minimale doorsnede van de buigwapening in de hoofdraagricting is gelijk aan  $A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk} \geq 0,0013 b_t d$ , met  $b_t$  = de breedte van de getrokken zone (zie Tabel 3.5). Voor een T-doorsnede met de flens onderworpen aan druk, wordt enkel de breedte van het lijf in rekening gebracht bij het berekenen van  $b_t$ .

OPMERKING: De minimale wapeningshoeveelheid die nodig is voor de beheersing van scheurvorming kan groter zijn dan deze zoals hierboven bepaald.

#### 3.9.2 Minimale doorsnede van de secundaire wapening (verdeelwapening)

De minimale doorsnede van de dwarswapening is 20 % van de langse hoofdwapening. In zones in de buurt van opleggingen is geen dwarswapening nodig indien geen buigend moment in dwarsrichting optreedt.

#### 3.9.3 Maximale wapeningsdoorsnede

Buiten gebieden met overlappings mogen de trek- of drukwapeningsdoorsneden niet groter zijn dan  $A_{s,max} = 0,04 A_c$ .

#### 3.9.4 Minimale staafafstand

De minimale afstand tussen twee wapeningsstaven is gelijk zijn aan de grootste waarde van:

- de diameter van de wapeningsstaaf
- de grootste korrelafmeting van het toeslagmateriaal plus 5 mm
- 20 mm.

#### 3.9.5 Maximale staafafstand

Voor platen gelden de volgende maximale staafafstanden:

- Voor de hoofdwapening: 2,5h maar niet meer dan 400 mm.
- Voor de dwarswapening: 3h maar niet meer dan 450 mm

Een uitzondering wordt gemaakt voor gebieden met geconcentreerde belastingen of gebieden met maximaal moment:

- Voor de hoofdwapening: 1,5h maar niet meer dan 250 mm
- Voor de dwarswapening: 2,5h maar niet meer dan 400 mm

met h de plaatdikte.

Bij platen met een dikte  $h$  van hoogstens 200 mm onderworpen aan buiging zonder significante trekkracht en waarbij aan de vorige eisen is voldaan, is het niet nodig om bijkomend een scheurwijdtecontrole uit te voeren. Bij platen met een dikte groter dan 200 mm kunnen kleinere staafafstanden nodig zijn voor de scheurwijdtebeheersing. Hiertoe wordt verwezen naar lid 7.3.3 van NBN EN 1992-1-1 of naar [2.12 Scheurwijdtebeheersing](#).

### 3.10 Selectie van symbolen

Symbol	Omschrijving	Waarde
$A_c$	Oppervlakte van de betondoorsnede	$bh$
$A_s$	Oppervlakte van de doorsnede van betonstaal	
$A_{s2}$	Oppervlakte van de doorsnede van betonstaal in de drukzone	
$A_{s,prov}$	Oppervlakte van de doorsnede van het aanwezige ("provided") betonstaal	
$A_{s,req}$	Oppervlakte van de doorsnede van het vereiste ("required") betonstaal	
$b_{eff}$	Meewerkende flensbreedte	
$b_t$	Gemiddelde breedte van de trekzone	
$b_{min}$	Breedte van een ligger of rib / lijf	
$b_w$	Breedte van het lijf van een rib	
$d$	Nuttige hoogte van een dwarsdoorsnede	
$d_2$	Afstand van het zwaartepunt van de drukwapening tot de meest gedrukte rand van de dwarsdoorsnede	
$f_{cd}$	Rekenwaarde van de betondruksterkte	$\alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$
$f_{ck}$	Karakteristieke cilinderdruksterkte van beton	
$f_{ctm}$	Gemiddelde axiale betontreksterkte	$0,30 f_{ck}^{2/3}$ voor $f_{ck} \leq C50/60$ (Tabel 3.1, Eurocode 2)
$h_f$	Flensdikte	
$h_s$	Plaatdikte	
$K$	Factor om verschillende constructieve systemen in rekening te brengen	
$l_{eff}$	Effectieve overspanning van een constructie-element	Zie lid 5.3.2.2 (1) van NBN EN 1992-1-1
$l_0$	Afstand tussen twee momentennulpunten	
$l/d$	Verhouding overspanning/nuttige hoogte	
$l_x, l_y$	Overspanningen van een in twee richtingen dragende plaat	
$M$	Rekenwaarde van het moment in de UGT	
$M_{E,qp}$	Rekenwaarde van het moment in de BGT onder de quasi-blijvende belastingscombinatie	
$x$	Hoogte van de drukzone in de UGT	
$x_{max}$	Grenswaarde voor de hoogte van de drukzone	$0,8(\delta - 0,44)d$ met $\delta \leq 1,0$
$z$	Inwendige hefboomsarm	
$\alpha_{cc}$	Coëfficiënt voor het in rekening brengen van langetermijnvloeden op de druksterkte en van ongunstige effecten veroorzaakt door de manier waarop de belasting is aangebracht	0,85 voor buiging en 1,0 voor dwarskracht
$\delta$	Verhouding tussen het buigend moment na herverdeling en het buigend moment uit een elastische berekening	
$\gamma_m$	Partiële factor voor materiaaleigenschappen	1,15 voor de wapening ( $\gamma_s$ ) 1,5 voor het beton ( $\gamma_c$ )
$\rho_0$	Referentie wapeningsverhouding	$0,001 \sqrt{f_{ck}}$
$\rho$	Wapeningsverhouding van de trekwapening in het veldmidden (of aan het steunpunt bij een uitkraging) voor het opnemen van de rekenwaarde van het aangrijpend buigend moment	$\frac{A_s}{bd}$
$\rho'$	Wapeningsverhouding van de drukwapening in het veldmidden (of aan het steunpunt bij een uitkraging) voor het opnemen van de rekenwaarde van het aangrijpend buigend moment	$\frac{A_{s2}}{bd}$

### 3.11 Referenties

- 1 NBN EN 1992-1-1 - *Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1 Algemene regels en regels voor gebouwen*, NBN 2004.
- 5 NBN EN 1992-1-2 - *Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies - Ontwerp en berekening van constructies bij brand*, NBN 2004.
- 8 MOSS, R M & BROOKER, O. *How to design concrete structures using Eurocode 2: Slabs*. The Concrete Centre, 2006.

#### Bijkomende referenties voor geprefabriceerde constructies

- 1 NBN EN 13224 - *Geribde vloerelementen* +  
NBN B 21-603 - *Geprefabriceerde betonproducten - Geribde vloerelementen - Nationale aanvulling bij NBN EN 13224*
- 2 NBN EN 13747+A2 - *Breedplaten voor vloersystemen* +  
NBN B 21-606 - *Geprefabriceerde betonproducten - Breedplaten voor vloersystemen - Nationale aanvulling bij NBN EN 13747+A2*
- 3 NBN EN 15037-1 - *Combinatievloeren – Balken* +  
NBN B 21-616 - *Geprefabriceerde betonproducten - Combinatievloeren - Deel 1: Balken - Nationale aanvulling bij NBN EN 15037-1*
- 4 NBN EN 15037[-2 tot -5] - *Combinatievloeren - Betonnen vulelementen* +  
NBN B 21-006 - *Geprefabriceerde betonproducten - Combinatievloeren - Deel 2: Betonnen vulelementen - Nationale aanvulling bij NBN EN 15037-2+A1*
- 5 NBN EN 13693 - *Bijzondere dakelementen*
- 6 NBN EN 13369 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten* +  
NBN B 21-600 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten – Nationale aanvulling bij NBN EN 13369*

## 4. Liggers

### 4.1 Ontwerp en de berekening volgens Eurocode 2

Dit hoofdstuk behandelt het ontwerp en de berekening van betonliggers volgens Eurocode 2<sup>1</sup>. De indeling en de inhoud van Eurocode 2 kunnen voor sommige ontwerpers misschien ongebruikelijk overkomen. Eurocode 2 bevat immers geen afgeleide formules of specifieke methodes voor het bepalen van momenten en dwarskrachten. Dit is in overeenstemming met de gangbare praktijk in Europa, waarbij de principes in de normen vastgelegd worden en waarbij voor de gedetailleerde toepassing verwezen wordt naar andere bronnen zoals handboeken.

Het eerste hoofdstuk [1. Inleiding tot de Eurocodes](#) geeft een algemeen overzicht van de Eurocodes, inclusief de terminologie.

Een lijst met symbolen gerelateerd aan het ontwerpen en berekenen van liggers is opgenomen in [4.9 Selectie van symbolen](#).

### 4.2 Ontwerp- en rekenprocedure

Een procedure voor het gedetailleerd ontwerpen en berekenen van liggers, is weergegeven in [Tabel 4.1](#). In deze tabel wordt er van uitgegaan dat de afmetingen van de ligger al eerder tijdens een predimensionering zijn vastgelegd. Gedetailleerde richtlijnen voor het bepalen van de ontwerplevensduur, de belastingen, de materiaaleigenschappen, de analysemethoden en de minimale betondekking voor duurzaamheid kan worden gevonden in hoofdstuk [2 Het begin](#).

Tabel 4.1 Ontwerp- en rekenprocedure voor liggers

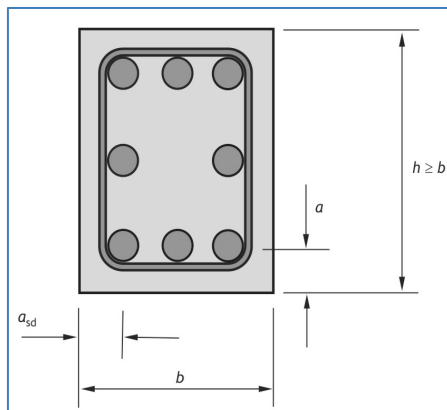
Stap	Taak	Nadere informatie	
		Hoofdstuk in deze publicatie	Norm
1	Bepaling van de ontwerplevensduur	<a href="#">2.3 Ontwerplevensduur</a>	NBN EN 1990 ANB
2	Bepaling van de belastingen op de ligger	<a href="#">2.4 Belastingen op constructies</a>	NBN EN 1991 (10 delen) en ANB
3	Bepaling van de belastingscombinaties	<a href="#">1.3.2 Belasting-combinaties</a>	NBN EN 1990 ANB
4	Bepaling van de belastingschikkingen	<a href="#">2.5 Belasting-schikkingen</a>	NBN EN 1992–1–1 ANB
5	Keuze van de duurzaamheidseisen vast en een betonsterkteklasse	<a href="#">Tabel 2.6</a>	
6	Controle van de eisen voor de betondekking benodigd voor de vereiste brandweerstand	<a href="#">2.10 Ontwerpen op brandweerstand</a> en <a href="#">Tabel 4.2</a>	NBN EN 1992–1-2 Lid 5
7	Berekening van de nominale betondekking voor duurzaamheid, brand en aanhechting	<a href="#">2.9 Nominale betondekking</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 4.4.1 + ANB
8	Analyse van de constructie om de maatgevende momenten en dwarskrachten te bepalen	<a href="#">2.8 Constructief ontwerp</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 5
9	Berekening van de buigwapening	Zie <a href="#">Figuur 4.2</a> en <a href="#">Figuur 4.11</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 6.1
10	Nazicht van de doorbuigingen	Zie <a href="#">Figuur 4.6</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 7.4
11	Nazicht van de dwarskrachtweerstand	Zie <a href="#">Tabel 4.7</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 6.2
12	Nazicht van de staafafstand en de staafdiameter	<a href="#">4.8.5 Scheurwijdte-beheersing</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 7.3

### 4.3 Brandweerstand

Eurocode 2, Deel 1-2 - *Ontwerp en berekening van constructies bij brand*<sup>4</sup> biedt de keuze uit geavanceerde, vereenvoudigde en op tabellen gebaseerde methoden voor de bepaling

van de brandweerstand. Het gebruik van tabellen is de snelste methode voor de bepaling van de minimale afmetingen en de minimale betondekking van liggers, waarbij echter moet rekening gehouden worden met bepaalde beperkingen van deze methode. Nadere uitleg over de geavanceerde en vereenvoudigde methoden kan worden verkregen uit gespecialiseerde literatuur. De tabellenmethode is niet gebaseerd op de minimale betondekking maar op de nominale asafstand  $a$  (zie [Figuur 4.1](#)). Dit is de afstand van het middelpunt van de hoofdwapeningsstaven tot het boven- of ondervlak van het element.

Figuur 4.1 Dwarsdoorsnede van een constructie-element met aanduiding van de asafstanden  $a$  en  $a_{sd}$



Note

Opmerking

Het betreft een nominale (en niet een minimale) afstand. De ontwerper moet verzekeren dat  $a \geq c_{nom} + \phi_{beugel} + \phi_{staaf}/2$  en  $a_{sd} = a + 10$  mm, waarbij  $a_{sd}$  de asafstand is ten opzichte van het zijvlak.

[Tabel 4.2](#) geeft de minimale afmetingen van liggers die vereist zijn om te voldoen aan de standaard brandweerstandsklassen.

Tabel 4.2 Minimale afmetingen en asafstanden voor gewapend beton liggers met betrekking tot brandweerstand

Standaard brandweerstand	Minimale afmetingen (mm)									
	Mogelijke combinaties van $a$ en $b_{min}$ met $a$ de gemiddelde asafstand en $b_{min}$ de breedte van de ligger									Lijfdikte $b_w$
	Niet doorgaande liggers				Doorgaande liggers				Liggers	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
R 30	$b_{min} =$	80	120	160	200	80	160			80
	$a =$	25	20	15 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>	15 <sup>a</sup>	12 <sup>a</sup>			
R 60	$b_{min} =$	120	160	200	300	120	200			100
	$a =$	40	35	30	25	25	12 <sup>a</sup>			
R 90	$b_{min} =$	150	200	300	400	150	250			100
	$a =$	55	45	40	35	35	25			
R 120	$b_{min} =$	200	240	300	500	200	300	450	500	120
	$a =$	65	60	55	50	45	35	35	30	
R 240	$b_{min} =$	280	350	500	700	280	500	650	700	160
	$a =$	90	80	75	70	75	60	60	50	

**Opmerkingen**

- 1 Deze tabel is ontleend aan NBN EN 1992-1-2, tabellen 5.5 en 5.6.
- 2 De asafstand,  $a_{sd}$ , van een hoekstaaf tot een zijvlak van een ligger moet, voor balken met één wapeningslaag, gelijk zijn aan  $a + 10$  mm behalve indien  $b_{min}$  groter is dan de waarden vermeld in de kolommen C en F.
- 3 De tabel is enkel van toepassing indien rekening is gehouden met de detailleringseisen (zie opmerking 4) en als in een berekening bij normale temperaturen de herverdeling van de buigende momenten de 15 % niet overschrijdt.
- 4 Bij de brandweerstandsklassen R90 of hoger mag over een afstand gelijk aan  $0,3l_{eff}$  vanaf de hartlijn van elk tussensteunpunt de doorsnede van de bovenwapening niet kleiner zijn dan:

$$A_{s,req}(x) = A_{s,req}(0) (1 - 2,5(x/l_{eff}))$$

met:

$x$  = afstand van de beschouwde doorsnede tot de hartlijn van het steunpunt

$A_{s,req}(0)$  = doorsnede van de bovenwapening vereist voor een ontwerp bij normale temperatuur

$A_{s,req}(x)$  = doorsnede van de bovenwapening vereist in de beschouwde doorsnede maar niet minder dan de hoeveelheid vereist voor een ontwerp bij een normale temperatuur

$l_{eff}$  = de grootste van de effectieve lengten van de twee aangrenzende overspanningen.

- 5 Voor de brandweerstandsklassen R 120 – R 240 moet de breedte van de ligger bij het eerste tussensteunpunt minimaal gelijk zijn aan de waarde vermeld in kolom F indien de beide volgende voorwaarden van toepassing zijn:

a geen inklemming aan een eindsteunpunt; en

b voor de optredende dwarskracht bij normale temperatuur geldt  $V_{Ed} > 0,67 V_{Rd,max}$

- 6 Voor balken met veranderlijke breedte van de lijfplaat, wordt  $b_{min}$  bepaald op het gemiddeld niveau van de getrokken wapening
- 7 Voor voorgespannen balken moeten de asafstanden uit de tabel vermeerderd worden met 10 mm voor voorspanstaven en met 15 mm voor voerspandraden en –strengen. In het laatste geval moet  $b_{min}$  met 40 mm vermeerderd worden.

**Symbolen**

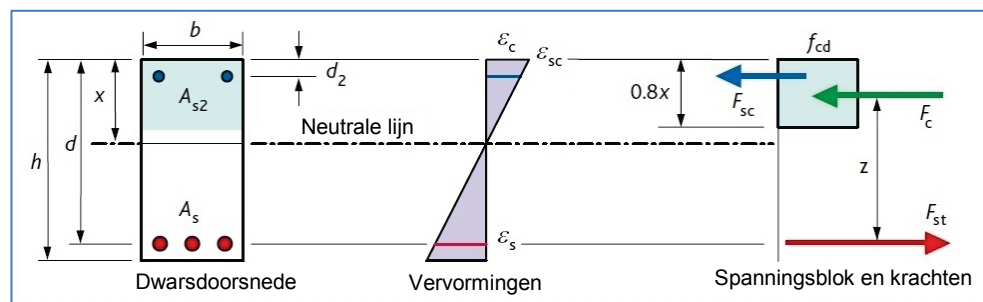
- a Veelal zullen de eisen uit NBN EN 1992-1-1 maatgevend zijn voor de betondekking.

**4.4 Buiging**

De ontwerp- en rekenprocedure voor buiging is weergegeven in [Figuur 4.2](#) waarbij de formules zijn afgeleid op basis van het vereenvoudigd rechthoekig spanningsdiagram uit Eurocode 2.

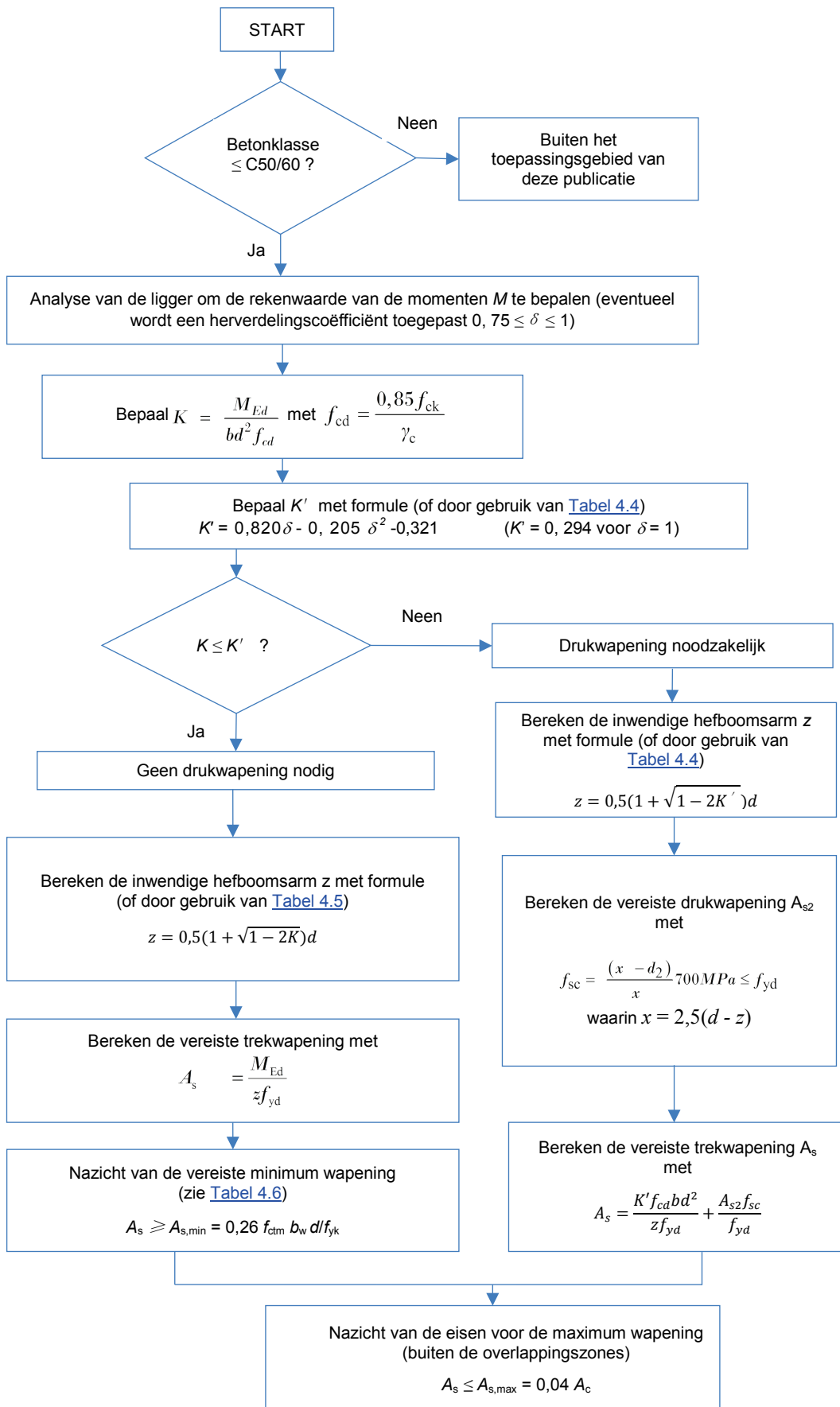
Eurocode 2 geeft verschillende spanning-rekdiagrammen voor beton. Voor het gemak van toepassing, wordt hier gebruik gemaakt van het vereenvoudigd rechthoekig spanningsblok (zie [Figuur 4.3](#)).

Figuur 4.3: Rechthoekig spanningsdiagram voor beton tot en met sterkteklasse C50/60.



Eurocode 2 geeft aanbevelingen voor de berekening tot en met de betonsterkteklasse C90/105. Evenwel moet voor beton met een sterkteklasse hoger dan C50/60, het spanning-rekdiagram worden aangepast (deze sterkteklassen vallen buiten het toepassingsgebied van dit hoofdstuk).

Figuur 4.2 Procedure voor de bepaling van de vereiste hoeveelheid buigwapening voor rechthoekige doorsneden ( $\gamma_c = 1,5$ )





Tabel 4.4 Waarden voor  $K'$ 

Herverdelingsverhouding	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
Coëfficiënt $\delta$	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
Waarden voor $K'$	0,294	0,273	0,251	0,228	0,204	0,179	0,153

Tabel 4.5  $z/d$  voor een rechthoekige doorsnede

$K$	$z/d$	$K$	$z/d$	$K$	$z/d$
0,10	0,947	0,17	0,906	0,24	0,861
0,11	0,942	0,18	0,900	0,25	0,854
0,12	0,936	0,19	0,894	0,26	0,846
0,13	0,930	0,20	0,887	0,27	0,839
0,14	0,924	0,21	0,881	0,28	0,832
0,15	0,918	0,22	0,874	0,29	0,824
0,16	0,912	0,23	0,867	0,294	0,821

Tabel 4.6 Minimale vereiste wapeningsverhouding

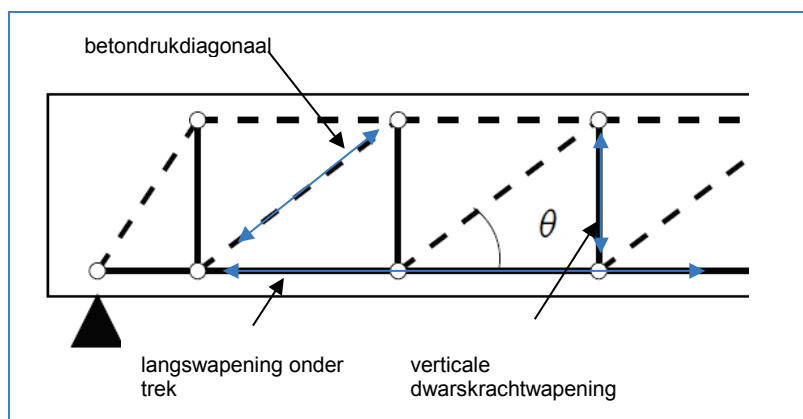
$f_{ck}$	$f_{ctm}$	Minimale wapeningsverhouding % ( $0,26f_{ctm}/f_{yk}^a$ )
25	2,6	0,13 %
30	2,9	0,15 %
35	3,2	0,17 %
40	3,5	0,18 %
45	3,8	0,20 %
50	4,1	0,21 %

**Legende**  
a met  $f_{yk} = 500$  MPa.

#### 4.5 Dwarskracht

In Eurocode 2 wordt de methode met drukdiagonalen met veranderlijke hellingshoek gebruikt voor het nazicht van de dwarskrachtweerstand. In deze methode wordt de dwarskrachtweerstand berekend op basis van een plastisch rekenmodel dat gevormd wordt door op druk belaste betondiagonalen en op trek belaste dwarskrachtwapening.

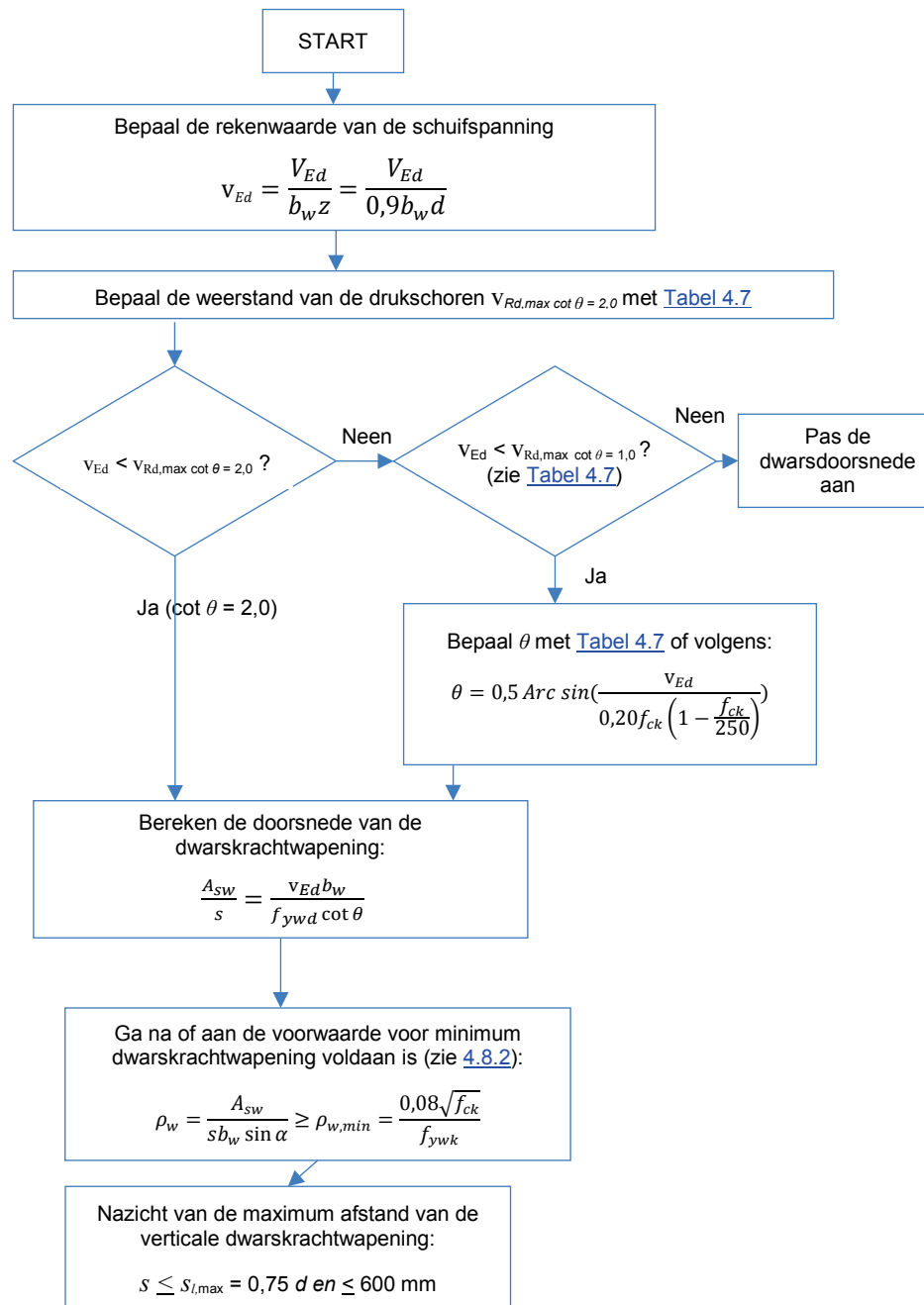
Figuur 4.4 Methode met gehelde betondrukdiagonaal



De hellingshoek van de betondiagonaal (zie [Figuur 4.4](#)) kan gekozen worden tussen de grenswaarden  $1 \leq \cot \theta \leq 2$ , teneinde de hoeveelheid dwarskrachtwapening te optimaliseren waarbij ervoor gezorgd wordt dat de druksterkte van de diagonalen niet wordt overschreden. De procedure voor de bepaling van de dwarskrachtsterkte is weergegeven in [Figuur 4.5](#). De dwarskracht is er uitgedrukt onder de vorm van een gemiddelde schuifspanning en niet als een kracht. Als dwarskrachtwapening vereist is, moet de hellingshoek van de drukdiagonalen zo worden berekend dat de hoeveelheid beugels minimaal is, er tevens rekening mee houdend dat het beton van de drukschoren niet verbrijzelt. Voor gebruikelijke

liggers en wanneer de aangrijpende dwarskracht niet te groot is, zal de minimale helling van toepassing zijn die overeenstemt met de bovengrens  $\cot \theta = 2$  of  $\theta = 26,56^\circ$ . Voor de betonsterkteklasse C30/37 zal de helling van de drukdiagonaal alleen dan groter zijn dan  $26,56^\circ$  als de schuifspanning groter is dan 4,22 MPa (zie Tabel 4.7). Indien de schuifspanning zeer groot is, kan het noodzakelijk zijn om de om de waarde van  $\cot \theta$  te verminderen (toename van de hoek  $\theta$ ) teneinde te vermijden dat de druksterkte van de drukschoren  $V_{Rd,max}$  overschreden wordt. De maximale waarde van  $V_{Rd,max}$  wordt bekomen voor  $\cot \theta = 1$  ( $\theta = 45^\circ$ ). Boven deze waarde dienen de afmetingen van het lijf aangepast te worden of dient men een hogere betonsterkteklasse aan te nemen.

Figuur 4.5 Procedure voor het bepalen van de verticale dwarskrachtwapening



Tabel 4.7 Minimale en maximale schuifspanning ( $V_{Rd,max}/(b_w z)$ ) die kan opgenomen worden door de drukschoren

$f_{ck}$	$V_{Rd,max}$ (MPa)						$\nu$
	$\theta = 26,57^\circ$ <b>cot<math>\theta = 2</math></b>	29,05° <b>1,8</b>	32,01° <b>1,6</b>	35,54° <b>1,4</b>	39,81° <b>1,2</b>	45° <b>1,0</b>	
<b>20</b>	2,94	3,12	3,31	3,48	3,62	3,68	<b>0,552</b>
<b>25</b>	3,60	3,82	4,04	4,26	4,43	4,50	<b>0,540</b>
<b>30</b>	4,22	4,48	4,75	4,99	5,19	5,28	<b>0,528</b>
<b>35</b>	4,82	5,11	5,41	5,69	5,92	6,02	<b>0,516</b>
<b>40</b>	5,38	5,71	6,04	6,36	6,61	6,72	<b>0,504</b>
<b>45</b>	5,90	6,27	6,63	6,98	7,26	7,38	<b>0,492</b>
<b>50</b>	6,40	6,79	7,19	7,57	7,87	8,00	<b>0,480</b>
<b>Opmerking</b>							
De tabel is uitgewerkt vertrekkende van EN 1992-1-1 voor verticale beugels of $\cot\alpha = 0$ .							

Als alternatief kan de hoeveelheid beugels worden bepaald aan de hand van de waarden

$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s b_w}$  vermeld in [Tabel 4.8](#). Deze tabel laat toe onmiddellijk de optimale waarde van  $\cot\theta$  te bepalen.

Tabel 4.8 – Waarden van  $\rho_w$  in % in functie van  $v_{Ed,z}$  voor  $f_{ywk} = 500$  MPa en  $\gamma_c = 1,5$  (verticale beugels:  $\cot\alpha = 0$ )

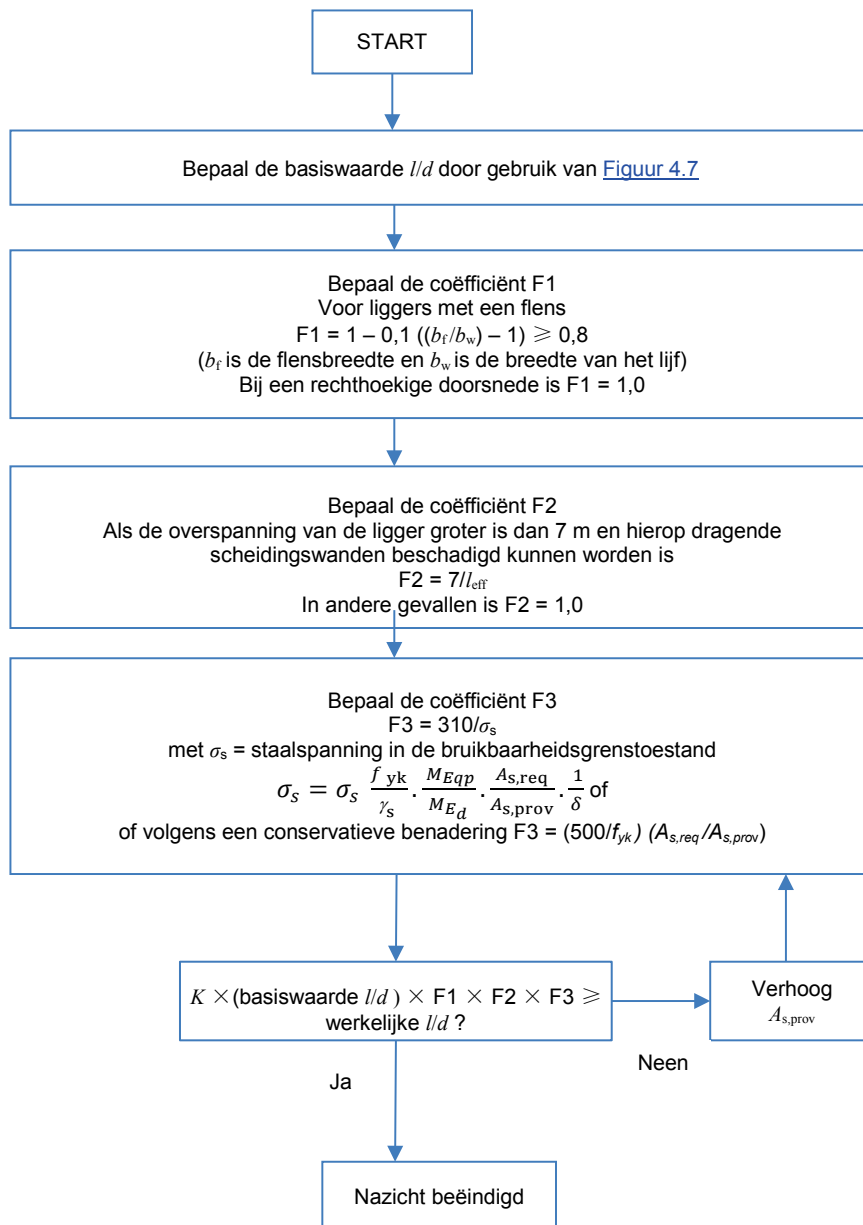
$v_{Ed,z}$ (MPa)	$f_{ck}$							$v_{Ed,z}$ (MPa)	$f_{ck}$						
	20	25	30	35	40	45	50		20	25	30	35	40	45	50
0,5	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	4,3	0,74	0,51	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49
0,6	0,07	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	4,4	0,82	0,55	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51
0,7	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,11	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
3,8		0,49	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	7,6							1,28
3,9		0,53	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	7,7							1,34
4,0		0,56	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46	7,8							1,44
4,1		0,61	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	7,9							1,56
4,2		0,67	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	8,0							

#### 4.6 Doorbuiging

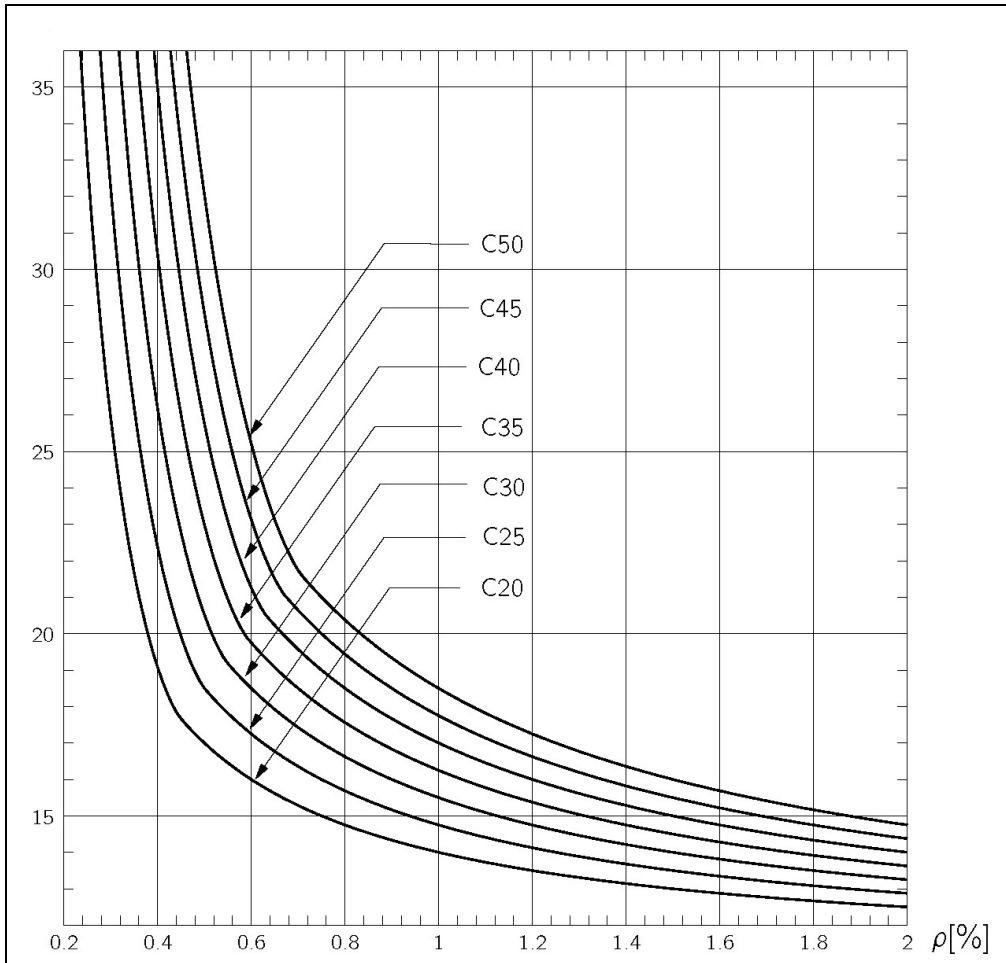
Eurocode 2 geeft twee alternatieve methoden voor het nazicht van de doorbuigingseisen: ofwel door de verhouding overspanning/nuttige hoogte te beperken ofwel door de theoretische doorbuiging te berekenen met behulp van formules die in de Eurocode worden gegeven. De tweede methode wordt uitgebreid besproken in hoofdstuk [8. Doorbuigingsberekeningen](#).

De procedure voor de berekening van de verhouding overspanning/nuttige hoogte die niet mag overschreden worden teneinde ervoor te zorgen dat de doorbuiging voldoet aan de grenswaarden die voorgeschreven zijn in NBN EN 1991-1-1, is weergegeven in [Figuur 4.6](#) (zie ook [Figuur 4.7](#) of [Tabel 4.8b.](#))

Figuur 4.6 Procedure voor het nazicht van de doorbuigingseis



Figuur 4.7 Basiswaarde van de verhouding overspanning / nuttige hoogte



Opmerkingen

- 1 De figuur gaat uit van een enkelvoudig opgelegd element ( $K=1,0$ )  
 $K=1,5$  voor een tussenveld  
 $K=1,3$  voor een eindveld  
 $K=0,4$  voor een uitkraging
- 2 De drukwapening,  $\rho'$  is gelijk aan 0 genomen
- 3 De curves zijn gebaseerd op de volgende uitdrukkingen met  $\rho_0 = 0,001\sqrt{f_{ck}}$  :

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

indien  $\rho > \rho_0$   $\frac{l}{d} = K \left[ 11 + 1,5\sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\frac{\rho'}{\rho_0}} \right]$

Tabel 4.8b Basiswaarden van de verhouding overspanning / nuttige hoogte, voor gevallen zonder axiale druk

Wapeningsverhouding, $\rho$	$f_{ck}$						
	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
$\rho_0$	0,45 %	0,50 %	0,55 %	0,59 %	0,63 %	0,67 %	0,71 %

**Voorwaarden**

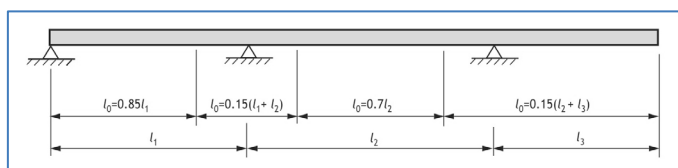
De waarden van de verhouding overspanning / nuttige hoogte, werden gebruikt in de formules (7.16.a) en (7.16.b) van EN 1992-1-1, met  $K = 1$  (enkelvoudige oplegging) en  $\rho' = 0$  (geen drukwapening).

$K=1,5$  voor een tussenveld  
 $K = 1,3$  voor een eindveld  
 $K = 0,4$  voor een uitkraging

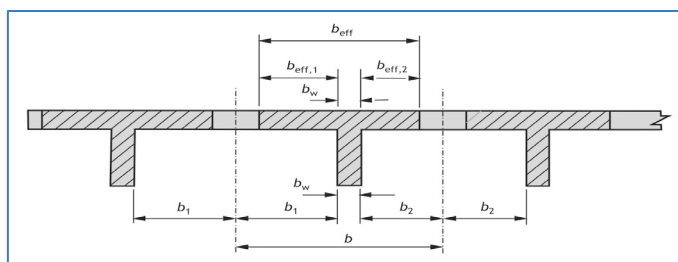
4.7 T-liggers

De meewerkende flensbreedte wordt berekend volgens de regels van lid 5.3.2 van NBN EN 1992-1-1 (zie [Figuur 4.9](#) en [Figuur 4.10](#))

Figuur 4.9 Definitie van  $l_0$  voor het berekenen van de meewerkende flensbreedte



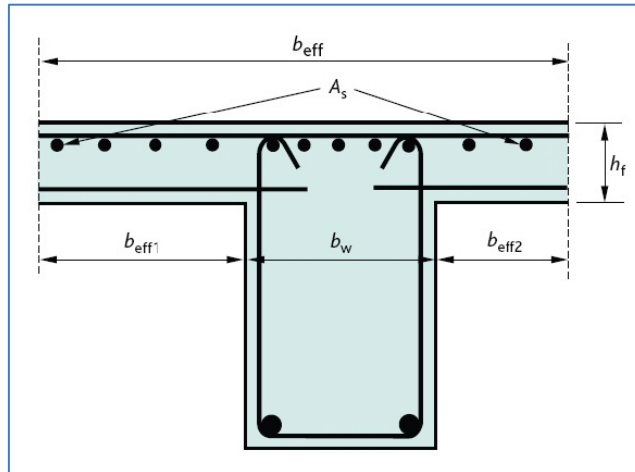
Figuur 4.10 Parameters voor de bepaling van de meewerkende flensbreedte



De ligging van de neutrale lijn moet worden bepaald waarna de vereiste hoeveelheid betonstaal kan worden berekend en dit afhankelijk van de ligging van de neutrale lijn in de flens of in de rib (zie [Figuur 4.11](#)).

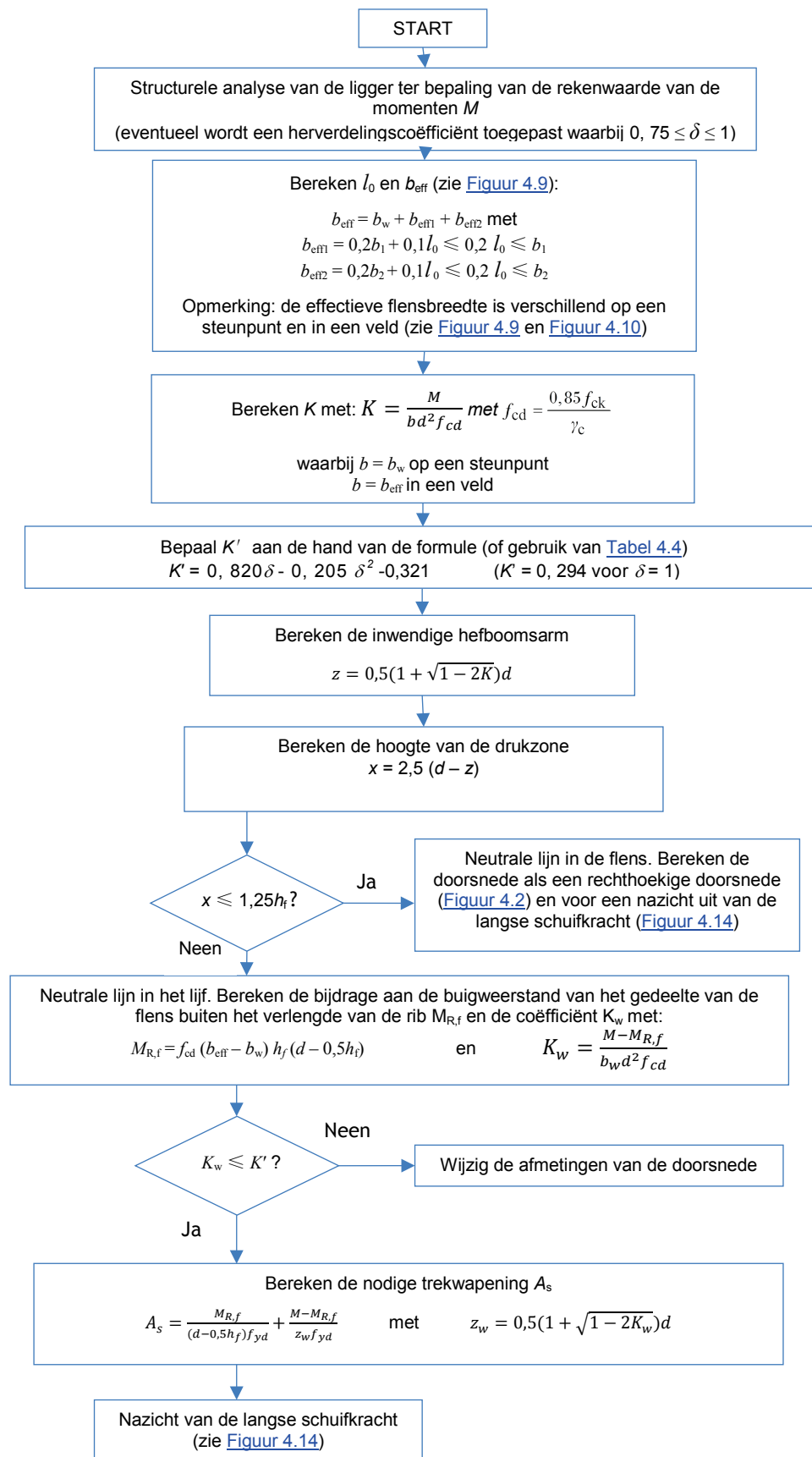
Bij steunpunten moet de trekwapening die het steunpuntsmoment opneemt worden verdeeld over de volledige meewerkende flensbreedte zoals weergegeven in [Figuur 4.12](#).

Figuur 4.12 Verdeling van de trekwapening in een doorsnede met meewerkende flensbreedte

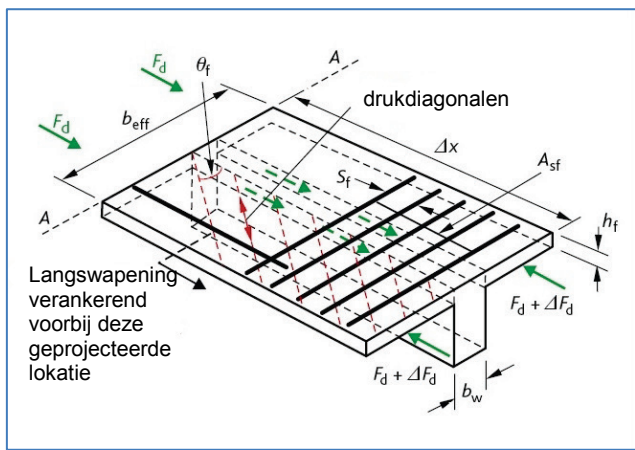




Figuur 4.11 Procedure voor de bepaling van de buigweerstand van T-liggers



Figuur 4.13 Aanduiding van de grootheden voor het nazicht van de afschuiving tussen lijf en flenzen van een T-ligger

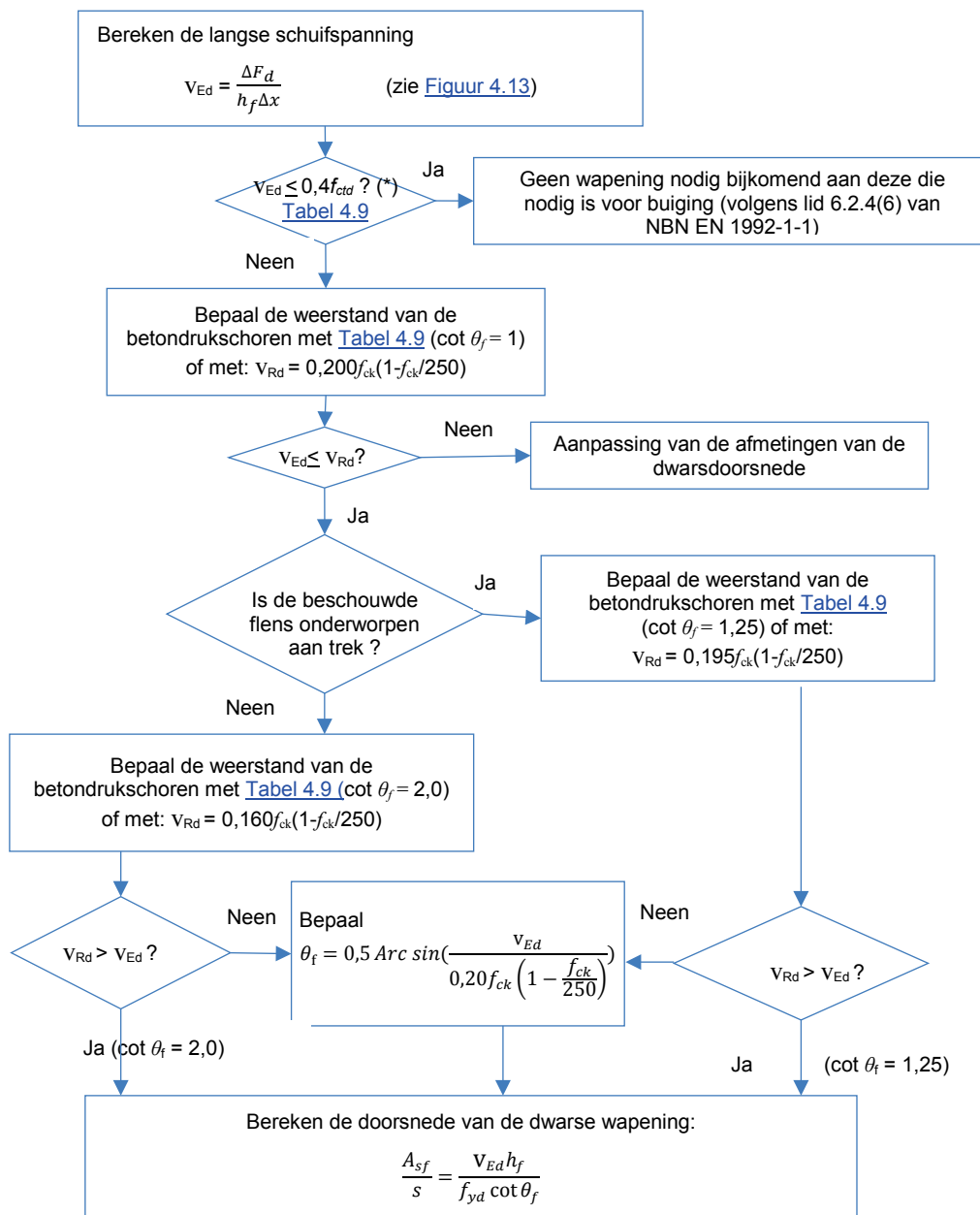


### 4.7.1 Afschuiving tussen lijf en flenzen

De schuifspanning in een verticaal aansluitvlak tussen een flens en het lijf moet worden berekend middels Lid 6.2.4 en Figuur 6.7 van Eurocode 2 (hier gereproduceerd als [Figuur 4.13](#)). De variatie van de kracht in de flens kan worden berekend uit de variatie van het buigend moment tussen twee doorsneden op een zekere afstand van elkaar gelegen en de waarde van de inwendige hefboomsarm. De Eurocode stelt dat de grootste afstand die kan worden beschouwd voor de berekening van deze variatie in kracht gelijk is aan de helft van de afstand tussen de doorsnede met maximaal moment en de doorsnede waar het moment gelijk is aan nul. In het geval van aangrijpende puntlasten, moet deze afstand beperkt worden tot de afstand tussen de puntlasten.

In [Figuur 4.14](#) is een stroomschema weergegeven dat aangeeft hoe het nazicht van de langse afschuiving in het contactvlak lijf-flenzen kan uitgevoerd worden. In de meeste gevallen zal de dwarse wapening die reeds in de plaat aanwezig is volstaan om weerstand te bieden aan de aangrijpende schuifkracht. Dit nazicht is vooral belangrijk in het geval van bijzonder dunne flenzen. Het nazicht van de langse afschuiving volgens Eurocode 2, is gebaseerd op de methode met de drukschoren met veranderlijke helling, gelijkaardig aan hetgeen toegepast wordt bij het nazicht van verticale afschuiving ten gevolge van dwarskracht.

Figuur 4.14 Procedure voor het nazicht van de weerstand tegen langse afschuiving in het contactvlak tussen lijf en flenzen van T-doorsneden



(\*) de coëfficiënt 0,5 zoals vermeld in de ANB, werd vervangen door de coëfficiënt 0,4 die aanbevolen is in lid 6.2.4(6) van de EN

Tabel 4.9 Weerstand van betondrukschoren met betrekking tot de langse afschuiving in liggers met T-doorsnede

f <sub>ck</sub>	V <sub>Rd,max</sub>		0,200f <sub>ck</sub> (1-f <sub>ck</sub> /250)	0,5f <sub>ctd</sub>
	Gedrukte flens cot θ <sub>f</sub> = 2,0	Getrokken flens cot θ <sub>f</sub> = 1,25	cot θ <sub>f</sub> = 1	
20	2,94	3,59	3,68	0,52
25	3,60	4,39	4,50	0,60
28	3,98	4,85	4,97	0,65
30	4,22	5,15	5,28	0,68
32	4,46	5,44	5,58	0,71
35	4,82	5,87	6,02	0,75
40	5,38	6,55	6,72	0,82
45	5,90	7,20	7,38	0,89
50	6,40	7,80	8,00	0,95

**4.8 Regels voor staafafstanden en voor de vereiste hoeveelheid betonstaal**

**4.8.1 Minimale hoeveelheid langswapening**

De minimale hoeveelheid langswapening is  $A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk} > 0,0013 b_t d$ , met  $b_t$  de gemiddelde breedte van de trekzone (zie [Tabel 4.9](#)). Voor een T-ligger met een volledig gedrukte bovenflens moet enkel de breedte van het lijf in rekening worden gebracht bij het berekenen van  $b_t$ .

OPMERKING: De minimale wapeningshoeveelheid die nodig is voor de beheersing van scheurvorming kan groter zijn dan deze zoals hierboven bepaald.

Tabel 4.9 Minimale vereiste wapeningsverhouding

$f_{ck}$	$f_{ctm}$	Minimale wapeningsverhouding % ( $0,26 f_{ctm} / f_{yk}^a$ )
25	2,6	0,13 %
30	2,9	0,15 %
35	3,2	0,17 %
40	3,5	0,18 %
45	3,8	0,20 %
50	4,1	0,21 %

**Legende**  
a met  $f_{yk} = 500$  MPa.

**4.8.2 Minimale hoeveelheid dwarswapening**

De dwarswapeningsverhouding moet volgens 9.2.2 (5) van NBN EN 1992-1-1 minstens gelijk zijn aan

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{sb_w \sin \alpha} \geq \rho_{w,min} = \frac{0,08 \sqrt{f_{ck}}}{f_{ywk}}$$

met  $A_{sw}$  de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van de dwarswapening met als tussenafstand  $s$ .

De waarde  $\rho_{w,min}$  kan rechtstreeks afgelezen worden in [Tabel 4.10](#)

Tabel 4.10 Waarden van  $\rho_{w,min}$  (met  $f_{ywk}=500$  MPa)

$f_{ck}$	20	25	30	35	40	45	50
$\rho_{w,min}$ (%)	0,072	0,080	0,088	0,095	0,101	0,107	0,113

**4.8.3 Maximale hoeveelheid langswapening**

Buiten gebieden met overlappings mogen de trek- of drukwapeningsdoorsneden niet groter zijn dan  $A_{s,max} = 0,04 A_c$ .

**4.8.4 Minimale staafafstand**

De minimale afstand tussen twee wapeningsstaven moet minstens gelijk zijn aan:

- de diameter van de wapeningsstaaf;
- de grootste korrelafmeting van het toeslagmateriaal plus 5 mm;
- 20 mm.

**4.8.5 Scheurbeheersing**

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

- Het voorzien van een minimale hoeveelheid wapening, zodanig dat de wapening de vloeigrens niet bereikt op het moment dat de eerste scheur wordt gevormd (zie [4.8.1](#)).

- Indien verhinderde vervormingen de hoofdoorzaak zijn van de scheurvorming, moet de staafdiameter worden beperkt tot de waarden gegeven in [Tabel 4.11](#). 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 4.11](#) ofwel de staafafstand zoals aangegeven in [Tabel 4.12](#).

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

Tabel 4.11 Maximale staafdiameter voor de scheurbeheersing

Staalspanning (MPa)	Maximale staafdiameter (mm) voor scheurwijdtes 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 EN 1992-1-1 voor de parameterwaarden gebruikt voor het opstellen van deze tabel. Meer bepaald werd verondersteld dat  $c_{nom} = 25$  mm en  $f_{ct,eff} (= f_{ctm}) = 2,9$  MPa

Tabel 4.12 Maximale staafafstand voor de scheurbeheersing

Staalspanning (MPa)	Maximale staafafstand (mm) voor scheurwijdtes 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 EN 1992-1-1 voor de parameterwaarden gebruikt voor het opstellen van deze tabel. Meer bepaald werd verondersteld dat  $c_{nom} = 25$  mm en  $f_{ct,eff} (= f_{ctm}) = 2,9$  MPa

## 4.9 Selectie van symbolen

Symbol	Omschrijving	Grootte
$A_c$	Oppervlakte van de betondoorsnede	
$A_s$	Oppervlakte van de doorsnede van de trekwapening	
$A_{s2}$	Oppervlakte van de doorsnede van de drukwapening	
$A_{s, prov}$	Oppervlakte van de doorsnede van de voorziene trekwapening	
$A_{s, req}$	Oppervlakte van de doorsnede van de vereiste trekwapening	
$b_{eff}$	Meewerkende flensbreedte	
$b_t$	Gemiddelde breedte van de trekzone	
$b_{min}$	Breedte van een ligger of rib / lijf	
$b_w$	Breedte van een doorsnede of breedte van het lijf van een T-ligger	
$d$	Nuttige hoogte	
$d_2$	Afstand van het zwaartepunt van de drukwapening tot de meest gedrukte rand van de dwarsdoorsnede	
$f_{cd}$	Rekenwaarde van de betondruksterkte	$\alpha_{cc} f_{ck}/\gamma_c$ voor $f_{ck} \leq C50/60$
$f_{ck}$	Karakteristieke cilinderdruksterkte van beton	
$f_{ctd}$	Rekenwaarde gebaseerd op de 5 % - fractiel van de axiale betontreksterkte	$\alpha_{ct} f_{ctk, 0,05}/\gamma_c$ met $\alpha_{ct}=1,0$ (§3.1.6(2) formule (3.16) van Eurocode 2)
$f_{ctk, 0,05}$	5 % - fractiel van de axiale betontreksterkte	$0,7 f_{ctm}$ (Tabel 3.1, Eurocode 2)
$f_{ctk}$	Karakteristieke waarde van de axiale betontreksterkte	$0,30 f_{ck}^{(2/3)}$ voor $f_{ck} \leq C50/60$ (Tabel 3.1, Eurocode 2)
$f_{ctm}$	Gemiddelde waarde van de axiale betontreksterkte	$0,30 f_{ck}^{(2/3)}$ voor $f_{ck} \leq C50/60$ (Tabel 3.1, Eurocode 2)
$h_f$	Flensdikte	
$K$	Factor om verschillende constructieve systemen in rekening te brengen	
$l_{eff}$	Effectieve overspanning van een constructie-element	Zie lid 5.3.2.2 (1) van NBN EN 1992-1-1
$l_0$	Afstand tussen twee momentennulpunten	
$l/d$	Verhouding overspanning/nuttige hoogte	
$M$	Rekenwaarde van het moment in de UGT	
$M_{Eqp}$	Rekenwaarde van het moment in de BGT onder de quasi-blijvende belastingscombinatie	
$x$	Hoogte van de drukzone	$(d - z)/0,4$
$x_{max}$	Grenswaarde van de hoogte van de drukzone	$0,8(\delta - 0,44)d$ met $\delta \leq 1,0$
$z$	Inwendige hefboomsarm	
$\alpha_{cc}$	Coëfficiënt voor het in rekening brengen van langetermijneffecten op de druksterkte en van ongunstige effecten veroorzaakt door de manier waarop de belasting is aangebracht	0,85 voor nazicht aan buiging en normaalkracht 1,0 voor nazicht aan dwarskracht
$\delta$	Verhouding tussen het buigend moment na herverdeling en het buigend moment uit een elastische berekening	
$\gamma_m$	Partiële factor voor materiaaleigenschappen	1,15 voor de wapening ( $\gamma_s$ ) 1,5 voor het beton ( $\gamma_c$ )
$\rho_0$	Referentie wapeningsverhouding	$0,001\sqrt{f_{ck}}$
$\rho$	Wapeningsverhouding van de trekwapening in het veldmidden (of aan het steunpunt bij een uitkraging) voor het opnemen van de rekenwaarde van het aangrijpend buigend moment	$\frac{A_s}{bd}$ (voor rechthoekige doorsneden)
$\rho'$	Wapeningsverhouding van de drukwapening in het veldmidden (of aan het steunpunt bij een uitkraging) voor het opnemen van de rekenwaarde van het aangrijpend buigend moment	$\frac{A_{s2}}{bd}$

#### 4.10 Referenties

- 1 NBN EN 1992-1-1 - Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1 Algemene regels en regels voor gebouwen.*
- 4 NBN EN 1992-1-2 - Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies - Ontwerp en berekening van constructies bij brand.*
- 6 MOSS, R M & BROOKER, O. *How to design concrete structures using Eurocode 2: Beams.* The Concrete Centre, 2006.

#### Bijkomende referenties voor geprefabriceerde constructies

- 1 NBN EN 13225 – *Geprefabriceerde betonproducten - Lijnvormige dragende elementen* +  
NBN B 21-604 - *Geprefabriceerde betonproducten - Lijnvormige dragende bouwdelen - Nationale aanvulling bij NBN EN 13225*
- 2 NBN EN 15050 – *Geprefabriceerde betonproducten - Brugelementen*
- 3 NBN EN 13369 – *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten* +  
NBN B 21-600 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten - Nationale aanvulling bij NBN EN 13369*





## 5. Kolommen

### 5.1 Inleiding

### 5.2 Ontwerp en berekening volgens Eurocode 2

Dit hoofdstuk is bedoeld als ondersteuning voor de ontwerper bij het ontwerpen en berekenen van kolommen en wanden op basis van Eurocode 2<sup>1</sup>. De te volgen rekenprocedures worden besproken en voorzien van begeleidende commentaar op de bepalingen uit de Eurocode.

Het eerste hoofdstuk van dit document geeft een overzicht van het geheel van de Eurocodes, met inbegrip van de terminologie.

### 5.3 Rekenprocedure

In [Tabel 5.1](#) is een gedetailleerde rekenprocedure opgenomen voor het ontwerpen en berekenen van geschoorde kolommen, zijnde kolommen die niet bijdragen aan de weerstand tegen horizontale belastingen en die deel uitmaken van een constructie met niet-verplaatsbare knopen. Er wordt aangenomen dat de afmetingen van de kolommen al tijdens een globaal ontwerp met een snelle ontwerpmethode zijn vastgesteld. Deze kolomafmetingen zullen in principe niet veel afwijken van hetgeen gebruikelijk is in de praktijk.

Tabel 5.1 Ontwerp- en rekenprocedure voor kolommen

Stap	Taak	Verdere informatie	
		In deze publicatie	Norm
1	Bepaling van de ontwerplevensduur	<a href="#">2.3 Ontwerplevensduur</a>	NBN EN 1990 Tabel 2.1 van bijlage A1 en 2.3
2	Bepaling van de belastingen op de kolom	<a href="#">2.4 Belastingen op constructies en</a> <a href="#">2.5 Belastingsschikkingen</a>	NBN EN 1991 (10 delen) en ANB
3	Bepaling van de toe te passen belastingscombinaties	<a href="#">1.3.2</a> <a href="#">Belastingcombinaties</a>	NBN EN 1990 ANB
4	Bepaling van de duurzaamheidseisen en de betonsterkteklasse	<a href="#">2.7.1 Beton en</a> <a href="#">2.9.2 Minimale betondekking voor duurzaamheid</a>	
5	Nazicht van de nodige betondekking voor de vereiste brandweerstand	<a href="#">2.10 Ontwerpen op brandweerstand</a> en <a href="#">Tabel 5.2</a>	NBN EN 1992–1-2 + ANB
6	Bepaling van de minimale betondekking voor duurzaamheid, brand en aanhechting	<a href="#">2.9.1 Minimale betondekking voor aanhechting</a>	NBN EN 1992–1–1 en 4.4.1
7	Structurele analyse voor de bepaling van de maatgevende momenten en normaalkrachten	<a href="#">2.8 Constructief ontwerp</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 5
8	Nazicht van de slankheid	Zie <a href="#">Figuur 5.2</a> en <a href="#">Figuur 5.3</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 5.8
9	Berekening van de vereiste hoeveelheid betonstaal	Zie <a href="#">Figuur 5.2</a> en <a href="#">Figuur 5.3</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 6.1
10	Nazicht van de staafafstand	<a href="#">Lid 5.15 Regels voor staafafstanden en voor de vereiste hoeveelheid betonstaal</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 8 en 9

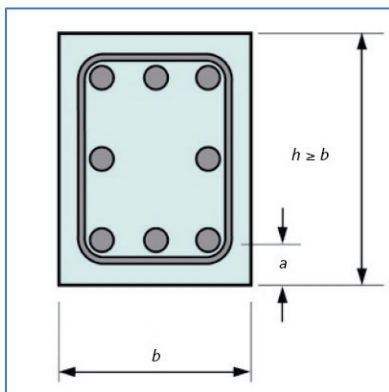
### 5.4 Draagvermogen bij brand

Eurocode 2, Deel 1-2: *Ontwerp en berekening van constructies bij brand*<sup>3</sup>, biedt de keuze uit geavanceerde, vereenvoudigde en op tabellen gebaseerde methoden voor de bepaling

van het draagvermogen van kolommen bij brand. Het gebruik van tabellen is de snelste methode voor het vastleggen van de minimale afmetingen en de minimale betondekking van kolommen. Er zijn echter beperkingen aan verbonden, die als opmerkingen en voetnoten aan de tabellen zijn toegevoegd. Nadere uitleg kan worden verkregen uit gespecialiseerde literatuur. De vereenvoudigde methode kan leiden tot meer economische oplossingen, in het bijzonder voor korte kolommen en voor langere periodes van blootstelling aan brand.

De tabellenmethode is niet gebaseerd op de minimale betondekking maar op de nominale asafstand,  $a$  (zie [Figuur 5.1](#)). Dit is de afstand van de as van de hoofdwapening tot de zijvlakken van het constructie-element.

*Figuur 5.1 Dwarsdoorsnede van een constructie-element met nominale asafstand  $a$*



Het betreft een nominale (niet een minimale) afstand, waarbij de ontwerper moet verzekeren dat  $a \geq c_{\text{nom}} + \varnothing_{\text{beugel}} + \varnothing_{\text{hoofdwapening}}/2$ .

Voor kolommen geeft Eurocode 2, deel 1-2, twee tabellen die betrekking hebben op de methoden A en B. Beide zijn van toepassing, hoewel methode A kleinere grenzen stelt aan de excentriciteit dan methode B.

Methode A is iets eenvoudiger en wordt toegelicht in [Tabel 5.2](#) ontleend aan NBN EN 1992-1-2 ANB; de grenzen van het toepassingsgebied zijn bij de opmerkingen vermeld. Vergelijkbare gegevens voor dragende wanden zijn opgenomen in [Tabel 5.3](#).

Voor kolommen die buiten de toepassingsgrenzen van beide methoden A en B vallen, kan gebruik worden gemaakt van Bijlage C van Eurocode 2, deel 1-2.

Tabel 5.2 Afmetingen en asafstanden van kolommen met betrekking tot brandweerstand<sup>a</sup>

Standaard-brandweerstand	Breedte of diameter van de kolom	Asafstand $a$ (mm) voor de hoofdwapening						$b_{\min}/a$ voor kolommen blootgesteld aan één zijvlak
		Kolommen blootgesteld aan meer dan één zijvlak						
		$\mu_{fi} = 0,2$		$\mu_{fi} = 0,5$		$\mu_{fi} = 0,7$		
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	

Opmerking 1: Wanneer de asafstand groter dan of gelijk is aan 70 mm, dient eventueel een hoofdwapening voorzien te worden.

Opmerking 2: Voor kolommen in voorgespannen beton moet de waarde van  $a$  bepaald volgens de tabel, vermeerderd worden met 10 mm (staven) tot 15 mm (draden en strengen).

Opmerking 3: De tabel is van toepassing onder de volgende voorwaarden:

- 1 Voor de effectieve (knik)lengte van een geschoorde kolom onderworpen aan brand geldt ( $l_{0,fi} \leq 3$  m). Voor geschoorde gebouwen waarvoor de blootstelling aan de standaardbrand groter is dan 30 min, mag de grootte van  $l_{0,fi}$  gelijk worden gesteld aan 50 % van de werkelijke lengte bij tussenvloeren en tussen 50 % en 70 % van de werkelijke lengte voor kolommen in de bovenste bouwlaag.
- 2 De eerste-orde excentriciteit bij brand is  $\leq 0,4 b$  (of  $h$ ). Men kan ook gebruik maken van methode B (zie Eurocode 2, deel 1-2, tabel 5.2b). De excentriciteit bij brand mag gelijk worden gesteld aan de excentriciteit gebruikt bij een ontwerp bij normale temperatuur.
- 3 De wapeningsdoorsnede buiten gebieden met overlappings is niet groter dan 4 % van de betondoorsnede.
- 4  $\mu_{fi}$  is de verhouding tussen de normaalkracht onder brandvoorwaarden en de rekenwaarde van de draagkracht van de kolom bij normale temperaturen.  $\mu_{fi}$  mag gelijk gesteld worden aan 0,7, hetgeen aan de veilige kant is.

## 5.5 Kolomontwerp

Een stroomschema voor het ontwerpen en berekenen van een geschoorde kolom is weergegeven in [Figuur 5.2](#). In geval van een slanke kolom geldt ook [Figuur 5.3](#).

## 5.6 Constructieve berekening

De toegepaste structurele analyse moet worden afgestemd op de beschouwde constructie. De volgende analyses mogen worden gebruikt: lineair-elastische analyse, lineair-elastische analyse met beperkte momentenherverdeling, plastische analyse en niet-lineaire analyse. De lineair-elastische analyse mag worden uitgevoerd op basis van ongescheurd veronderstelde dwarsdoorsneden die vlak blijven (d.w.z. op basis van de eigenschappen van de bruto-betonddoorsnede) en gebruik makend van lineaire spanning-rekdiagrammen en de gemiddelde waarden van de elasticiteitsmodulus.

Bij het ontwerp van kolommen moeten de elastische momenten die volgen uit een raamwerkberekening zonder enige herverdeling worden gebruikt. Bij slanke kolommen kan een niet-lineaire berekening worden uitgevoerd om de tweede-orde momenten te begroten. Een alternatief is het gebruik van de methode met de momentvergrotingsfactor (lid 5.8.7.3) of een methode gebaseerd op de nominale kromming (lid 5.8.8), zoals weergegeven in [Figuur 5.3](#).

## 5.7 Rekenwaarden van de momenten

De rekenwaarde van het buigend moment  $M_{Ed}$  verloopt algemeen zoals weergegeven in [Figuur 5.4](#) en is gedefinieerd als:

$$M_{Ed} = \max \{M_{02}, M_{0e} + M_2, M_{01} + 0,5 M_2\}$$

waarin:

$$M_{01} = \min \{|M_{top}|, |M_{bottom}|\} + e_1 N_{Ed}$$

$$M_{02} = \max \{|M_{top}|, |M_{bottom}|\} + e_1 N_{Ed}$$

$$e_1 = l_0/400 \text{ is de excentriciteit te wijten aan imperfecties (5.2(7) van NBN EN 1992-1-1).}$$

$$M_{top}, M_{bottom} = \text{Eerste-orde momenten boven- en onderaan de kolom}$$

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

$$M_2 = N_{Ed} e_2 \text{ met } N_{Ed} \text{ de rekenwaarde van de normaalkracht en } e_2 \text{ de excentriciteit te wijten aan tweede-orde-effecten}$$

Voor de berekening van  $M_{0e}$ , worden  $M_{01}$  en  $M_{02}$  positief gerekend als ze beide trek aan dezelfde kant van de kolom veroorzaken (zo niet, dan wordt  $M_{02}$  positief genomen en  $M_{01}$  negatief).

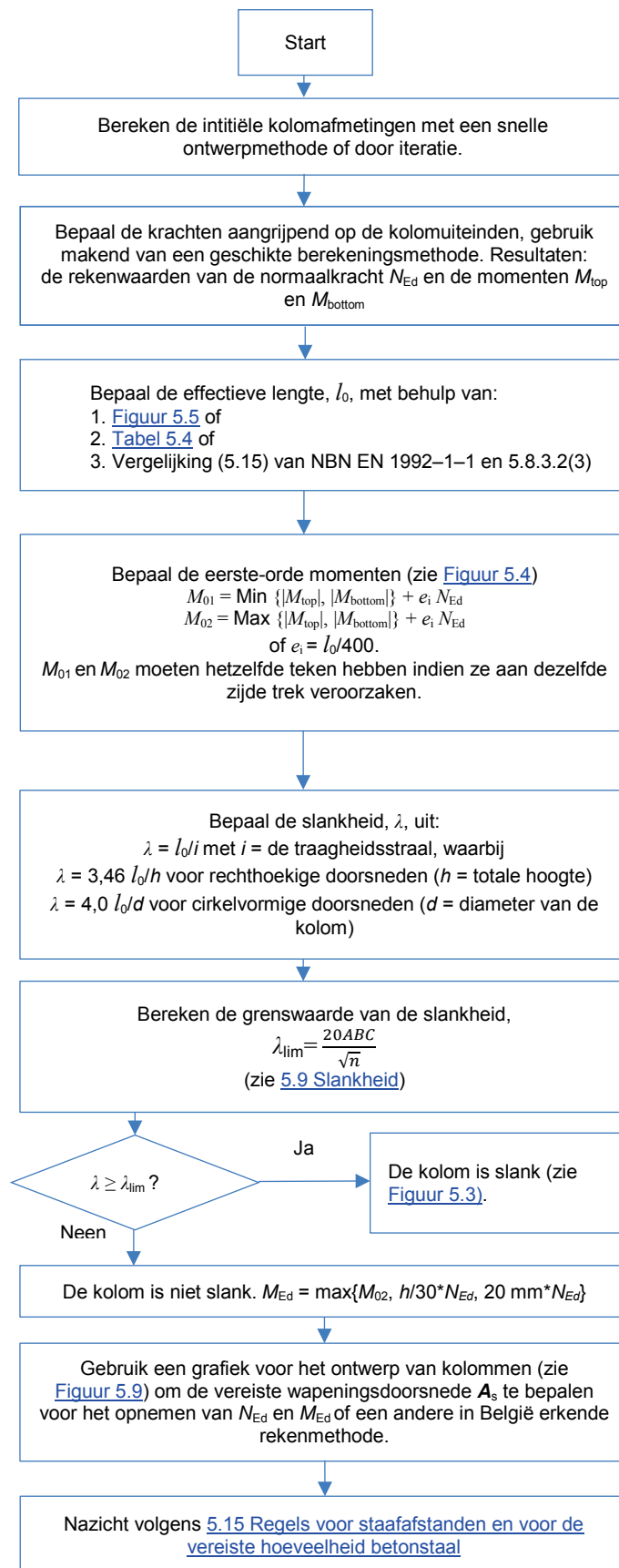
Een niet-slanke kolom kan worden berekend onder verwaarlozing van tweede-orde effecten, waardoor de rekenwaarde van het buigend moment gelijk is aan  $M_{Ed} = M_{02}$ .

Voor een slanke kolom moet het tweede-orde-moment worden meegenomen in de berekening. De rekenwaarde van het moment waarop de slanke kolom moet worden gedimensioneerd is de som van het moment in de niet-slanke kolom en het tweede-orde moment (zie [Figuur 5.4](#)).

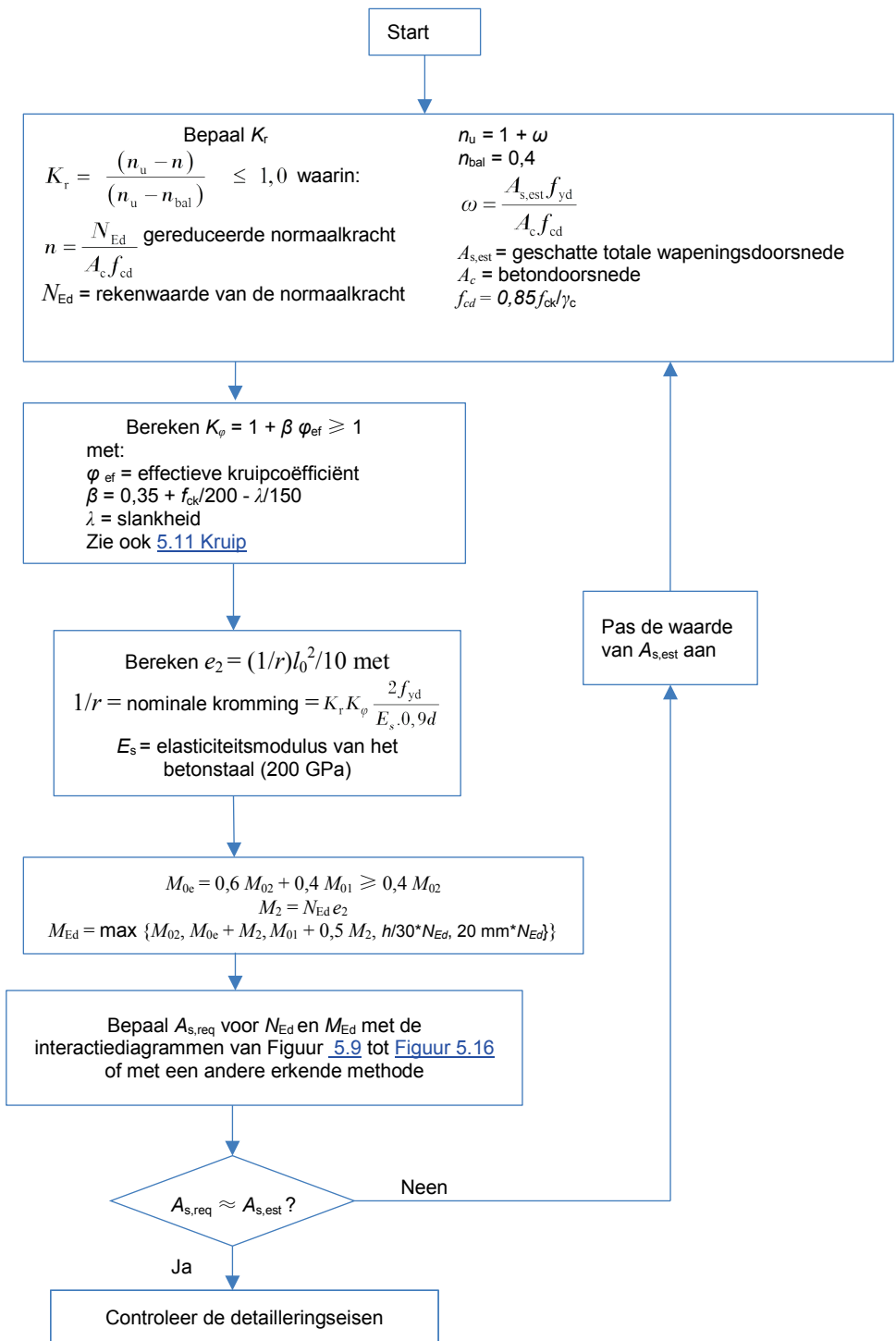
De berekening van de excentriciteit  $e_2$  is niet eenvoudig en meestal zullen enkele iteratiestappen nodig zijn om de uitbuiging  $e_2$ , die zich ongeveer op halve hoogte situeert, uit te rekenen. Aanduidingen voor de berekening van de tweede-orde excentriciteit  $e_2$  zijn weergegeven in [Figuur 5.3](#) (deze procedure kan leiden tot een iteratieve berekening). Deze methode is slechts geldig voor kolommen met constante en symmetrische dwarsdoorsneden (inclusief de wapening zoals vermeld in 5.8.8.3(1) van Eurocode 2).

In ieder geval mag de rekenwaarde van het moment  $M_{Ed}$ , die gebruikt wordt voor de bepaling van de dwarsdoorsnede van de kolom, niet kleiner zijn dan  $N_{Ed} \max \{h/30, 20\text{mm}\}$  voor symmetrisch gewapende doorsneden (zie 6.1(4) van NBN EN 1992-1-1).

Figuur 5.2 Stroomschema voor het ontwerpen en berekenen van een geschoorde kolom



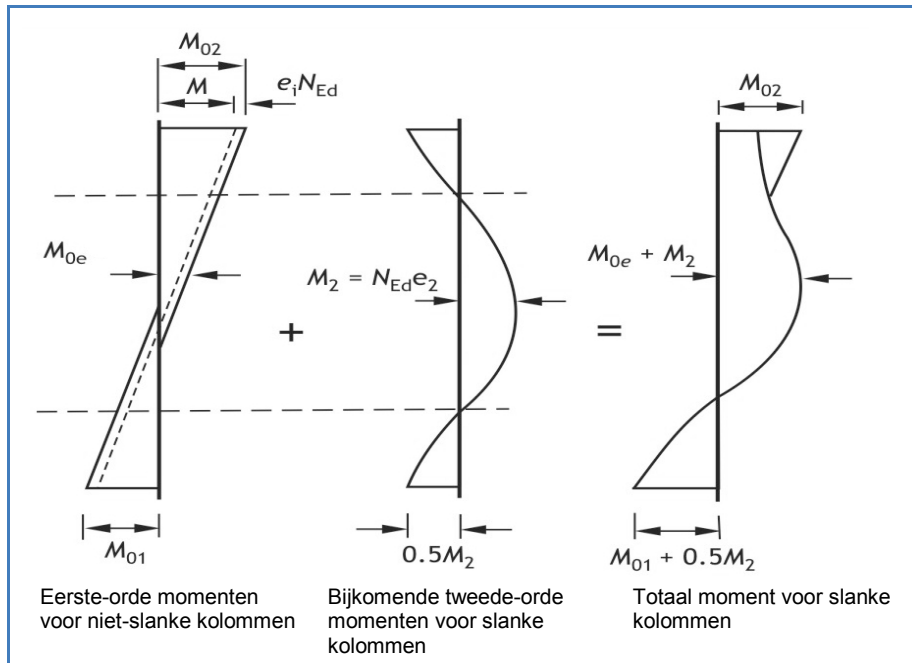
Figuur 5.3 Stroomschema voor de berekening van slanke kolommen met een constante en symmetrische dwarsdoorsnede (methode gebaseerd op de nominale kromming)



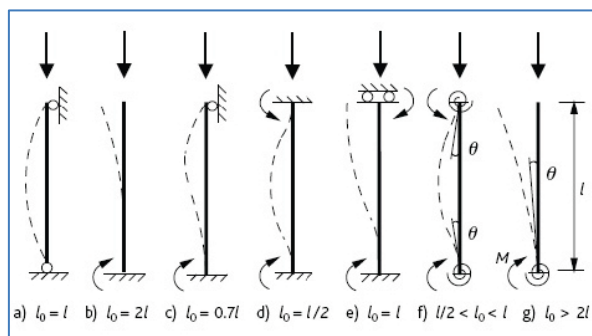
5.8 Effectieve lengte

Figuur 5.5 geeft voorbeelden van de effectieve (knik)lengte van geschoorde kolommen. In de praktijk zal meestal Figuur 5.5f van toepassing zijn. Eurocode 2 geeft een uitdrukking waarmee de effectieve lengte in deze situatie kan worden berekend (zie 5.8.3.2(3) van NBN EN 1992-1-1).

Figuur 5.4 Rekenwaarden van de buigende momenten



Figuur 5.5 Effectieve lengte voor afzonderlijke kolommen



In deze uitdrukking moeten de relatieve flexibiliteiten van de gedeeltelijke inklemmingen aan de uiteinden  $k_1$  en  $k_2$ , worden berekend. De uitdrukking voor  $k$  zoals gegeven in de Eurocode omvat de berekening van de rotatiestijfheid van de eindaansluitingen, rekening houdend met eventuele scheurvorming, hetgeen het gebruik van een rekenprogramma voor de analyse van raamwerken vereist. De “Background Paper to the UK National annex 8”, namelijk de PD 6687, bevat een vereenvoudiging die gebaseerd is op de stijfheid van de liggers waarmee de kolom aan de uiteinden verbonden is. Deze relatieve stijfheid  $k$ , kan als volgt berekend worden (in zoverre de stijfheid van de naburige kolommen niet meer dan 15 % afwijkt van de hoogste stijfheid):

$$k = \frac{EI_c}{\sum \frac{2EI_b}{l_b}} \geq 0,1$$

$I_c$ ,  $I_b$  zijn de traagheidsmomenten van de ongescheurde doorsneden van de kolommen en de balken.

$l_c$ ,  $l_b$  zijn de lengtes van de kolommen en de balken

$k = 0$  is de theoretische grenswaarde voor een perfecte inklemming en  $k = \infty$  is de grenswaarde voor een vrij opgelegd steunpunt. Aangezien een perfecte inklemming in de praktijk zelden voorkomt, wordt een minimale waarde van 0,1 voor  $k_1$  en  $k_2$  aanbevolen.

Nadat  $k_1$  en  $k_2$  zijn berekend, kan met behulp van [Tabel 5.4](#) een effectieve lengtefactor  $F$  worden bepaald. De effectieve (knik)lengte is dan  $l_0 = Fl$ .

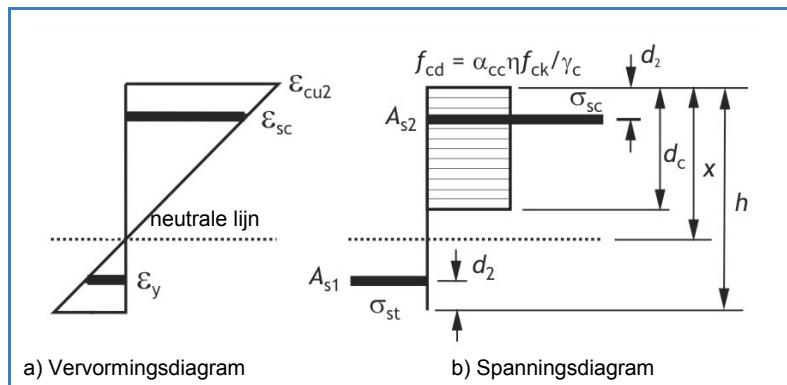
Deze coëfficiënt  $F$  is gebaseerd op de hierna vermelde uitdrukking (5.15) uit NBN EN 1992-1-1, die zich zeer goed leent voor opname in een rekenprogramma.

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

Tabel 5.4 Effectieve lengtefactor  $F$  voor geschoorde kolommen

$k_2$	$k_1$										Scharnierend
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,70	1,00	2,00	5,00	9,00	
0,10	0,59	0,62	0,64	0,66	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75	0,76	0,77
0,20	0,62	0,65	0,68	0,69	0,71	0,73	0,74	0,77	0,79	0,80	0,81
0,30	0,64	0,68	0,70	0,72	0,73	0,75	0,77	0,80	0,82	0,83	0,84
0,40	0,66	0,69	0,72	0,74	0,75	0,77	0,79	0,82	0,84	0,85	0,86
0,50	0,67	0,71	0,73	0,75	0,76	0,78	0,80	0,83	0,86	0,86	0,87
0,70	0,69	0,73	0,75	0,77	0,78	0,80	0,82	0,85	0,88	0,89	0,90
1,00	0,71	0,74	0,77	0,79	0,80	0,82	0,84	0,88	0,90	0,91	0,92
2,00	0,73	0,77	0,80	0,82	0,83	0,85	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95
5,00	0,75	0,79	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,93	0,96	0,97	0,98
Scharnierend	0,77	0,81	0,84	0,86	0,87	0,90	0,92	0,95	0,98	0,99	1,00

Figuur 5.7 Spanningsblok voor toepassing bij kolommen



### 5.9 Slankheid

Eurocode 2 bepaalt dat tweede-orde effecten mogen worden verwaarloosd indien ze kleiner zijn dan 10 % van de corresponderende eerste-orde effecten. Als alternatief voor deze bepaling mogen tweede-orde effecten worden verwaarloosd indien de slankheid  $\lambda$  kleiner is dan een bepaalde grenswaarde  $\lambda_{lim}$  (in dit geval wordt de kolom als niet-slank beschouwd).

De slankheid wordt berekend als  $\lambda = l_0 / i$  waarin  $i$  de traagheidsstraal is

De grenswaarde is:

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}} \leq \frac{15,4C}{\sqrt{n}}$$

waarin

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

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} \quad (\text{indien de mechanische wapeningsverhouding } \omega \text{ niet gekend is, mag men } B = 1,1 \text{ stellen})$$

$$C = 1,7 - r_m \quad (\text{indien } r_m \text{ niet gekend is, mag men } C = 0,7 \text{ stellen – zie hieronder})$$



$$n = N_{Ed} / (A_c f_{cd})$$

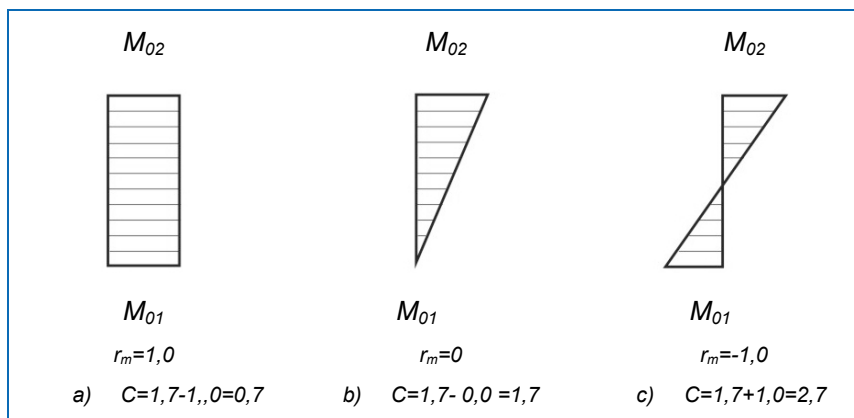
$$r_m = M_{01} / M_{02}$$

$M_{01}, M_{02}$  zijn de eerste-orde eindmomenten,  $|M_{02}| \geq |M_{01}|$

Als de eindmomenten  $M_{01}$  en  $M_{02}$  aan dezelfde zijde trek veroorzaken, moet  $r_m$  positief worden genomen (zodat  $C \leq 1,7$ ), anders negatief (zodat  $C > 1,7$ ).

Van de drie coëfficiënten  $A$ ,  $B$  en  $C$  heeft  $C$  de grootste invloed op  $\lambda_{min}$ . Een eerste inschatting van  $\lambda_{min}$  kan dan ook worden bekomen door standaardwaarden voor  $A$  en  $B$  aan te houden, maar  $C$  wel te berekenen (Figuur 5.6). Er moet op worden gelet dat bij het berekenen van  $C$  de juiste tekens van de momenten worden ingevoerd. Voor ongeschoorde elementen moet voor  $C$  altijd de waarde 0,7 worden gehanteerd.

Figuur 5.6 Berekening van de factor  $C$



### 5.10 Sterkte van kolommen

De berekening van de sterkte van doorsneden onderworpen aan samengestelde buiging dient iteratief te gebeuren. De aannames voor een dergelijke berekening zijn vermeld in lid 6.1 van NBN EN-1992-1-1. De spanning-rekdiagrammen voor de materialen zijn beschreven in lid 3.1.7 voor het beton en 3.2.7 voor de wapening.

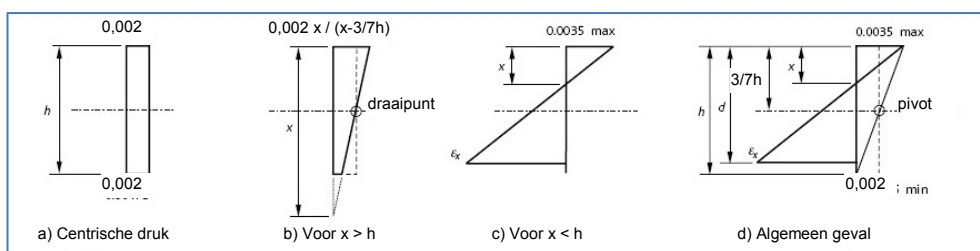
In de praktijk zal meestal een rekenprogramma gebruikt worden om de berekeningen uit te voeren.

Voor symmetrisch gewapende rechthoekige of cirkelvormige doorsneden, kan gebruik gemaakt worden van de interactiediagrammen in de Figuren 5.9 tot 5.16.

Uit praktisch oogpunt kan gebruik gemaakt worden van het rechthoekig spanningsdiagram, dat reeds vermeld werd bij de berekening van liggers (zie Figuur 5.7).

De grenswaarde van de betonstuik voor betonsterkteklassen tot en met C50/60 is gelijk aan 0,002 wanneer de volledige doorsnede onder centrische druk staat (zie Figuur 5.8a). Als de neutrale lijn **buiten de doorsnede** ligt (Figuur 5.8b), is de grenswaarde van de betonstuik begrepen tussen 0,002 en 0,0035. Deze stuik kan worden gevonden door een lijn te trekken vanuit het punt met rek nul door het ‘draaipunt’ dat behoort bij de rek van 0,002 en gelegen is op 3/7 van de hoogte van de doorsnede. Wanneer de neutrale lijn **binnen de doorsnede** gelegen is, dan is de grenswaarde van de betonstuik gelijk aan 0,0035 (zie Figuur 5.8c).

Figuur 5.8 Vervormingsdiagrammen voor kolommen



### 5.10.1 Symmetrisch gewapende rechthoekige doorsnede

Een symmetrisch gewapende rechthoekige doorsnede kan gedimensioneerd worden met behulp van de interactiediagrammen die weergegeven zijn in de figuren [5.9](#) tot [5.12](#).

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,  $f_{ck} \leq 50$  MPa,  $f_{cd} = 0,85f_{ck}/\gamma_c$
- Symmetrische dubbele wapening met doorsneden  $A_{s1} = A_{s2}$ , 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  $\nu_{Ed,h}$  en het gereduceerd moment  $\mu_{Ed,h}$  worden als volgt gedefinieerd:

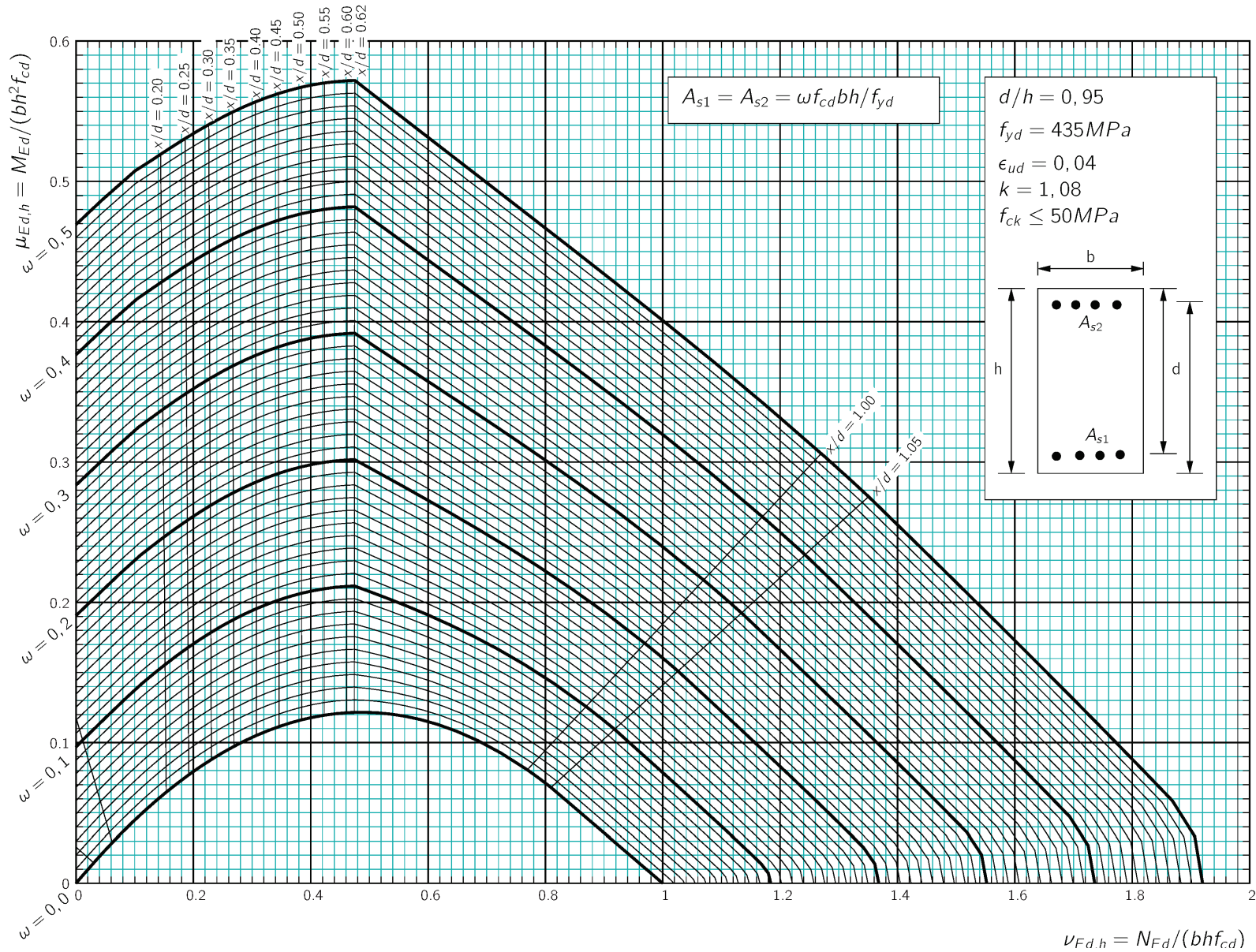
$$\nu_{Ed,h} = \frac{N_{Ed}}{bh f_{cd}} \quad \text{en} \quad \mu_{Ed,h} = \frac{M_{ed}}{bh^2 f_{cd}}$$

De wapeningsdoorsneden worden bekomen op basis van de mechanische wapeningsverhouding  $\omega$

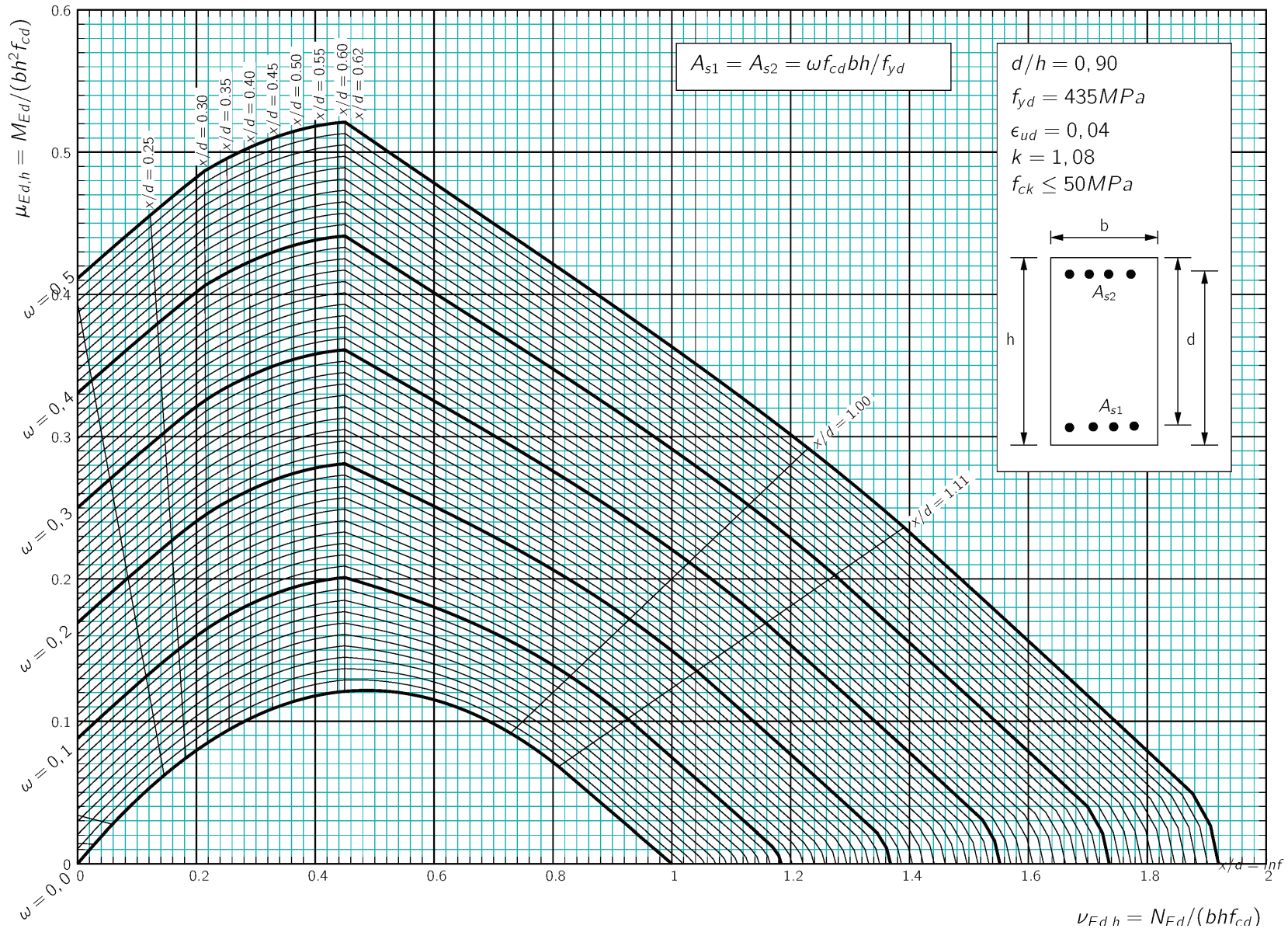
$$\omega = \frac{A_{s1} f_{yd}}{bh f_{cd}} = \frac{A_{s2} f_{yd}}{bd f_{cd}} \quad \text{of} \quad A_{s1} = A_{s2} = \omega bh \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

De diagrammen 9, 10, 11 en 12 zijn respectievelijk opgesteld voor de waarden  $d/h = 0,95$ ,  $d/h = 0,90$ ,  $d/h = 0,85$  en  $d/h = 0,80$ .

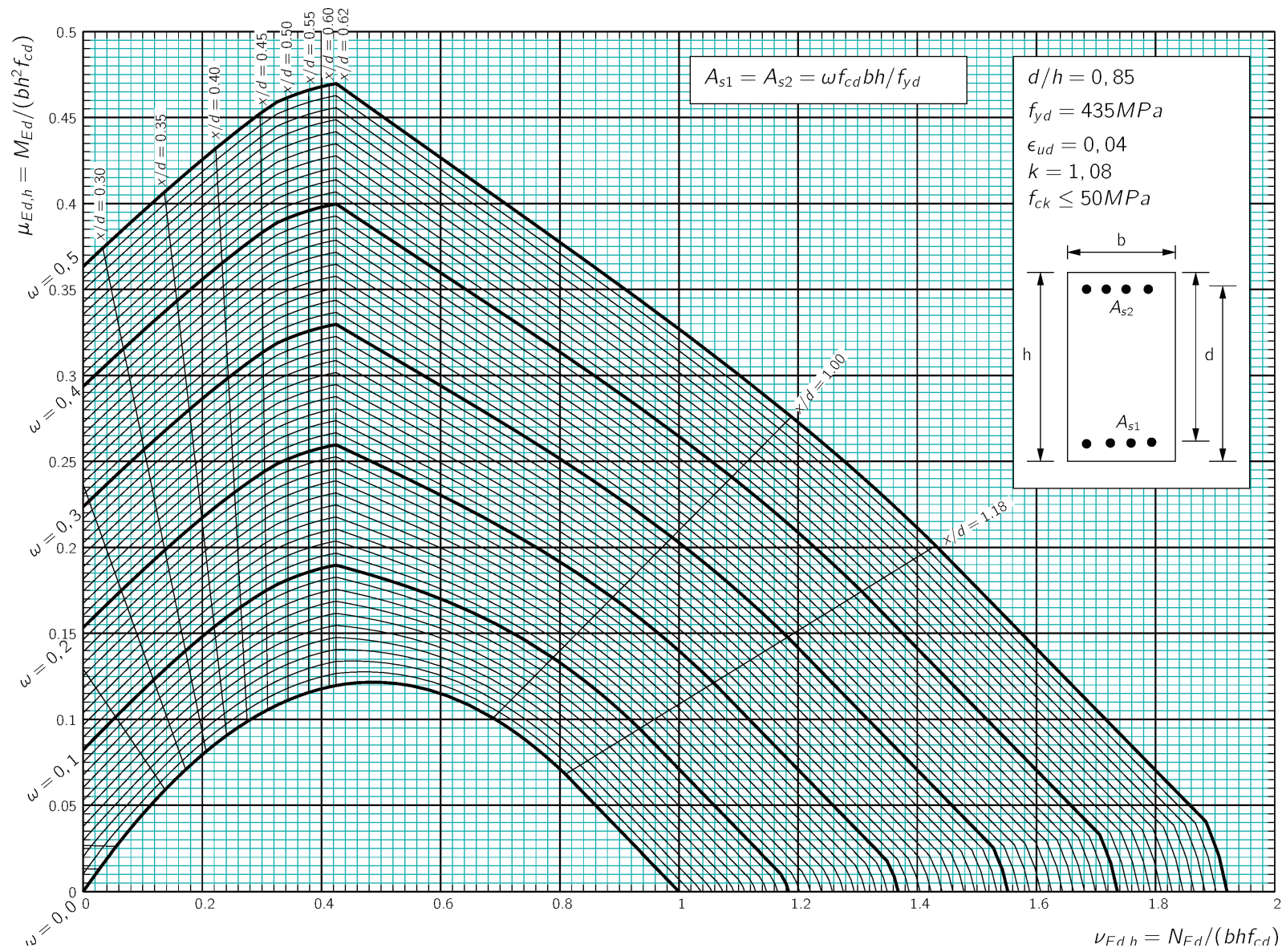
Figuur 5.9 Interactiediagram voor een dubbelgewapende symmetrische rechthoekige doorsnede –  $d/h = 0,95$



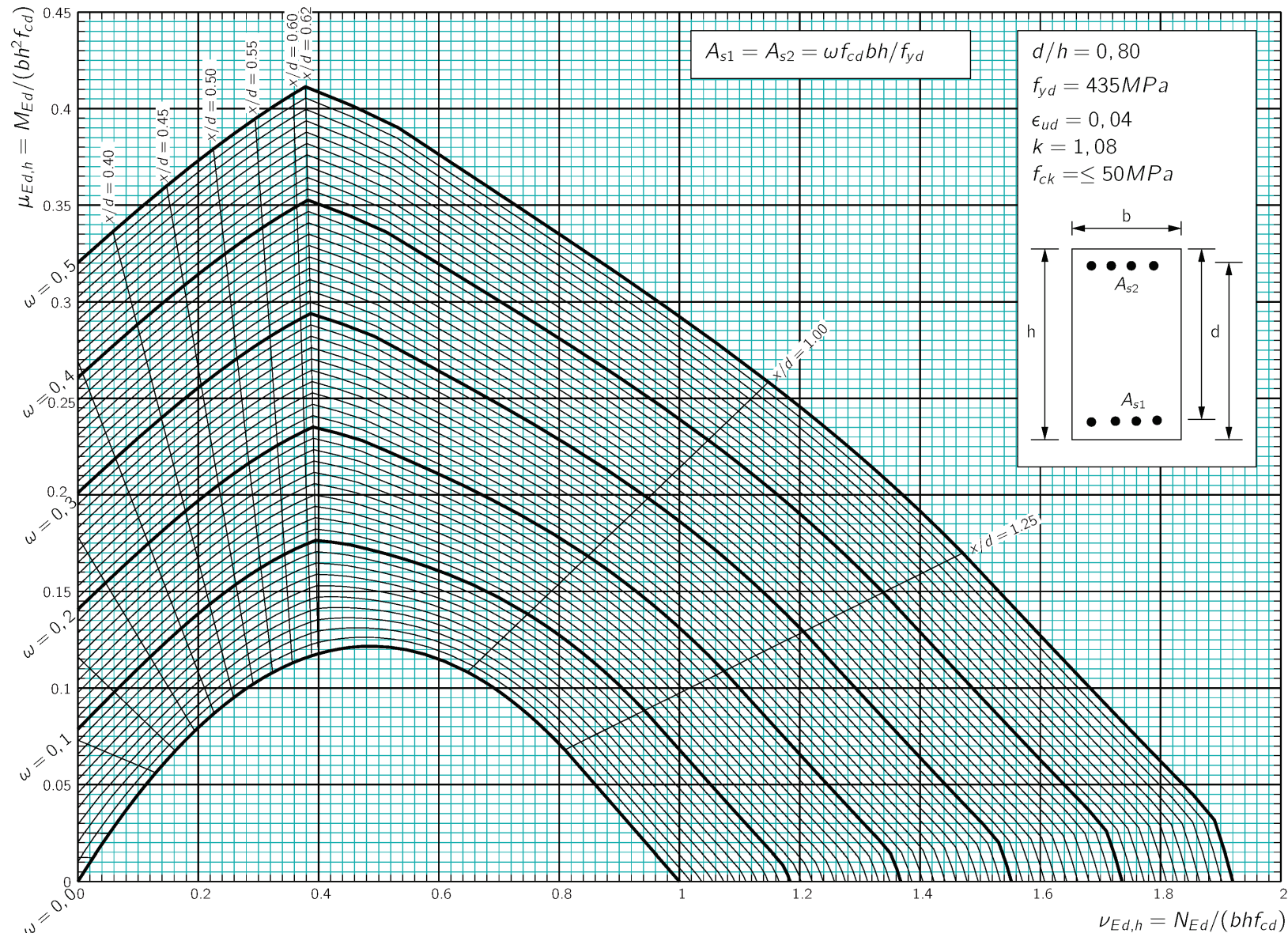
Figuur 5.10 Interactiediagram voor een dubbelgewapende symmetrische rechthoekige doorsnede –  $d/h = 0,90$



Figuur 5.11 Interactiediagram voor een dubbelgewapende symmetrische rechthoekige doorsnede –  $d/h = 0,85$



Figuur 5.12 Interactiediagram voor een dubbelgewapende symmetrische rechthoekige doorsnede –  $d/h = 0,80$



### 5.10.2 Cirkelvormige dwarsdoorsnede

Een cirkelvormige dwarsdoorsnede kan gedimensioneerd worden met behulp van de interactiediagrammen die weergegeven zijn in de [Figuren 5.13](#) tot [5.16](#).

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,  $f_{cd} = 0,85 f_{ck} / \gamma_c$
- 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,  $\epsilon_{ud} = 0,8 \cdot 0,05 = 0,04$ ,  $k = (f_t / f_{yk})_k = 1,08$

De gereduceerde langskracht  $v_{Ed,h}$  en het gereduceerd moment  $\mu_{Ed}$  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

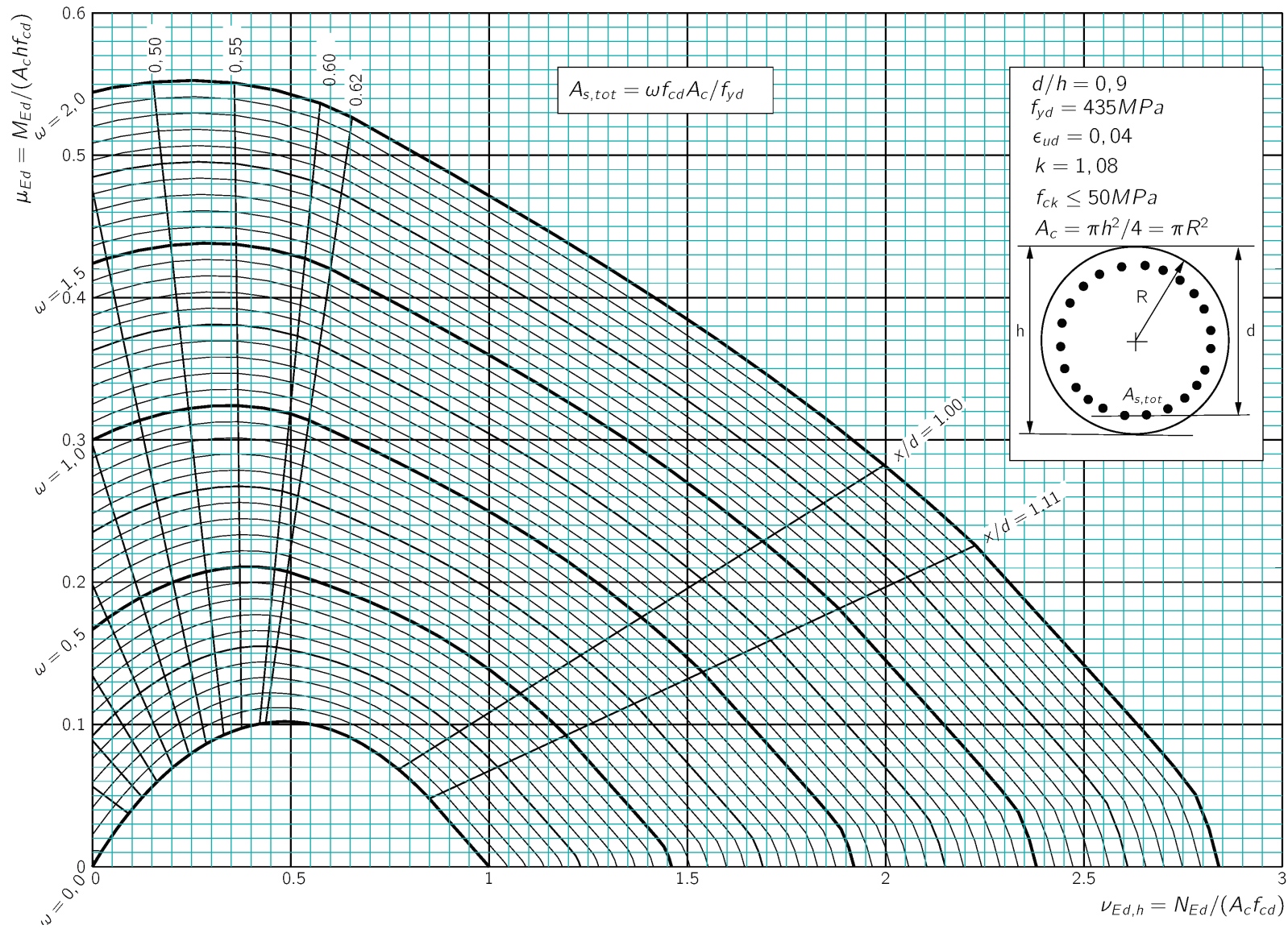
$A_c$  de dwarsdoorsnede  $A_c = \pi h^2 / 4$

De wapeningsdoorsnede wordt bekomen op basis van de mechanische wapeningsverhouding  $\omega$

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}} \quad \text{of} \quad A_s = \omega A_c \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

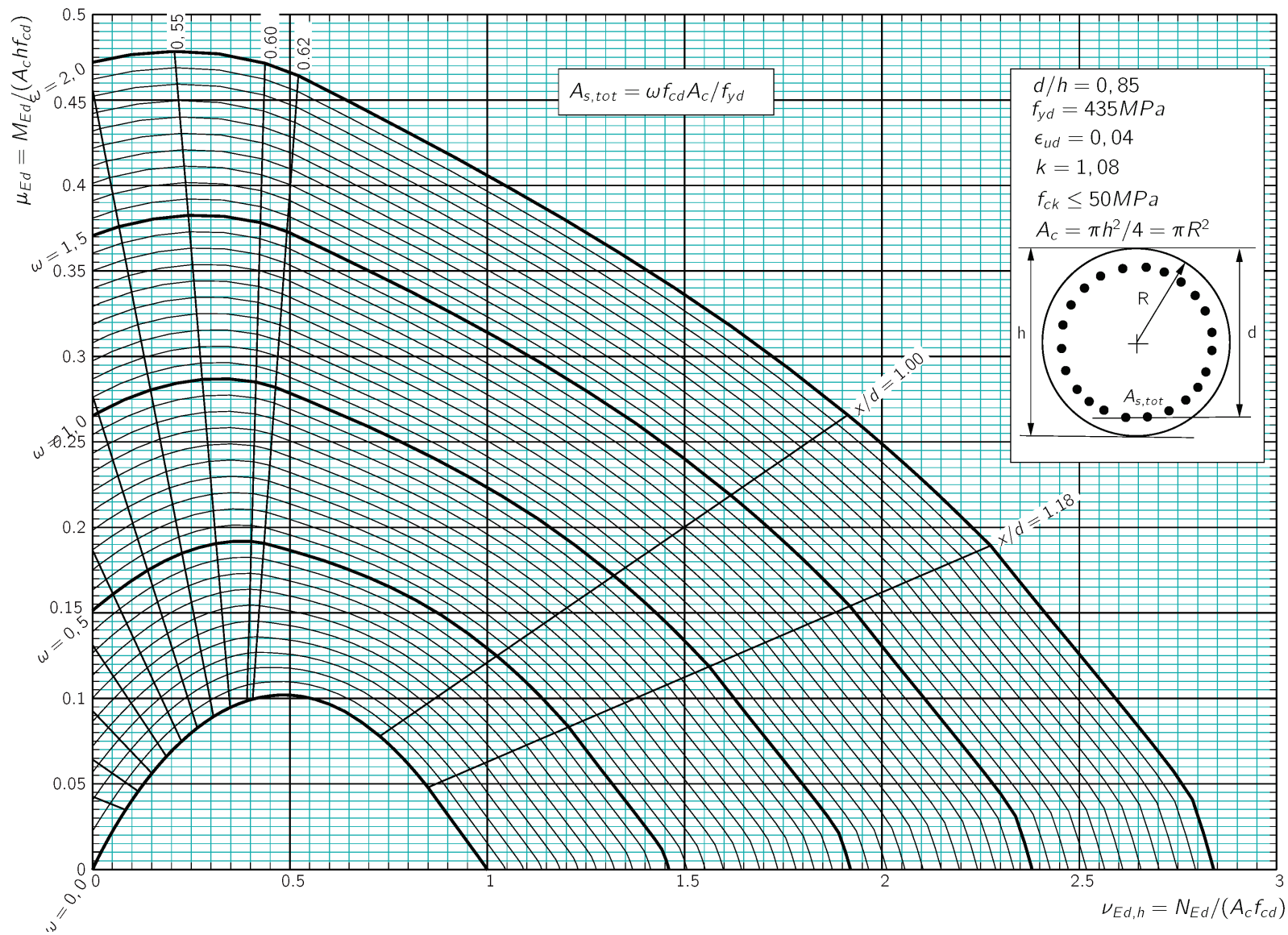
De diagrammen 13, 14, 15 en 16 zijn respectievelijk opgesteld voor de waarden  $d/h = 0, 90$ ,  $d/h = 0,85$ ,  $d/h = 0,80$  en  $d/h = 0,75$

Figuur 5.13 Interactiediagram voor een cirkelvormige doorsnede –  $d/h = 0,90$

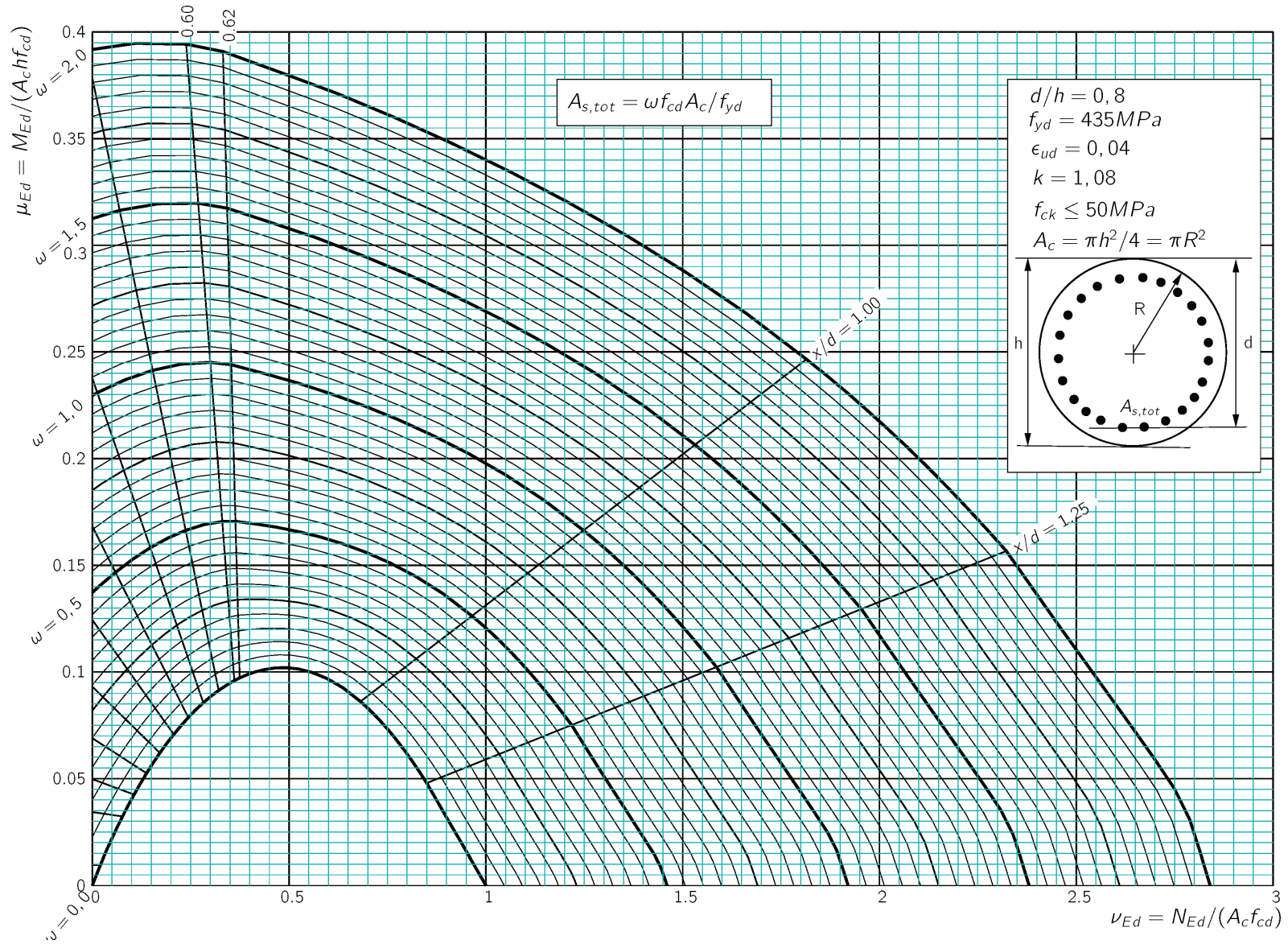




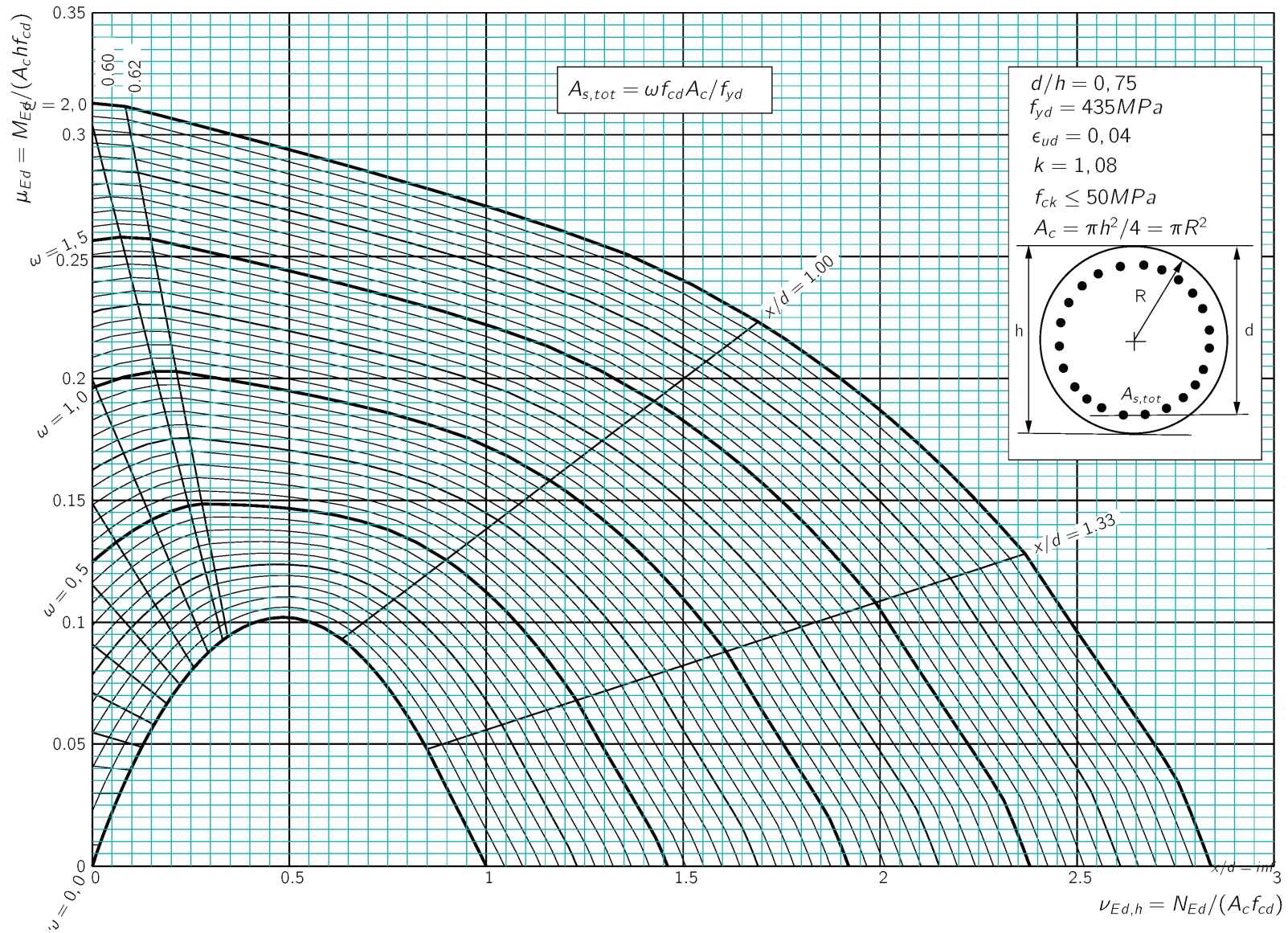
Figuur 5.14 Interactiediagram voor een cirkelvormige doorsnede –  $d/h = 0,85$



**Figuur 5.15** Interactiediagram voor een cirkelvormige doorsnede –  $d/h = 0,80$



**Figuur 5.16 Interactiediagram voor een cirkelvormige doorsnede –  $d/h = 0,75$**



### 5.11 Kruip

Afhankelijk van de aannamen in het ontwerp, kan het nodig zijn de effectieve kruipcoëfficiënt  $\varphi_{ef}$  te bepalen (zie 3.1.4 en 5.8.4 van NBN EN 1992-1-1). In Eurocode 2 is een nomogram opgenomen (Figuur 3.1 van NBN EN 1992-1-1) dat kan toegepast worden indien de sterkteklasse van het cement bekend is. Deze is echter in een ontwerp stadium vaak nog niet bekend. In het algemeen kan dan sterkteklasse R worden aangenomen. Indien meer dan 35 % hoogovenslak of meer dan 20 % vliegias wordt toegepast, mag sterkteklasse N worden gehanteerd. Als deze verhoudingen groter zijn dan respectievelijk 65 % en 35 %, mag worden uitgegaan van klasse S.

### 5.12 Dubbele buiging

De invloed van dubbele buiging kan worden gecontroleerd met vergelijking (5.39), voor het eerst opgesteld door Bresler (Lid 5.8.9 (4)):

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

waarin:

$M_{Edz,y}$  = Rekenwaarde van het aangrijpend moment om de respectievelijke assen, inclusief het tweede-orde moment bij slanke kolommen

$M_{Rdz,y}$  = Momentweerstand in de respectievelijke richtingen z of y,

$a$  = 2 voor cirkelvormige en elliptische doorsneden. De waarden van de exponent  $a$  voor rechthoekige doorsneden zijn opgenomen in [Tabel 5.5](#).

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

Tabel 5.5 Waarden van  $a$  voor rechthoekige doorsneden

$N_{Ed}/N_{Rd}$	0,1	0,7	1,0
$a$	1,0	1,5	2,0
<b>Opmerking</b> Voor tussenliggende waarden mag lineair worden geïnterpoleerd.			

### 5.13 Ongeschoorde kolommen

De berekening van ongeschoorde kolommen vereist over het algemeen een tweede-orde analyse van de volledige constructie. Eurocode 2 bevat geen verwijzingen met betrekking tot het ontwerpen en berekenen van schorende raamwerken. Wel worden aanduidingen gegeven met betrekking tot de effectieve lengte van een ongeschoord element in Vgl. (5.16). Voor C moet altijd een waarde 0,7 worden gehanteerd bij toepassing van Vgl. (5.13N). De rekenwaarden van de momenten moeten worden bepaald met inbegrip van tweede-orde effecten.

In dit document worden geen ongeschoorde kolommen behandeld.

De getabuleerde methode voor de bepaling van de brandweerstand (Deel 1-2) mag gebruikt worden voor ongeschoorde kolommen, rekening houdend met de voorwaarden zoals bepaald in de ANB.

### 5.14 Wanden

Als de langste zijde van de doorsnede groter is dan viermaal de kortste zijde, wordt het element beschouwd als zijnde een wand. Het ontwerpen en berekenen van wanden verschilt niet significant van dat van kolommen, met uitzondering van:

- Eisen met betrekking tot brandweerstand (zie [Tabel 5.3](#)).
- Buiging ten opzichte van de zwakke as is bepalend.
- Afwijkende regels voor staafafstanden en wapeningshoeveelheden (zie hierna).

Voor het stabiliteitsnazicht bij buiging om de sterke as, worden geen specifieke richtlijnen gegeven. Staafwerkmodellen kunnen worden gebruikt (Lid 6.5 van de Eurocode).

Tabel 5.3 Afmetingen en asafstanden voor wanden in gewapend beton met betrekking tot brandweerstand<sup>a</sup>

Standaard-brandwerendheid	Minimale afmetingen (mm)	
	Wanddikte/asafstand, a, voor de hoofdwapening	
	Wanden blootgesteld aan één zijvlak ( $\mu_{fi} = 0,7$ )	Wanden blootgesteld aan twee zijvlakken ( $\mu_{fi} = 0,7$ )
REI 60	130/10 <sup>a</sup>	140/10 <sup>a</sup>
REI 90	140/25	170/25
REI 120	160/35	220/35
REI 240	270/60	350/60

**Opmerkingen**  
 1 De tabel is ontleend aan NBN EN 1992-1-2 Tabel 5.4.  
 2 Zie opmerking 3.4 bij [Tabel 5.2](#).  
**Legende**  
 a Algemeen zijn de regels voor betondekking van NBN EN 1992-1-1 van toepassing.

## 5.15 Regels voor staafafstanden en voor de vereiste hoeveelheid betonstaal

### 5.15.1 Maximale wapeningsverhouding

Buiten de gebieden met overlappings mag in kolommen en wanden de wapeningsverhouding niet groter zijn dan 4 %. Deze waarde kan evenwel worden verhoogd indien kan worden aangetoond dat het storten van het beton en de verdichting ervan geen problemen oplevert. In zones met een hoge concentratie aan wapening, kan zelfverdichtend beton worden toegepast.

### 5.15.2 Minimale wapeningsverhouding

Voor de minimale diameter van de langswapening wordt 12 mm aanbevolen voor ter plaatse gestorte elementen en 8 mm voor horizontaal gestorte geprefabriceerde elementen. De minimale dwarsdoorsnede van de langswapening in kolommen wordt gegeven door Vgl. (9.12N) van Lid 9.5.2(2):  $A_{s,min} = 0,10 N_{Ed}/f_{yd} \geq 0,002A_c$

De diameter van de dwarswapening mag niet kleiner zijn dan 6 mm of een vierde van de maximale diameter van de langswapeningsstaven.

### 5.15.3 Maximale afstand van dwarswapening in kolommen

De maximale afstand tussen dwarswapeningen (beugels) in kolommen (Lid 9.5.3 (3)) mag niet groter zijn dan:

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

Binnen een afstand gelijk aan de grootste afmeting van de kolomdoorsnede boven of onder een balk of plaat, moet deze maximale afstand worden vermenigvuldigd met 0,6. In overlappingszones van de langswapening met een staafdiameter groter dan 14 mm, moet deze factor 0,6 eveneens worden toegepast. Binnen de overlappingslengte moeten minimum drie dwarsstaven gelijkmatig worden verspreid.

De minimale afstand tussen de staven moet groter zijn dan of gelijk aan de grootste van de volgende waarden: 1 x de staafdiameter, de maximale korrelafmeting van de granulaten + 5 mm of 20 mm.

### 5.15.4 Specifieke eisen voor wanden

De minimale oppervlakte van de langswapening wordt gegeven door  $A_{s,min} = 0,002A_c$ .

De maximale oppervlakte van de langswapening wordt gegeven door  $A_{s,max} = 0,04 A_c$ .

De afstand tussen twee naburige verticale staven mag niet groter zijn dan de kleinste waarde van: driemaal de wanddikte en 400 mm.

De minimale oppervlakte van de horizontale wapening in wanden is gelijk aan de grootste waarde van 25 % van de langswapening en  $0,001A_c$ . Indien men scheurvorming ten gevolge van thermische effecten of krimp wil beheersen, kan een grotere wapeningshoeveelheid noodzakelijk zijn.

De afstand tussen twee naburige horizontale staven mag niet groter zijn dan 400 mm.

In die delen van een wand waar de totale doorsnede van de verticale wapening geplaatst aan de twee zijvlakken, groter is dan  $0,02 A_c$ , moet dwarswapening geplaatst worden onder de vorm van beugels of spelden, conform de eisen voor kolommen (zie Eurocode 2 en 9.5.3). De grootste afmeting die vermeld is in 9.5.3(4) (i) van Eurocode 2 mag niet groter genomen worden dan 4 maal de wanddikte.

Wanneer de hoofdwapening de wapeningslaag is die zich het dichtst bij de zijvlakken van de wand bevindt, moeten minstens 4 dwarswapeningen voorzien worden onder de vorm van beugels of spelden, per m<sup>2</sup> wandoppervlakte.

Het is niet nodig om dwarswapening te voorzien indien gelaste wapeningsnetten of staven met een diameter  $\leq 16$  mm voorzien worden met een betondekking van minstens  $2\Phi$ .

### 5.16 Selectie van symbolen

Symbol	Omschrijving	Grootte
$l/r_0$	referentiekromming	$\varepsilon_{yd}/(0,45 d)$
$l/r$	kromming	$K_r K_\phi 1/r_0$
$a$	asafstand bij nazicht van brandweerstand	
$A$	factor voor het bepalen van de grenswaarde van de slankheid	$1 / (1+0,2 \varphi_{ef})$
$A_c$	oppervlakte van de betondoorsnede	$bh$ (voor een rechthoekige doorsnede)
$A_s$	oppervlakte van de totale wapeningsdoorsnede in een kolom	
$B$	factor voor het bepalen van de grenswaarde van de slankheid	
$c$	coëfficiënt die afhankelijk is van het krommingsverloop	10 (voor een constante dwarsdoorsnede)
$C$	factor voor het bepalen van de grenswaarde van de slankheid	$1,7 - r_m$
$d$	nuttige hoogte	
$e_2$	tweede-orde excentriciteit	$(1/r)l_0^2/c$
$e_1$	excentriciteit ten gevolge van geometrische imperfecties	
$E_s$	elasticiteitsmodulus van het betonstaal	200 GPa
$f_{cd}$	rekenwaarde van de betondruksterkte	$\alpha_{cc} f_{ck}/\gamma_c$
$f_{ck}$	karacteristieke cilinderdruksterkte van beton	
$l$	vrije lengte van gedrukte elementen tussen de eindaansluitingen	
$l_0$	effectieve lengte (kniklengte)	
$K_r$	correctiecoëfficiënt afhankelijk van de normaalkracht	
$K_\phi$	coëfficiënt voor het in rekening brengen van kruip	
$M_{01}, M_{02}$	eerste-orde momenten $ M_{02}  \geq  M_{01} $	
$M_2$	nominaal tweede-orde moment	$N_{Ed} e_2$

$M_{0c}$	equivalent eerste-orde moment	$0,6 M_{02} + 0,4 M_{01} \geq 0,4 M_{02}$
$M_{Ed}$	rekenwaarde van het aangrijpend buigend moment	
$M_{Eqp}$	eerste-orde buigend moment onder de quasi-blijvende belastingscombinatie	
$n$	gereduceerde normaalkracht	$N_{Ed}/(A_c f_{cd})$
$n_{bal}$	waarde van $n$ voor de maximale momentweerstand	0,4
$n_u$	coëfficiënt voor het in rekening brengen van de invloed van kolomwapening	$1 + \omega$
$N_{Ed}$	rekenwaarde van de aangrijpende normaalkracht	
$r_m$	momentverhouding	$M_{01}/M_{02}$
$x$	hoogte van de drukzone	$(d - z)/0,4$
$z$	inwendige hefboomsarm	
$\alpha_{cc}$	coëfficiënt die langeduureffecten op de druksterkte en ongunstige effecten voorkomend uit de manier waarop de belasting wordt aangebracht, in rekening brengt	0,85 voor de berekening van doorsneden onderworpen aan enkelvoudige of samengestelde buiging
$\beta$	coëfficiënt	$0,35 + (f_{ck}/200) - (\lambda/150)$
$\varepsilon_{yd}$	rek corresponderend met de rekenwaarde van de elasticiteitsgrens van het betonstaal	$f_{yd}/E_s$
$\gamma_m$	partiële factor voor materiaaleigenschappen	1,15 voor betonstaal ( $\gamma_s$ ) 1,5 voor beton ( $\gamma_c$ )
$\lambda$	slankheid	$l_0/i$
$\lambda_{lim}$	grenswaarde van de slankheid	
$\mu_{fi}$	belastingsniveau in een brandsituatie	$N_{Ed,fi}/N_{Rd}$
$\eta_{fi}$	Reductiefactor van de rekenwaarde van het belastingsniveau in een brandsituatie	$N_{Ed,fi}/N_{Ed}$
$\varphi_{ef}$	effectieve kruipcoëfficiënt	$\varphi_{(e,10)} M_{Eqp}/M_{Ed}$
$\varphi_{(e,10)}$	eindwaarde van de kruipcoëfficiënt volgens lid 3.1.4	
$\omega$	mechanische wapeningsverhouding	$A_s f_{yd}/(A_c f_{cd})$
$ x $	absolute waarde van $x$	
Max. $\{x, y, z\}$	het maximum van de waarden van $x$ en $y + z$	

### 5.17 Referenties

- 1 NBN EN 1992-1-1 - Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1 Algemene regels en regels voor gebouwen.*
- 3 NBN EN 1992-1-2 - Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies - Ontwerp en berekening van constructies bij brand.*
- 5 MOSS, R M & BROOKER, O. *How to design concrete structures using Eurocode 2: Columns*, (TCC/03/20).The Concrete Centre, 2006.

**Bijkomende referenties voor geprefabriceerde constructies**

- 1 NBN EN 13225 - *Geprefabriceerde betonproducten - Lijnvormige dragende elementen* +  
NBN B 21-604 - *Geprefabriceerde betonproducten - Lijnvormige dragende bouwdelen - Nationale aanvulling bij NBN EN 13225*
- 2 NBN EN 12794+A1 - *Geprefabriceerde betonproducten - Funderingspalen* +  
NBN B 21-613 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten - Funderingspalen - Nationale aanvulling bij NBN EN 12794+A1*
- 3 NBN EN 13369 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten* +  
NBN B 21-600 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten - Nationale aanvulling bij NBN EN 13369*



## 6. Funderingen

### 6.1 Inleiding

### 6.2 Eurocode 7: Geotechnisch ontwerp

### 6.3 Toepassingsgebied

Het ontwerpen en berekenen van een fundering omvat twee stappen: het geotechnisch ontwerp en het ontwerp van de fundering zelf. Voor sommige funderingen (bv. buigzame funderingsplaten) kan de interactie tussen de grond en de constructie bepalend zijn en deze moet dan ook beschouwd worden. Het geotechnisch ontwerp valt onder Eurocode 7<sup>1</sup>, die uit twee delen bestaat: Deel 1: *Algemene regels* en Deel 2: *Ontwerp ondersteund door laboratoriumonderzoek*.

In dit hoofdstuk worden de essentiële onderdelen van Eurocode 7, Deel 1, voor het ontwerpen en berekenen van funderingen behandeld. Op te merken valt dat in dit hoofdstuk alleen het berekenen van relatief eenvoudige funderingen wordt behandeld, hetgeen slechts een klein deel van het totale toepassingsgebied van Eurocode 7 uitmaakt. In deze publicatie vindt men dan ook geen algemene informatie over het volledige toepassingsgebied van Eurocode 7.

### 6.4 Grenstoestanden

Aan de volgende uiterste grenstoestanden (UGT), die alle hun eigen belastingscombinaties hebben, moet in het geotechnisch ontwerp worden voldaan (voor uitleg over de terminologie van de Eurocodes, zie hoofdstuk [1. Inleiding tot de Eurocodes](#)):

- EQU verlies van statisch evenwicht van de constructie (deze UGT komt zelden voor; het nazicht van GEO bevat factoren die rekening houden met de invloed van excentriciteiten en momenten)
- STR intern bezwijken of zeer grote vervormingen van de constructie of een constructieonderdeel
- GEO bezwijken of zeer grote vervormingen van de ondergrond
- UPL verlies van statisch evenwicht (opdrijven) door de opwaartse hydrostatische waterdruk (onderdruk van het water)
- HYD hydraulische grondbreuk of inwendige erosie ten gevolge van hydraulische gradiënten.

Aanvullend moet worden voldaan aan de bruikbaarheidsgrenstoestanden (BGT). Het zal meestal duidelijk zijn dat één van deze grenstoestanden maatgevend is voor het ontwerp, waardoor het niet nodig is dat controles voor alle grenstoestanden expliciet worden uitgevoerd. Het wordt echter in het algemeen gezien als ‘goede’ praktijk dat ze alle in beschouwing zijn genomen.

### 6.5 Geotechnische categorieën

Eurocode 7 beveelt aan gebruik te maken van drie ‘geotechnische categorieën’ als hulpmiddel bij het vaststellen van de geotechnische ontwerpcriteria die op een constructie van toepassing zijn (zie [Tabel 6.1](#)).

Het document “ Standaardprocedures voor geotechnisch onderzoek: Algemene Bepalingen - versie 14 juli 2016 ” (p. 15 tot 17) geeft meer details betreffende de interpretatie van de geotechnische categorieën in België. Deze interpretatie zal geïntegreerd worden in de volgende versie van de ANB van EC7.

[http://www.bggg-gbms.be/media/docs/TF2\\_Algemene\\_bepalingen\\_2016\\_07\\_14.pdf](http://www.bggg-gbms.be/media/docs/TF2_Algemene_bepalingen_2016_07_14.pdf)

Tabel 6.1 Geotechnische categorisatie van constructies

Categorie	Omschrijving	Risico op geotechnisch bezwijken	Voorbeelden uit Eurocode 7
1	Kleine en relatief eenvoudige constructies	Verwaarloosbaar	Geen voorbeelden gegeven
2	Gebruikelijke constructietypes en funderingen zonder complexe grond- of belastingsgesteldheid	Geen buitengewoon risico	Funderingen op staal
3	Alle andere constructies	Abnormaal risico	grote of ongewone constructies; buitengewone grondgesteldheid

## 6.6 Ontwerpmethoden en combinaties

Onder geotechnici werd tot nu toe geen consensus bereikt over het toepassen van de principes van de grenstoestanden bij het geotechnisch ontwerp. Om rekening te houden met de verschillende inzichten voorziet Eurocode 7 in drie ontwerpbenaderingen die in de UGT kunnen worden toegepast. Welke ontwerpbenadering in een bepaald land wordt gevolgd, is vastgelegd in de Nationale Bijlage. Ontwerpbenadering 1 (met uitsluiting van axiaal belaste palen en ankers), die in België van toepassing is, wordt in dit hoofdstuk behandeld.

In deze ontwerpbenadering worden twee groepen combinaties voorgesteld voor het nazicht van de grenstoestanden STR en GEO. De waarden van de partiële factoren voor de belastingen voor deze twee combinaties zijn vermeld in [Tabel 6.2](#), terwijl in [Tabel 6.3](#) de waarden van de partiële factoren voor de geotechnische parameters van de grond zijn vermeld. Hun waarde wordt bekomen door de karakteristieke waarde te delen door de betreffende partiële factor.

Combinatie 1 laat toe om de veiligheid te verifiëren met betrekking tot de variatie van de belastingen en is over het algemeen bepalend voor de structurele sterkte.

Combinatie 2 laat toe om de veiligheid te verifiëren met betrekking tot de variatie van de geotechnische parameters van de grond en is over het algemeen maatgevend voor het dimensioneren van de funderingen.

De partiële factoren voor de grondweerstand tegen glijding en voor het draagvermogen moeten voor de twee combinaties gelijk aan 1,0 gesteld worden.

De rekenwaarden voor de materiaaleigenschappen van beton en betonstaal worden gegeven in EC2.

Voor de BGT geeft Eurocode 7 geen enkel advies met betrekking tot het gebruik van de karakteristieke, de frequente of de quasi-blijvende belastingscombinatie. Indien de methode met voorschriften wordt gebruikt voor funderingen op staal (zie lid [6.8 Funderingen op staal](#)), moet de karakteristieke belastingscombinatie worden gebruikt (met  $\psi_0$ ).

Voor de directe rekenmethodes kan de frequente belastingscombinatie worden gebruikt voor de dimensionering van de funderingen en de quasi-blijvende combinatie (met  $\psi_1$ ) voor de zettingsberekening.

Voor meer informatie aangaande belastingscombinaties, zie hoofdstuk [1 Inleiding tot de Eurocodes](#).

Tabel 6.2 Partiële belastingsfactoren in de uiterste grenstoestanden STR/GEO voor blijvende en tijdelijke ontwerpsituaties

Referentie van de vergelijkingen van de combinaties in NBN EN 1990	Blijvende belastingen		Overheersende veranderlijke belasting	Veranderlijke belastingen* gelijktijdig met de overheersende	
	Ongunstig	Gunstig		Belangrijke ste(zonodig)	Andere
<b>Combinatie 1 (Toepassing van combinatie 1 (NBN EN 1997) op groep B (NBN EN 1990))</b>					
Vgl. (6.10)	1,35 $G_k^a$	1,0 $G_k^a$	1,5 <sup>b</sup> $Q_k$	–	1,5 <sup>b</sup> $\psi_{0,i}^c Q_{k,i}$
<b>Combinatie 2 (Toepassing van combinatie 2 (NBN EN 1997) op groep C (NBN EN 1990 ANB))</b>					
Vgl. (6.10)	1,0 $G_k^a$	1,0 $G_k^a$	1,1 <sup>b</sup> $Q_{k,1}$	–	1,1 <sup>b</sup> $\psi_{0,i}^c Q_{k,i}$
<b>Legende</b>					
In de tabel zijn de aanbevolen waarden voor $\gamma_G$ , $\gamma_Q$ en $\zeta$ vermeld.					
<b>a</b> Indien de variatie van de permanente belasting als niet significant beoordeeld wordt, mogen de waarden van $G_{k,i,sup}$ en $G_{k,i,inf}$ gelijk gesteld worden aan $G_k$ .					
<b>b</b> Wanneer de belasting gunstig is, is $\gamma_{Q,i} = 0$ en moeten de veranderlijke belastingen niet beschouwd worden.					
<b>c</b> De waarde van $\psi_0$ kan worden ontleend aan NBN EN 1990 ANB (of zie <a href="#">Tabel 1.3</a> ).					

Tabel 6.3 Partiële factoren voor de geotechnische grondparameters ( $\gamma_M$ ) – normaal risico

	Hoek van inwendige wrijving (van toepassing op $\tan \varphi'$ )	Effectieve cohesie	Ongedraineerde schuifsterkte	Prismadruk-sterkte	Volumiek gewicht
<b>Symbol</b>	$\gamma_\varphi'$	$\gamma_c'$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_{qu}$	$\gamma_\gamma$
Combinatie 1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Combinatie 2	1,25	1,25	1,4	1,4	1,0

## 6.7 Geotechnisch ontwerprapport

Voor elk project moet bij voorkeur een geotechnisch ontwerprapport worden opgesteld, ook al bestaat het maar uit een enkele bladzijde. Het rapport moet detailinformatie over de bouwlocatie bevatten, de interpretatie van het grondonderzoeksrapport, de geotechnische ontwerpadviezen, de adviezen over de supervisie en het monitoren tijdens de werkzaamheden en het onderhoud van de constructies. Bij het opstellen van dit rapport zal veelal, afhankelijk van het antwoord op de vraag of het behoort tot veiligheidsklasse 1, 2 of 3 ([Tableau 6.1](#)), informatie van meer dan één adviseur nodig zijn.

Het funderingstechnisch advies moet het draagvermogen en de karakteristieke waarden van grondparameters vermelden. Ook moet duidelijk worden aangegeven of deze geldig zijn voor UGT dan wel voor BGT.

## 6.8 Funderingen op staal

Het geotechnisch ontwerp van funderingen op staal (bv. funderingsstroken en funderingsvoeten) wordt behandeld in hoofdstuk 6 van Eurocode 7, Deel 1. Drie ontwerpmethoden worden gegeven:

- Directe methode – voor elke mogelijke grenstoestand wordt een berekening uitgevoerd.
- Indirecte methode – experimenten en proeven worden gebruikt om BGT-parameters zodanig te bepalen dat aan alle relevante grenstoestanden voldaan wordt (opgenomen

in Eurocode 7, voornamelijk om aan te sluiten bij Franse ontwerpmethoden, die hier niet behandeld worden).

- Methode op basis van voorschriften, waarbij een aangenomen draagkracht wordt gebruikt.

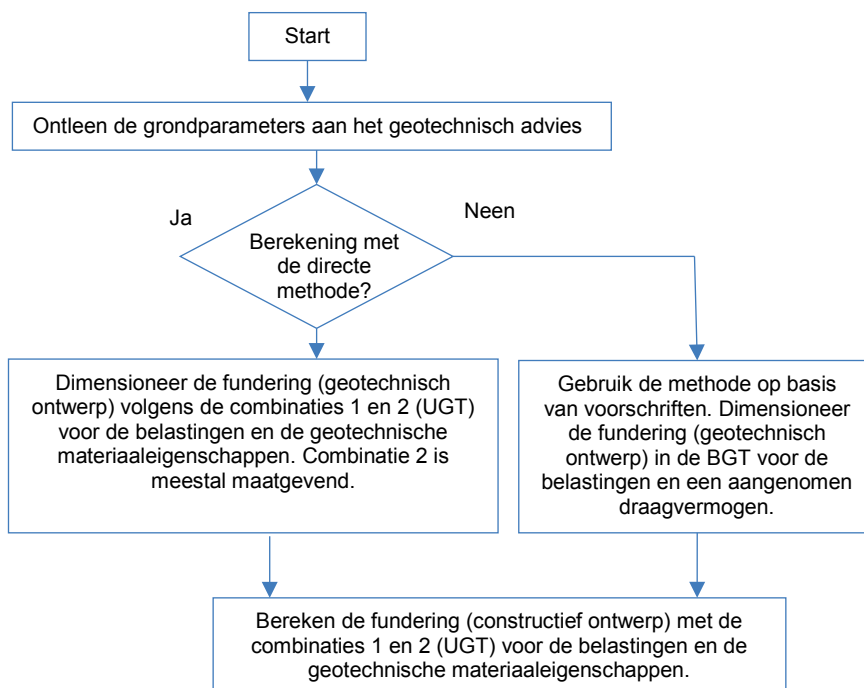
Voor de meeste funderingen op staal zal de zetting het maatgevend criterium zijn. Traditioneel worden ‘toelaatbare gronddrukken’ gebruikt om de zettingen te beperken. Het concept waarbij de veiligheidsfactor op de draagkracht wordt verhoogd, mag nog steeds worden gebruikt met de methode op basis van voorschriften. Een uitzondering wordt gemaakt voor slappe klei, waarvoor Eurocode 7 eist dat steeds zettingsberekeningen worden uitgevoerd.

Bij gebruik van de directe methode moeten voor elke grenstoestand berekeningen worden uitgevoerd. In de UGT moet de draagkracht van de grond worden gecontroleerd, gebruikmakend van partiële factoren voor de grondparameters en de belastingen. In de BGT wordt de zetting van de funderingen berekend en wordt deze vergeleken met toelaatbare grenswaarden.

De methode op basis van voorschriften mag worden gebruikt als het niet mogelijk of noodzakelijk is de grondparameters te berekenen en op voorwaarde dat conservatieve ontwerpregels worden gehanteerd. De huidige rekenmethoden om de toelaatbare gronddrukken te bepalen, mogen nog steeds worden gebruikt voor constructies in veiligheidsklasse 1, alsmede in voorlopige ontwerpberoekeningen voor constructies in veiligheidsklasse 2. De aangenomen weerstand rekening houdend met de zetting, mag ook worden berekend door de geotechnisch ontwerper en opgenomen in het geotechnische ontwerprapport.

In [Figuur 6.1](#) is een stroomschema weergegeven voor de ontwerp- en rekenprocedure voor funderingen op staal.

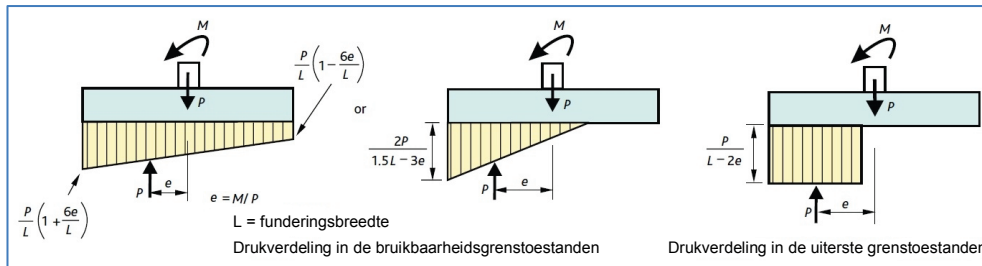
*Figuur 6.1 Procedure voor de aanlegdiepte van funderingen op staal*



De drukverdeling onder de fundering moet zodanig zijn dat de maximale spanning niet groter is dan de draagkracht ontleend aan het geotechnisch advies, in de uiterste grenstoestand GEO (zie [Figuur 6.2](#)). Als de excentriciteit in de BGT groter is dan  $L/6$  ( $L$  is de funderingsbreedte), moet de drukverdeling die gebruikt wordt om de zettingen te berekenen worden aangepast, omdat geen trek tussen het ondervlak van de fundering en de grond kan optreden. In dit geval moet de ontwerper er zich van verzekeren dat geen

nadelige gevolgen (bv. overdreven rotatie van de funderingsvoet) optreden. Er wordt op gewezen dat in de UGT de drukverdeling rechthoekig en niet trapeziumvormig zal zijn.

*Figuur 6.2 Drukverdeling onder funderingsvoeten*



**Funderingsvoeten in gewapend beton**

Als in funderingsvoeten wapening nodig is, moeten de volgende controles worden uitgevoerd:

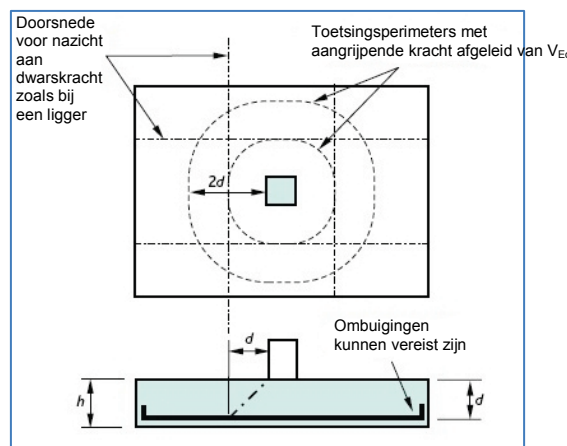
- voldoende wapening voor het opnemen van de buigende momenten
- ponsweerstand
- dwarskrachtweerstand

De buigende momenten en dwarskrachten moeten worden nagezien onder de combinatie STR

$$1,35 G_k + 1,5 Q_k \quad \text{combinatie STR (Vgl. (6.10))}$$

De maatgevende buigende momenten voor het bepalen van de buigwapening treden op aan de zijkanten van de kolom. Zowel dwarskracht als pons moeten worden nagezien op de plaatsen aangeduid in [Figuur 6.3](#). Bij het bepalen van de ponsweerstand mag de gronddruk binnen de toetsingsperimeter in mindering worden gebracht op de kolomkracht (Vgl. (6.48) en lid 6.4.4(2) van NBN EN 1992-1-1<sup>3</sup>).

*Figuur 6.3 Nazicht van dwarskracht voor funderingsvoeten*



Meestal tracht men het plaatsen van dwarskrachtwapening in funderingsvoeten om economische redenen te vermijden. Het volstaat om na te zien dat de dwarskrachtweerstand zonder dwarskrachtwapening,  $v_{Rd,c}$ , groter is dan de schuifspanning die volgt uit de rekenwaarde van de aangrijpende dwarskracht  $V_{Ed}$ .

ANB 1992-1-1 (§ 6.2.2(1)) laat toe om de weerstandbiedende dwarskracht voor elementen die met platen geassimileerd kunnen worden, te verhogen met een factor 1,25 ten opzichte van de waarde geldig voor balken. (zie [Tabel 6.6](#))

Tabel 6.6 – Waarden van  $v_{Rd,c}$  in MPa, schuifweerstand van platen zonder dwarskrachtwapening

$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,55	0,51	0,48	0,44	0,41	0,40	0,39	0,38
0,50 %	0,65	0,61	0,59	0,55	0,53	0,51	0,49	0,46
0,75 %	0,74	0,70	0,68	0,64	0,60	0,59	0,55	0,54
1,00 %	0,81	0,78	0,74	0,70	0,66	0,64	0,61	0,59
1,25 %	0,88	0,83	0,80	0,75	0,71	0,69	0,66	0,64
1,50 %	0,94	0,89	0,85	0,80	0,76	0,74	0,70	0,68
1,75 %	0,99	0,93	0,89	0,84	0,80	0,78	0,74	0,71
2,00 %	1,03	0,98	0,94	0,88	0,84	0,81	0,78	0,74

$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,61	0,58	0,54	0,49	0,46	0,44	0,41	0,40
0,50 %	0,70	0,66	0,64	0,60	0,56	0,55	0,53	0,50
0,75 %	0,80	0,75	0,73	0,68	0,65	0,63	0,60	0,58
1,00 %	0,88	0,83	0,80	0,75	0,71	0,69	0,66	0,64
1,25 %	0,95	0,90	0,86	0,81	0,78	0,75	0,71	0,69
1,50 %	1,00	0,95	0,91	0,86	0,83	0,79	0,75	0,73
1,75 %	1,06	1,00	0,96	0,90	0,86	0,84	0,79	0,76
2,00 %	1,10	1,05	1,00	0,94	0,90	0,88	0,83	0,80

$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,68	0,63	0,59	0,54	0,50	0,48	0,44	0,43
0,50 %	0,74	0,70	0,68	0,64	0,60	0,59	0,55	0,54
0,75 %	0,85	0,80	0,78	0,73	0,69	0,66	0,64	0,61
1,00 %	0,94	0,89	0,85	0,80	0,76	0,74	0,70	0,68
1,25 %	1,00	0,95	0,91	0,86	0,83	0,79	0,75	0,73
1,50 %	1,06	1,01	0,98	0,91	0,88	0,84	0,80	0,78
1,75 %	1,13	1,06	1,03	0,96	0,91	0,89	0,84	0,81
2,00 %	1,18	1,11	1,06	1,00	0,96	0,93	0,88	0,85

$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,74	0,68	0,64	0,58	0,54	0,51	0,48	0,45
0,50 %	0,78	0,74	0,71	0,66	0,64	0,61	0,59	0,56
0,75 %	0,89	0,85	0,81	0,76	0,73	0,70	0,66	0,65
1,00 %	0,99	0,93	0,89	0,84	0,80	0,78	0,74	0,71
1,25 %	1,06	1,00	0,96	0,90	0,86	0,84	0,79	0,76
1,50 %	1,13	1,06	1,03	0,96	0,91	0,89	0,84	0,81
1,75 %	1,19	1,13	1,08	1,01	0,96	0,94	0,89	0,85
2,00 %	1,24	1,18	1,13	1,05	1,01	0,98	0,93	0,90

$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,79	0,73	0,68	0,61	0,58	0,55	0,51	0,49
0,50 %	0,81	0,78	0,74	0,70	0,66	0,64	0,61	0,59
0,75 %	0,94	0,89	0,85	0,80	0,76	0,74	0,70	0,68
1,00 %	1,03	0,98	0,94	0,88	0,84	0,81	0,78	0,74
1,25 %	1,10	1,05	1,00	0,94	0,90	0,88	0,83	0,80
1,50 %	1,18	1,11	1,06	1,00	0,96	0,93	0,88	0,85
1,75 %	1,24	1,18	1,13	1,05	1,01	0,98	0,93	0,90
2,00 %	1,29	1,23	1,18	1,10	1,05	1,03	0,98	0,94

$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,83	0,76	0,71	0,65	0,61	0,59	0,54	0,51
0,50 %	0,85	0,80	0,78	0,73	0,69	0,66	0,64	0,61
0,75 %	0,98	0,91	0,88	0,83	0,79	0,76	0,73	0,70
1,00 %	1,06	1,01	0,98	0,91	0,88	0,84	0,80	0,78
1,25 %	1,15	1,09	1,05	0,98	0,94	0,91	0,86	0,84
1,50 %	1,23	1,16	1,11	1,04	1,00	0,96	0,91	0,89
1,75 %	1,29	1,21	1,16	1,10	1,05	1,01	0,96	0,93
2,00 %	1,35	1,28	1,23	1,15	1,10	1,06	1,01	0,98

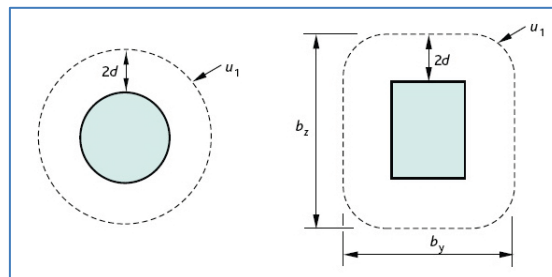
$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,88	0,81	0,76	0,69	0,65	0,61	0,56	0,54
0,50 %	0,88	0,83	0,80	0,75	0,71	0,69	0,66	0,64
0,75 %	1,00	0,95	0,91	0,86	0,83	0,79	0,75	0,73
1,00 %	1,10	1,05	1,00	0,94	0,90	0,88	0,83	0,80
1,25 %	1,19	1,13	1,09	1,01	0,98	0,94	0,89	0,86
1,50 %	1,26	1,20	1,15	1,08	1,04	1,00	0,95	0,91
1,75 %	1,34	1,26	1,21	1,14	1,09	1,05	1,00	0,96
2,00 %	1,39	1,33	1,26	1,19	1,14	1,10	1,05	1,01

Indien de schuifspanning  $v_{Rd,c}$  wordt overschreden, kan de ontwerper de dikte van de funderingsvoet vergroten. Als alternatief kan de hoeveelheid langswapening worden verhoogd of, hetgeen minder wenselijk is, kan dwarskrachtwapening worden aangebracht.

### 6.8.1 Nazicht van pons

Eurocode 2 geeft specifieke richtlijnen voor het nazicht van funderingsplaten op pons. In Eurocode 2 heeft de controleperimeter afgeronde hoeken en mogen de krachten die direct binnen de perimeter door de grond worden opgenomen, in mindering worden gebracht van de aangrijpende kracht (dit om een onnodig conservatief ontwerp te voorkomen). De kritieke perimeter moet iteratief worden bepaald, maar in het algemeen is het aanvaardbaar indien de perimeters corresponderend met  $d$  en  $2d$ , gemeten vanaf het dagvlak van de kolom, worden gecontroleerd ([Figuur 6.5](#)). De procedure voor het voldoen aan de ponsvereisten is weergegeven in [Figuur 6.4](#).

*Figuur 6.5 Controleperimeters rond belaste gebieden*



Tabel 6.7 Waarden van  $v_{Rd,c}$  in MPa, ponsweerstand van platen zonder ponswapening

$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	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

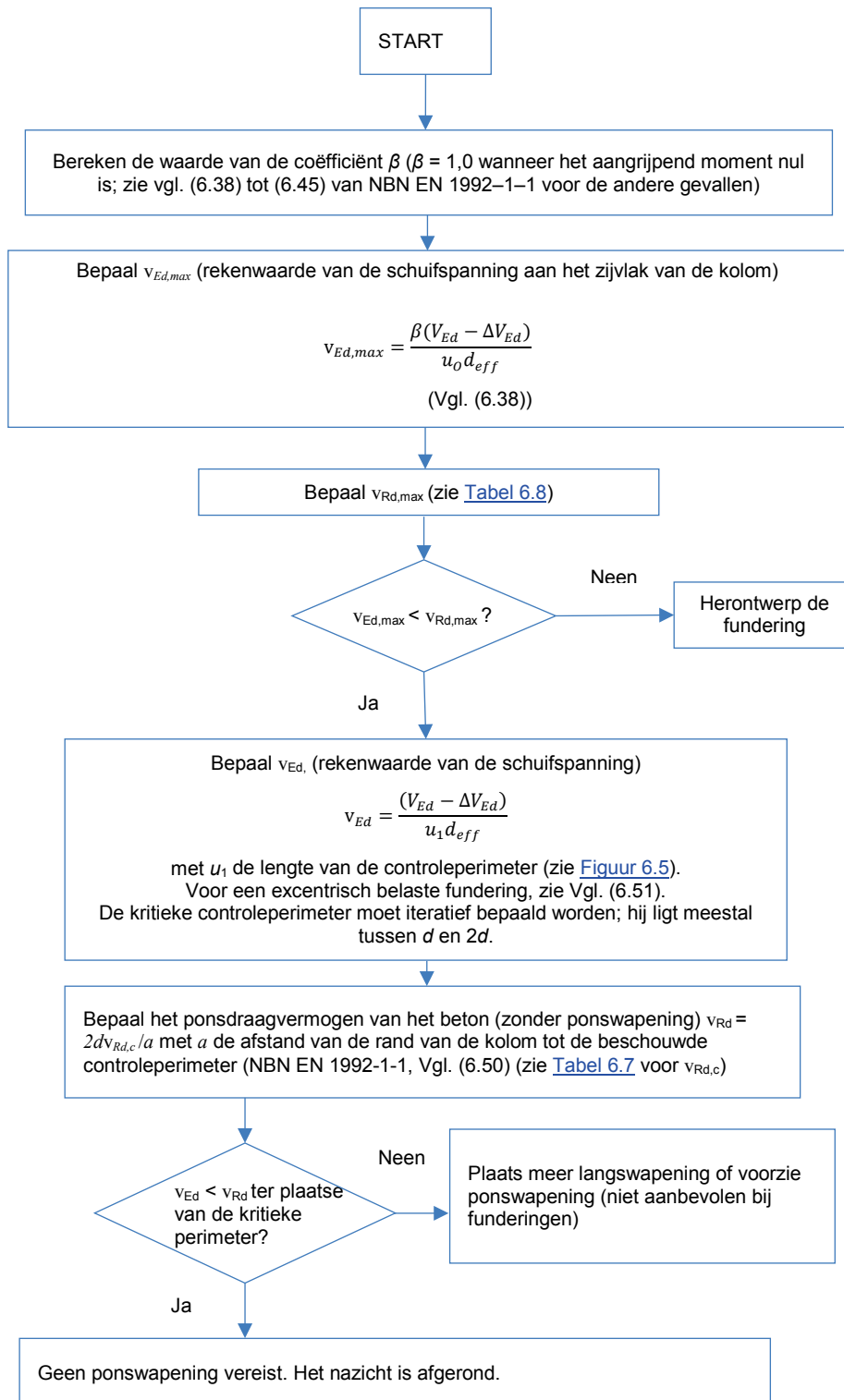
$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	200	250	300	400	500	600	800	1000
0,25 %	0,66	0,61	0,57	0,52	0,49	0,47	0,43	0,41
0,50 %	0,68	0,64	0,62	0,58	0,55	0,53	0,51	0,49
0,75 %	0,78	0,73	0,70	0,66	0,63	0,61	0,58	0,56
1,00 %	0,85	0,81	0,78	0,73	0,70	0,67	0,64	0,62
1,25 %	0,92	0,87	0,84	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



Figuur 6.4 Procedure voor de bepaling van de ponsweerstand van funderingsvoeten



Tabel 6.8 Waarden van  $V_{Rd,max}$

$f_{ck}$	$V_{Rd,max}$
20	3,68
25	4,50
30	5,28
35	6,02
40	6,72
45	7,38
50	8,00

**6.9 Plaatfunderingen**

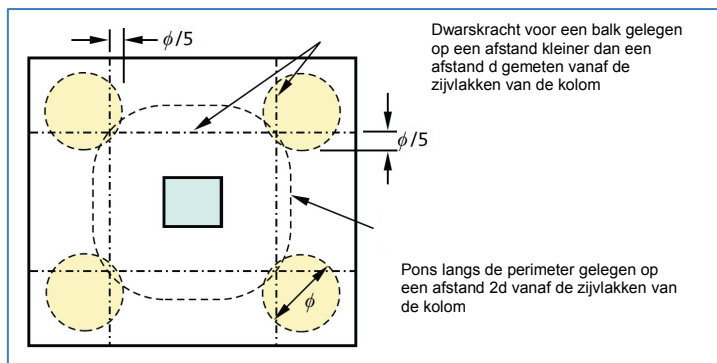
Het ontwerp- en rekenproces voor plaatfunderingen verloopt vergelijkbaar met dat van funderingsvoeten of poeren. Het enige verschil in benadering is gelegen in de keuze van een geschikte methode voor het analyseren van de interactie tussen de plaat en de grond zodanig, dat een redelijke weergave van het werkelijke gedrag wordt verkregen. Bij stijve platen (bv. verhouding overspanning/dikte kleiner dan 10) met een vrij regelmatige vorm, kunnen eenvoudige benaderingen worden toegepast.

In het geval van plaatfunderingen die dunner zijn, buigzamer of waarvan de vorm complexer is, zal het noodzakelijk zijn een eindige-elementen analyse toe te passen of een modellering als balkenrooster op elastische (of elasto-plastische) bedding.

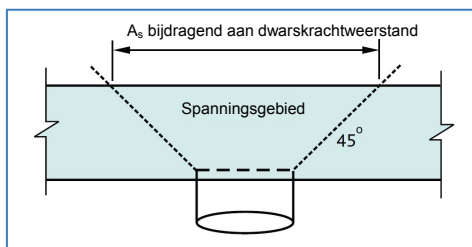
**6.10 Paalfunderingen**

In dit hoofdstuk wordt ervan uitgegaan dat de berekening van de palen wordt uitgevoerd die gespecialiseerd is in paalfunderingen. De ontwerper van de palen moet duidelijk geïnformeerd worden over de belastingen op de palen, waarbij moet worden teruggerekend naar waarden zonder partiële belastingfactoren (alle factoren = 1,0) voor zowel de blijvende belasting als voor elke van de van toepassing zijnde variabele belastingen (bv. opgelegde belastingen en windbelastingen). De ontwerper van de palen kan deze dan zowel constructief als geotechnisch dimensioneren.

Figuur 6.6 Controleperimeters voor dwarskracht bij poeren



Figuur 6.7 Dwarskrachtwapening in poeren



Voor de dimensionering van poeren mag de staafwerkanalogie op basis van drukschoren en trekstaven worden toegepast zoals beschreven in lid 5.6.4 en 6.5 van NBN EN 1992-1-1 .. De hellingshoek  $\theta$  tussen een drukschoor en een trekstang moet minstens  $18,4^\circ$  ( $\cot\theta \leq 3,0$ ) bedragen. Er wordt op gewezen dat  $\theta$  moet worden gemeten in het vlak van de kolom en de paal.

Een poer mag ook worden beschouwd als onderdeel van een ligger belast op buiging en dwarskracht. De buigende momenten die maatgevend zijn voor de wapening, situeren zich in de doorsneden gelegen in het verlengde van de zijvlakken van de kolom. Voor nadere informatie over het dimensioneren op buiging wordt verwezen naar hoofdstuk [4 Liggers](#).

Zowel dwarskracht als pons moeten worden gecontroleerd zoals aangegeven in [Figuur 6.6](#). Voor het dwarskrachtnazicht van de balken mag worden gebruik gemaakt van de rekenwaarden van de weerstanden  $V_{Rd,c}$  waarin de vermeerderingsfactor 1,25 verrekend is (zie [Tabel 6.6](#)). Er moet gezorgd worden voor een volledige verankering van de hoofdwapening. Minimaal moet worden voorzien in volledige verankering vanaf de binnenste dagzijde van de palen.

Voor de berekening van de dwarskrachtsterkte in een poer, mag enkel de wapening die gelegen is in de trekzone boven een paal worden meegenomen (zie [Figuur 6.7](#)).

### 6.11 Ongewapende funderingen

Ongewapende en lichtgewapende betonconstructies worden specifiek behandeld in hoofdstuk 12 van NBN EN 1992-1-1.

Verticaal belaste funderingsstroken en funderingsvoeten kunnen worden berekend en uitgevoerd in ongewapend beton, mits aan de volgende voorwaarde wordt voldaan voor de verhouding van de hoogte van de zool tot de lengte van het buiten de kolomrand uitkragende deel:

$$\frac{0,85h_f}{a} \geq \sqrt{\frac{3\sigma_{gd}}{f_{ctd,pl}}}$$

waarin:

$h_f$  = hoogte van de zool (zie [Figuur 6.8](#))

$a$  = lengte van het buiten de rand van de kolom of wand uitkragende deel

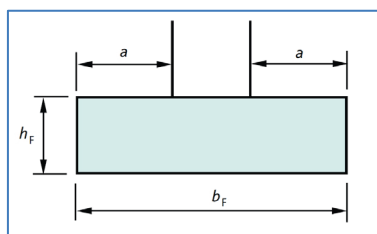
$\sigma_{gd}$  = rekenwaarde van de gronddruk (in MPa)

$f_{ctd,pl}$  =  $0,112 \cdot f_{ck}^{(2/3)}$  met  $f_{ck}$  in MPa

= rekenwaarde van de betontreksterkte (in MPa)

Het vereenvoudigd verband  $h_f \geq 2a$  mag worden gebruikt.

*Figuur 6.8 Geometrische karakteristieken van strookfunderingen*



### 6.12 Regels voor staafafstand en -diameter

#### Scheurbeheersing

Zie lid [2.12 Scheurwijdtebeheersing](#).

#### Minimale wapeningsverhouding voor de langswapening

De minimale hoeveelheid langswapening wordt gegeven door

$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk} > 0,0013 b_t d$  met  $b_t$  = breedte van de trekzone (zie [Tabel 6.9](#) volgens Vgl. 9.2.1.1(1)).

Tabel 6.9 Minimale vereiste wapeningsverhouding

$f_{ck}$	$f_{ctm}$	Minimale Verhouding % ( $0,26f_{ctm}/f_{yk}^a$ )
25	2,6	0,13 %
30	2,9	0,15 %
35	3,2	0,17 %
40	3,5	0,18 %
45	3,8	0,20 %
50	4,1	0,21 %

**Legende**  
A voor  $f_{yk} = 500$  MPa.

### Maximale wapeningsverhouding voor de langswapening

Buiten gebieden met overlappingen mag de maximale doorsnede van de trek- of drukwapening niet groter zijn dan  $A_{s,max} = 0,04 A_c$ .

### Minimale staafafstand

De minimale afstand tussen naburige wapeningsstaven moet gelijk zijn aan:

- de diameter van de wapeningsstaaf
- de grootste korrelafmeting van de granulaten plus 5 mm of
- 20 mm.

### Elementen met grote constructiehoogte

Voor elementen met grote constructiehoogte mag het advies uit Eurocode 2 worden gevolgd dat geldt voor gedrongen liggers. De afstand tussen de wapeningsstaven mag niet groter zijn dan tweemaal de breedte van de gedrongen ligger en 300 mm. Gedrongen liggers worden voorzien van een orthogonaal wapeningsnet gesitueerd aan ieder zijvlak waarbij  $A_{s,dbmin} = 0,001 A_c$  met een minimum van 150 mm<sup>2</sup>/m aan ieder zijvlak en in iedere richting.

### 6.13 Selectie van symbolen

Symbol	Omschrijving	Grootte
$A_c$	oppervlakte van de betondoorsnede	$bh$
$A_s$	oppervlakte van de doorsnede van de trekwapening	
$A_{s,prov}$	oppervlakte van de doorsnede van de voorziene trekwapening	
$A_{s,req}$	oppervlakte van de doorsnede van de vereiste trekwapening	
$d$	nuttige hoogte	
$d_{eff}$	gemiddelde nuttige hoogte	$(d_y + d_z)/2$
$f_{cd}$	rekenwaarde van de betondruksterkte	$\alpha_{cc} f_{ck}/\gamma_c$
$f_{ck}$	karakteristieke cilinderdruksterkte van beton	
$f_{ctm}$	gemiddelde waarde van de axiale betontreksterkte	$0,30 f_{ck}^{2/3}$ voor $f_{ck} \leq C50/60$ (Tabel 3.1, Eurocode 2)
$G_k$	karakteristieke waarde van de blijvende belasting	
$h$	totale hoogte van doorsnede	
$l_{eff}$	effectieve overspanning van een constructie-element	Zie lid 5.3.2.2 (1)
$M$	rekenwaarde van het moment in de UGT	
$Q_k$	karakteristieke waarde van de veranderlijke belasting	
$Q_{k,w}$	karakteristieke waarde van de veranderlijke windbelasting	
$V_{Ed}$	rekenwaarde van de aangrijpende dwarskracht	
$AV_{Ed}$	netto opwaartse kracht binnen de beschouwde controleperimeter, zijnde de gronddruk minus het	Volgens 6.4.4(2) van EC2

$V_{Ed}$	eigengewicht van de kolomvoet	
$V_{Rd,c}$	rekenwaarde van aangrijpende schuifspanning	
$V_{Rd,c}$	rekenwaarde van de ponsweerstand bij afwezigheid van ponswapening	
$V_{Rd,max}$	rekenwaarde van de maximale ponsweerstand over de beschouwde controledoorsnede	
$x$	hoogte van de drukzone	$(d - z)/0,4$
$x_{max}$	limietwaarde voor drukzonehoogte	$0,8(\delta - 0,44)d$ of $\delta \leq 1,0$
$z$	inwendige hefboomsarm	
$\alpha_{cc}$	coëfficiënt voor het in rekening brengen van langetermijneffecten op de druksterkte en van ongunstige effecten veroorzaakt door de manier waarop de belasting is aangebracht	0,85
$\beta$	factor ter bepaling van de schuifspanning bij pons	
$\delta$	verhouding tussen het buigend moment na herverdeling en het buigend moment uit een elastische berekening	
$\gamma_m$	partiële factor voor materiaaleigenschappen	
$\rho_0$	referentie wapeningsverhouding	$f_{ctd}/1000$
$\rho_l$	in de trekzone in het veldmidden (of: steunpunt bij een uitkraging) vereiste wapeningsverhouding voor het opnemen van het buigend moment volgend uit de rekenwaarde van de belastingen	$A_s/bd$
$\psi_0$	coëfficiënt voor de combinatie waarde van een variabele belasting	
$\psi_1$	coëfficiënt voor de frequente waarde van een veranderlijke belasting	
$\psi_2$	coëfficiënt voor de quasi-blijvende waarde van een veranderlijke belasting	

#### 6.14 Referenties

- 1 NBN EN 1997 - Eurocode 7: *Geotechnisch ontwerp. (2 delen).*
- 3 NBN EN 1992-1-1 - Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen.*
- 6 WEBSTER, R & BROOKER, O. *How to design concrete structures using Eurocode 2: Foundations* (TCC/03/21), The Concrete Centre, 2006.

#### Bijkomende referenties voor geprefabriceerde constructies

- 1 NBN EN 14991 – *Funderingselementen* + NBN B 21-609 - *Geprefabriceerde betonproducten - Funderingselementen - Nationale aanvulling bij NBN EN 14991*
- 2 NBN EN 12794 - *Funderingspalen* + NBN B 21-613 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten - Funderingspalen - Nationale aanvulling bij NBN EN 12794+A1*
- 3 NBN EN 13369 – *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten* + NBN B 21-600 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten - Nationale aanvulling bij NBN EN 13369*



## 7. Vlakke plaatvloeren

### 7.1 Inleiding

Vlakke plaatvloeren zijn platen die enkel door kolommen ondersteund worden zonder tussenliggende balken.

### 7.2 Ontwerp- en rekenprocedure

Een procedure voor het gedetailleerd ontwerpen en berekenen van vlakke plaatvloeren is weergegeven in [Tabel 7.1](#). Hierbij werd aangenomen dat de dikte van de plaat al tijdens een voorafgaand globaal ontwerp werd vastgelegd.

Tabel 7.1 Ontwerp- en rekenprocedure voor vlakke plaatvloeren

Stap	Taak	Verdere informatie	
		Hoofdstuk in deze publicatie	Norm
1	Bepaling van de ontwerplevensduur	<a href="#">2:3 Ontwerplevensduur</a>	NBN EN 1990 ANB
2	Bepaling van de belastingen op de plaat	<a href="#">2:4 Belastingen op constructies</a>	EN 1991 (10 delen) en ANB
3	Bepaling van de toe te passen belastingcombinaties	<a href="#">1.3.2 Belastingcombinaties</a>	NBN EN 1990 ANB
4	Bepaling van de belastingsschikkingen	<a href="#">2.5 Belastingsschikkingen</a>	NBN EN 1992–1–1 ANB
5	Evaluatie van de duurzaamheidseisen en keuze van de betonsterkteklasse	<a href="#">Tabel 2.6</a>	
6	Controle van de eisen voor de betondekking benodigd voor de vereiste brandweerstand	<a href="#">2.10 Ontwerpen op brandweerstand</a> en <a href="#">Tabel 7.2</a>	NBN EN 1992–1-2: hoofdstuk 5
7	Berekening van de nominale betondekking voor duurzaamheid, brand en aanhechting	<a href="#">2.9 Nominale betondekking</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 4.4.1
8	Analyse van de constructie om de maatgevende momenten en dwarskrachten te bepalen	<a href="#">2.8 Constructief ontwerp</a> en <a href="#">Tabel 7.3</a>	NBN EN 1992–1–1 Hoofdstuk 5
9	Berekening van de buigwapening	Zie <a href="#">Figuur 7.1</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 6.1
10	Nazicht van de doorbuigingen	Zie <a href="#">Figuur 7.3</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 7.4
11	Nazicht van de ponsweerstand	Zie <a href="#">Figuur 7.6</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 6.4
12	Nazicht van de staafafstand en staafdiameter	<a href="#">2.12 Scheurwijdtebeheersing</a>	NBN EN 1992–1–1 Lid 7.3
13	Nazicht van de momentenoverdracht van de kolommen naar de plaat	—	NBN EN 1992–1–1 Bijlage I 1.2(5)

### 7.3 Brandweerstand

Eurocode 2, Deel 1-2: *Ontwerp en berekening van constructies bij brand*<sup>4</sup>, biedt de keuze uit geavanceerde, vereenvoudigde en op tabellen gebaseerde methoden voor het bepalen van de brandweerstand. Het gebruik van tabellen is de snelste methode voor het bepalen

van de minimale afmetingen en de minimale betondekking van vlakke plaatvloeren. Er zijn echter beperkingen aan verbonden. Nadere uitleg over de geavanceerde en vereenvoudigde methoden kan worden verkregen uit gespecialiseerde literatuur.

De tabellenmethode is niet gebaseerd op de minimale betondekking maar op de nominale asafstand  $a$ . Dit is de afstand van het middelpunt van de hoofdwapeningsstaven tot het boven- of ondervlak van het element.

Het betreft een nominale en niet een minimale afstand, zodat de ontwerper moet verzekeren dat

$$a \geq c_{\text{nom}} + \phi_{\text{wapening}}/2$$

De eisen voor vlakke plaatvloeren zijn vermeld in [Tabel 7.2](#).

Tabel 7.2 Minimale afmetingen en asafstanden van vlakke plaatvloeren

Standaard-brandweerstand	Minimale afmetingen (mm)	
	plaatdikte $h_s$	asafstand
REI 60	180	15 <sup>a</sup>
REI 90	200	25
REI 120	200	35
REI 240	200	50

**Opmerkingen**

- 1 De tabel is ontleend aan NBN EN 1992-1-2, tabel 5.9.
- 2 De asafstand heeft betrekking op de onderste laag.
- 3 De tabel is alleen van toepassing als wordt voldaan aan de detailleringsregels (zie opmerking 4) en indien in het ontwerp bij normale temperaturen de herverdeling van momenten de 15 % niet overschrijdt.
- 4 Bij brandweerstandsklassen REI90 en hoger moet ten minste 20 % van de totale bovenwapening, in elke richting aanwezig boven een tussensteunpunt zoals vereist volgens NBN EN 1992-1-1, doorgaand aanwezig zijn over de gehele overspanning. Deze wapening moet worden aangebracht in de kolomstrook.
- 5 Bij blootstelling aan een standaardbrand moet worden voldaan aan de volgende drie voorwaarden:
  - R Sterkte van de dragende elementen
  - E Integriteit van de scheiding
  - I Isolatie

**Legende**

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

## 7.4 Buiging

De ontwerp- en rekenprocedure voor buiging is weergegeven in [Figuur 7.2](#). Deze bevat formules die afgeleid zijn op basis van het vereenvoudigd rechthoekig spanningsdiagram uit Eurocode 2.

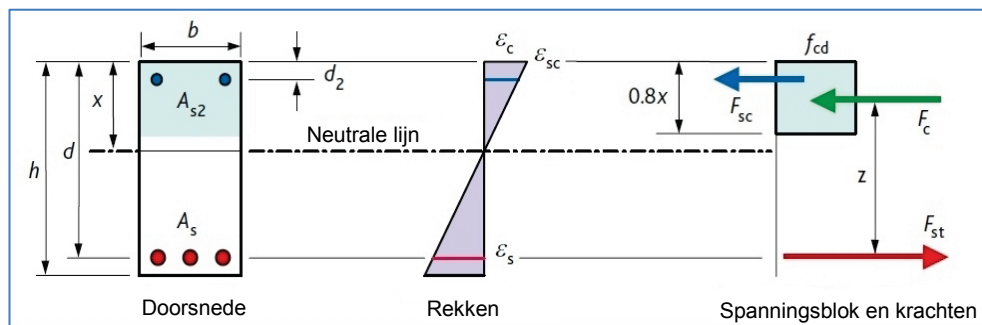
Onafhankelijk van de analysemethode die wordt gebruikt voor het bepalen van de momenten, schrijft lid 9.4.1 voor dat de wapening moet geconcentreerd worden in de zones boven de kolommen. Bijlage I van de Eurocode geeft aanbevelingen omtrent de equivalente-raamwerkenmethode en omtrent de verdeling van het totaal buigend moment over de breedte van de plaat, over kolom- en middenstroken om te voldoen aan lid 9.4.1. Ontwerpers die gebruik maken van de balkenroosteranalogie, de eindige-elementenmethode of de vloeilijnentheorie kunnen deze aanbevelingen ook opvolgen om te voldoen aan die eis.

In Eurocode 2 worden verschillende spannings-ervormingsdiagrammen voor beton voorgesteld. Voor het gemak van de toepassing wordt hier gewerkt met het vereenvoudigd rechthoekig spanningsdiagram (zie [Figuur 7.1](#)).



De Eurocode geeft aan hoe te ontwerpen en te berekenen voor een betonsterkteklasse tot en met C90/105. Echter, voor beton met een sterkteklasse boven C50/60 moet het spanning-rekdiagram worden aangepast.

Figuur 7.1 Rechthoekig spanningsblok voor beton tot en met sterkteklasse C50/60.



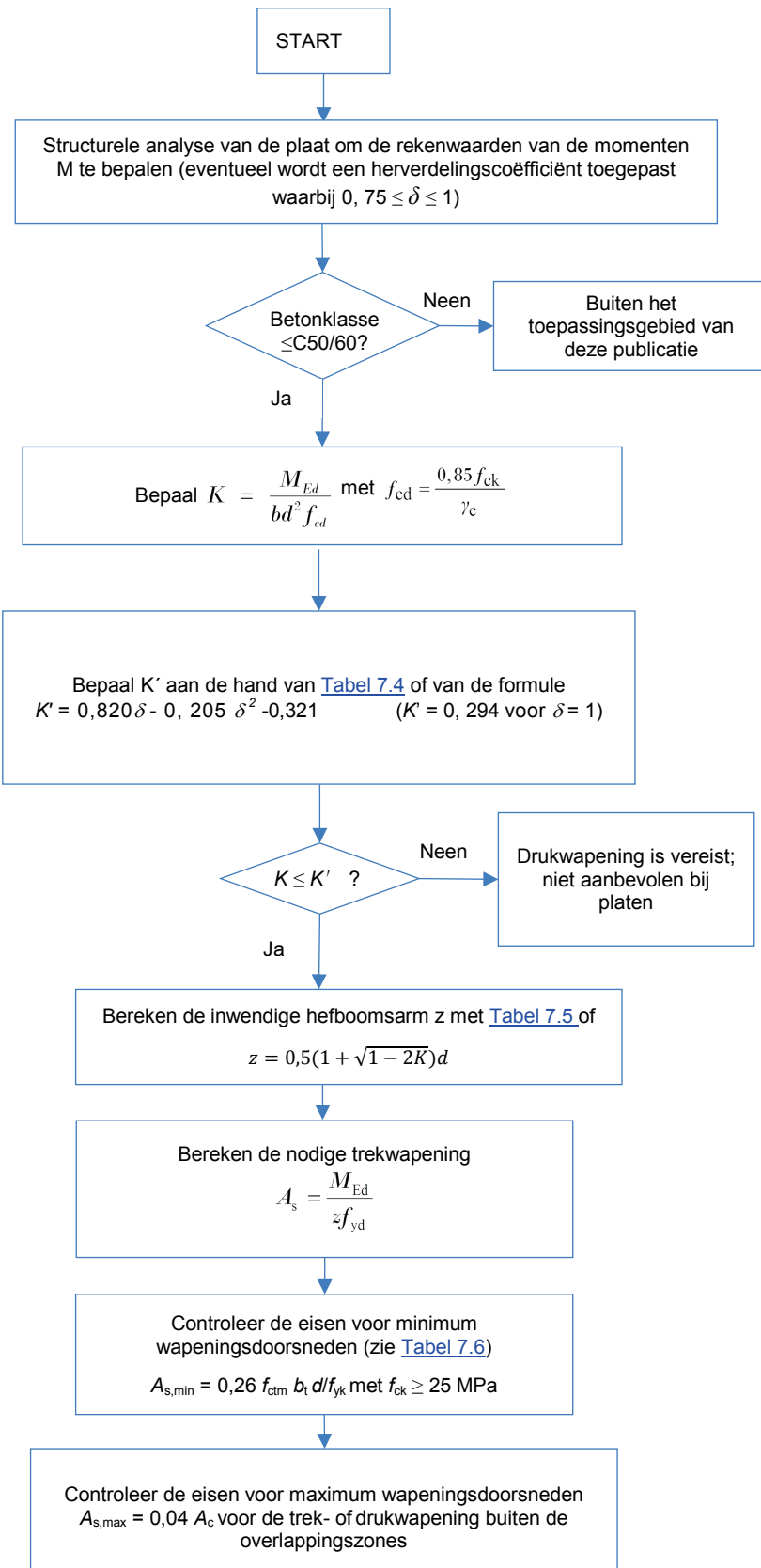
Tabel 7.4 Waarden van  $K'$

% herverdeling	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
Coëfficiënt $\delta$	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
$K'$	0,294	0,273	0,251	0,228	0,204	0,179	0,153

Tabel 7.5  $z/d$  voor een rechthoekige doorsnede met alleen trekwapening

$K$	$z/d$	$x/d$	$(1 - \delta)_{max}$
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 %

Figuur 7.2 Procedure voor berekenen benodigde buigwapening

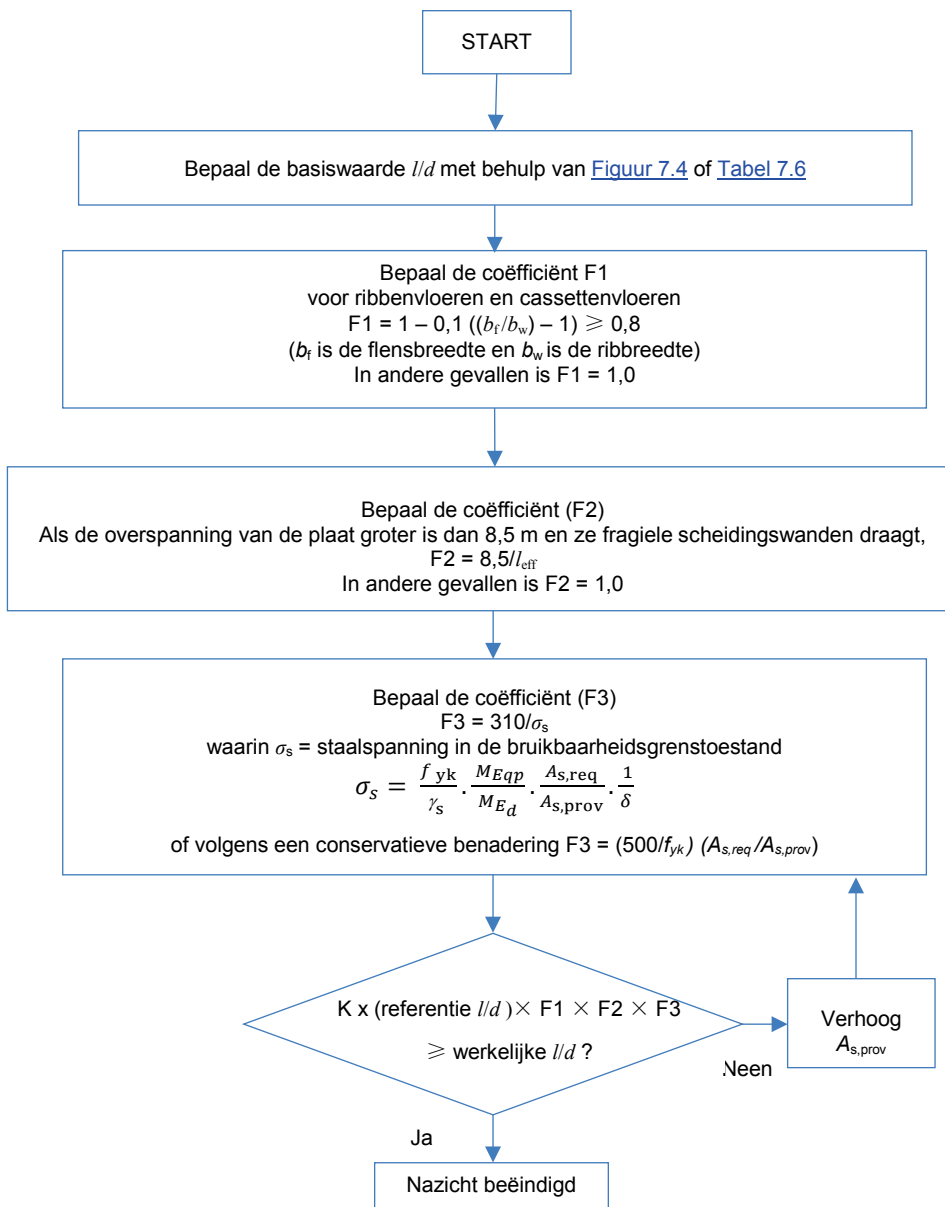


### 7.5 Doorbuiging

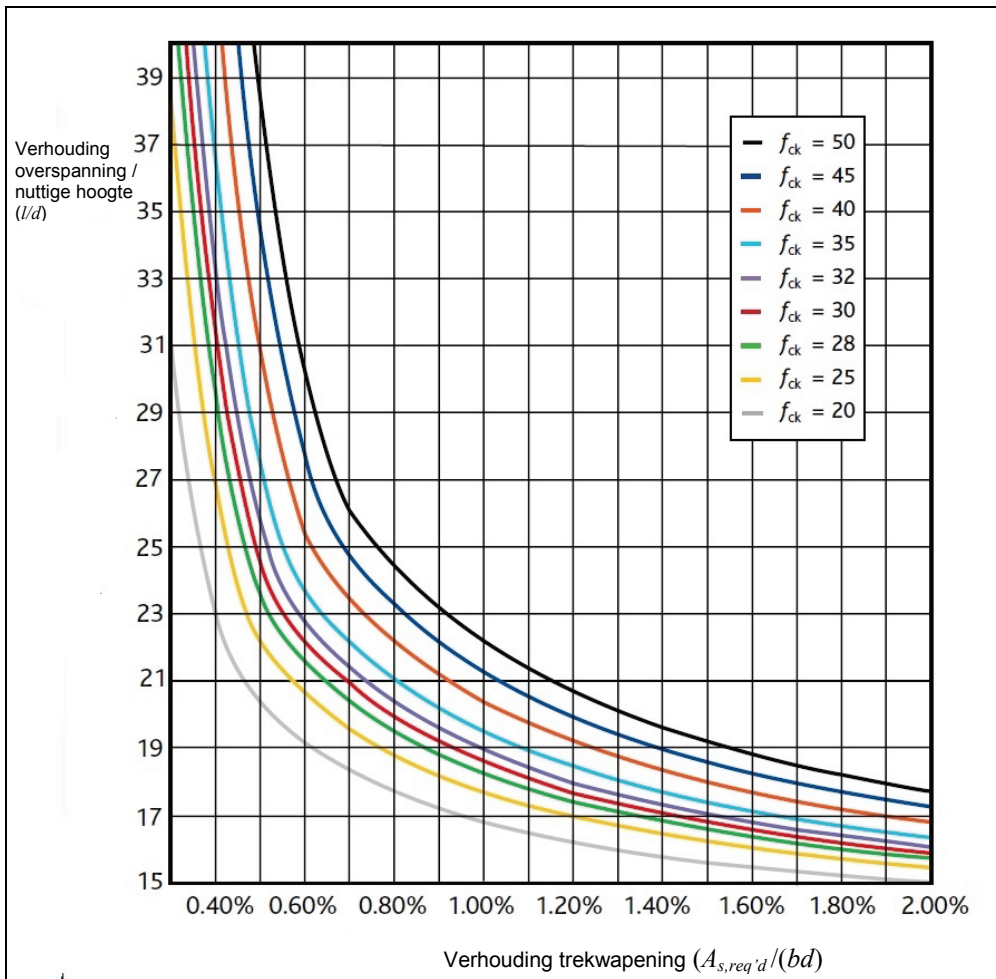
Eurocode 2 geeft twee methoden om te voldoen aan de doorbuigingseisen: ofwel op basis van grenswaarden voor de verhouding overspanning/nuttige hoogte ofwel door berekening van de theoretische doorbuiging met behulp van uitdrukkingen die in de Eurocode worden gegeven. Details van de tweede methode worden besproken in [8.8 Methodes voor de doorbuigingsberekening](#).

De verhouding overspanning/nuttige hoogte dient er voor te zorgen dat de doorbuiging niet groter is dan 1/250 van de overspanning. De procedure is weergegeven in [Figuur 7.3](#).

Figuur 7.3 Procedure voor het nazicht van de doorbuigingseis



Figuur 7.4 Referentiewaarden  $l/d$  van de verhouding overspanning / nuttige hoogte voor vlakke plaatvloeren



**Opmerkingen**

1. De figuur gaat uit van een doorgaande plaat ( $K = 1,2$ ).
2. Drukwapening is niet beschouwd,  $\rho' = 0$
3. De curves zijn gebaseerd op de volgende uitdrukkingen:

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

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

Tabel 7.6 Referentiewaarden l/d van de verhouding overspanning / nuttige hoogte voor vlakke plaatvloeren zonder axiale druk

Wapeningsverhouding, $\rho$	$f_{ck}$						
	20	25	30	35	40	45	50
0,30 %	31,1	38,6	47,0	55,9	65,5	75,6	86,2
0,40 %	22,9	26,9	31,4	36,5	42,0	47,8	54,0
0,50 %	20,4	22,2	24,6	27,6	31,0	34,6	38,4
0,60 %	19,2	20,8	22,2	23,8	25,6	27,7	30,2
0,70 %	18,4	19,7	20,9	22,2	23,5	24,7	26,0
0,80 %	17,8	18,8	19,9	21,1	22,2	23,3	24,5
0,90 %	17,2	18,2	19,2	20,2	21,2	22,2	23,2
1,00 %	16,8	17,8	18,6	19,6	20,4	21,4	22,2
1,20 %	16,2	16,9	17,8	18,5	19,2	19,9	20,8
1,40 %	15,7	16,4	17,0	17,8	18,4	19,0	19,7
1,60 %	15,5	16,0	16,6	17,2	17,8	18,2	18,8
1,80 %	15,2	15,7	16,2	16,7	17,2	17,8	18,2
2,00 %	15,0	15,5	16,0	16,3	16,8	17,3	17,8
2,50 %	14,6	15,0	15,4	15,7	16,1	16,4	16,8
3,00 %	14,4	14,8	15,0	15,4	15,6	16,0	16,2
3,50 %	14,3	14,5	14,8	15,0	15,2	15,5	15,7
4,00 %	14,2	14,3	14,5	14,8	15,0	15,2	15,5
$\rho_0$	0,45 %	0,50 %	0,55 %	0,59 %	0,63 %	0,67 %	0,71 %

**Voorwaarden**

De waarden van de verhouding overspanning / nuttige hoogte werden berekend volgens de formules (7.16.a) en (7.16.b) van EN 1992-1-1, voor  $K = 1,2$  (enkelvoudig opgelegde vlakke plaatvloer) en  $\rho' = 0$  (geen drukwapening).

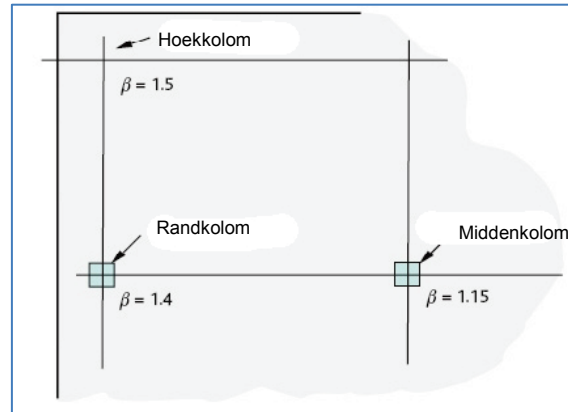
De verhouding overspanning / nuttige hoogte heeft betrekking op de kleinste overspanning.

## 7.6 Pons

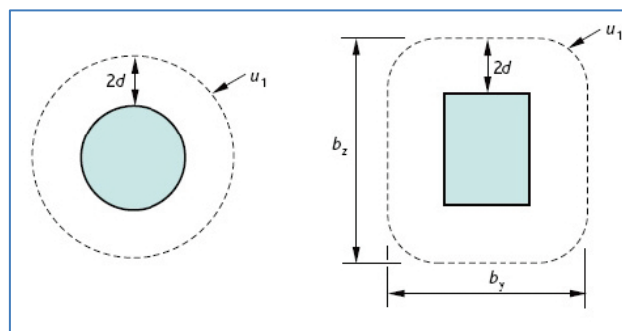
- De rekenwaarde van de aangrijpende ponskracht,  $V_{Ed}$ , is meestal gelijk aan de oplegreactie in de uiterste grenstoestand.
- De standaardwaarden voor de coëfficiënten  $\beta$  voor rand- en hoekkolommen die rekening houden met een over te dragen moment zijn relatief hoog.  $\beta$  kan echter ook rechtstreeks berekend worden aan de hand van de uitdrukkingen (6.38) in 6.4.3(3) tot (6.46) in 6.4.3(5) van de Eurocode om een economischer ontwerp te bekomen.
- In Eurocode 2 hangt de ponsweerstand aan de dagvlakken van de kolom af van de druksterkte van het beton.
- In Eurocode 2 hebben de controle-omtrekken bij kolommen met een rechthoekige doorsnede afgeronde hoeken.
- Wanneer ponswapening vereist is, geeft Eurocode 2 een eenvoudige rekenprocedure; de grens waar geen ponswapening meer vereist is, kan direct worden berekend en vervolgens worden gebruikt om te bepalen over welk gebied ponswapening moet worden toegepast.
- Er wordt aangenomen dat de wapening in radiale richting wordt geplaatst. De wapening mag echter ook volgens een vierkant rooster worden aangebracht, mits wordt voldaan aan de afstandsregels.

De rekenprocedure voor het nazicht van de ponsweerstand is weergegeven in [Figuur 7.6](#).

Figuur 7.7 Aanbevolen waarden voor  $\beta$

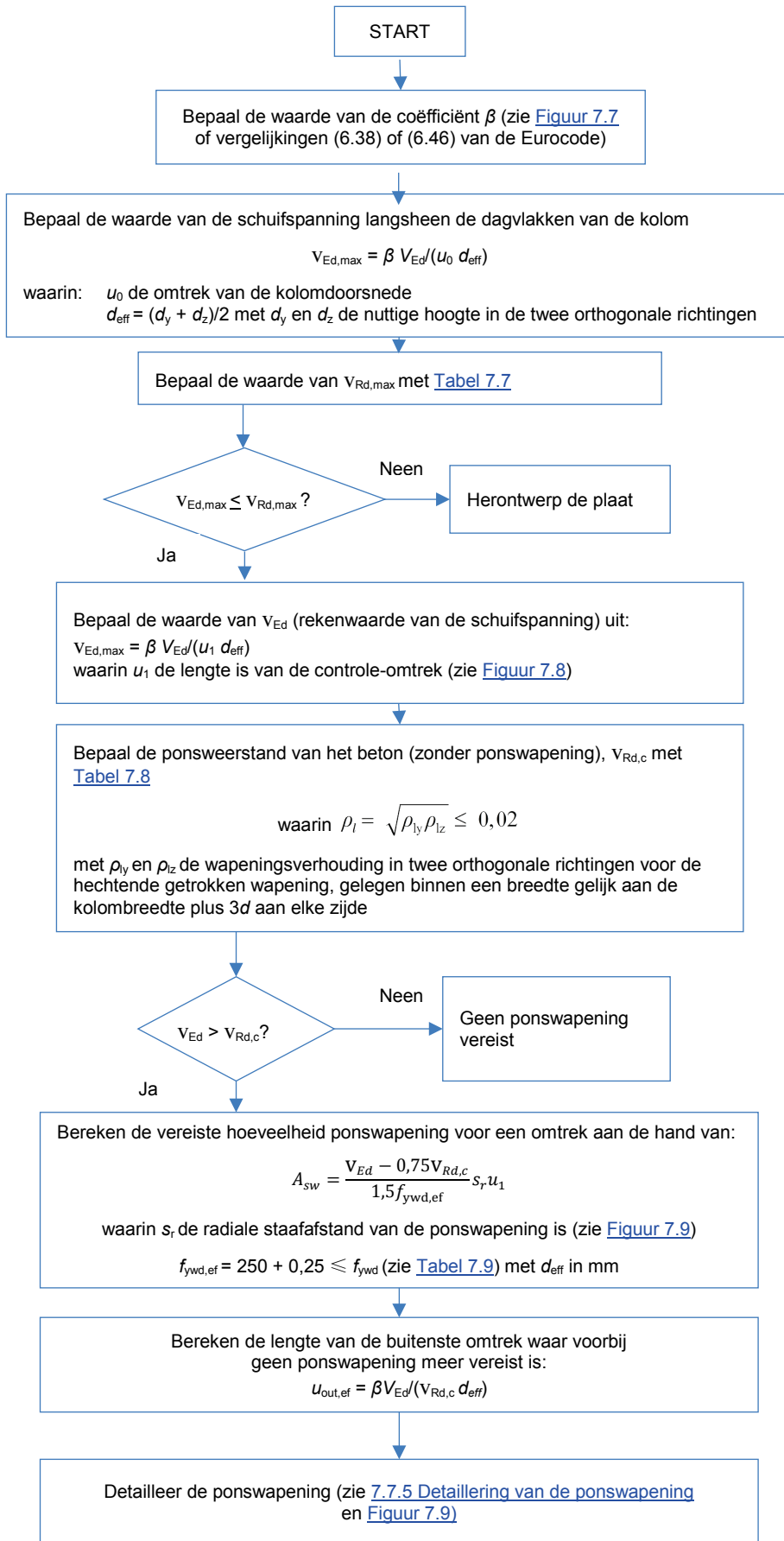


Figuur 7.8 Gebruikelijke controle-omtrekken rond belaste zones



Als alternatief voor het gebruik van ponsbeugels, mogen ook deugelstrippen en andere in de handel zijnde ponsvoorzieningen worden toegepast. Gepatenteerde producten mogen als ponswapening worden gebruikt, mits de sterkte werd bepaald door beproeving in overeenstemming met de relevante Europese Technische Goedkeuring (ETA).

Figuur 7.6 Procedure voor het nazicht van de ponsweerstand



Tabel 7.8  $v_{Rd,c}$  in MPa, voor elementen zonder ponswapening

$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$								
$\rho_l/d \text{ (mm)}$	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



Tabel 7.7 Waarden voor  $V_{Rd,max}$ .

$f_{ck}$	$V_{Rd,max}$
20	3,68
25	4,50
30	5,28
35	6,02
40	6,72
45	7,38
50	8,00

Tabel 7.9 Waarden voor  $f_{ywd,ef}$   
voor  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$

$d_{eff}$	$f_{ywd,ef}$
150	288
175	294
200	300
225	306
250	313
275	319
300	325
325	331
350	338

## 7.7 Regels voor staafafstanden en voor de vereiste hoeveelheid betonstaal

### 7.7.1 Minimale wapeningsverhouding

De minimale hoeveelheid langswapening in de hoofdrichting is

$$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk} > 0,0013 b_t d \text{ (zie Tabel 7.10).}$$

OPMERKING: De minimale wapeningshoeveelheid die noodzakelijk is voor scheurbeheersing kan groter zijn dan deze waarde.

De oppervlakte van de doorsnede van een beugelstaaf van verticale ponswapening is

$$1,5 \frac{A_{sw,min}}{s_r s_t} \geq 0,08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$$

of  $A_{sw,min} \geq (s_r \cdot s_t) / F$

waarin

$s_r$  = hart-op-hartafstand van de ponsbeugels in de radiale richting

$s_t$  = hart-op-hartafstand van de ponsbeugels in de tangentiële richting.

$F$  kan worden ontleend aan [Tabel 7.11](#).

Tabel 7.10 Minimale wapeningsverhouding

$f_{ck}$	$f_{ctm}$	Minimale verhouding % ( $0,26 f_{ctm} / f_{yk}^a$ )
25	2,6	0,13 %
30	2,9	0,15 %
35	3,2	0,17 %
40	3,5	0,18 %
45	3,8	0,20 %
50	4,1	0,21 %

**Legende**  
a voor  $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ .

Tabel 7.11 Factor  $F$  voor het bepalen van  $A_{sw,min}$ 

$f_{ck}$	Coëfficiënt, $F$
<b>25</b>	1875
<b>30</b>	1712
<b>35</b>	1585
<b>40</b>	1482
<b>45</b>	1398
<b>50</b>	1326
<b>Opmerking</b>	
$f_{yk}$ is gelijkgesteld aan 500 MPa	

### 7.7.2 Maximale wapeningsverhouding voor de langswapening

Buiten gebieden met overlappingsen mag de trek- en drukwapeningsverhouding niet groter zijn dan  $A_{s,max} = 0,04 A_c$

### 7.7.3 Minimale staafafstand

De minimale afstand tussen twee wapeningsstaven moet ten minste gelijk zijn aan:

- de diameter van de wapeningsstaaf
- de grootste korrelafmeting van de granulaten plus 5 mm
- 20 mm

### 7.7.4 Maximale staafafstand

Voor platen zijn de volgende regels met betrekking tot maximale staafafstanden van toepassing:

- Voor de hoofdwapening:  $2,5h$  maar niet meer dan 400 mm
- Voor de verdeelwapening:  $3,0h$  maar niet meer dan 450 mm

Een uitzondering wordt gemaakt voor gebieden met geconcentreerde belastingen of gebieden met een maximaal moment waar de volgende regels van toepassing zijn:

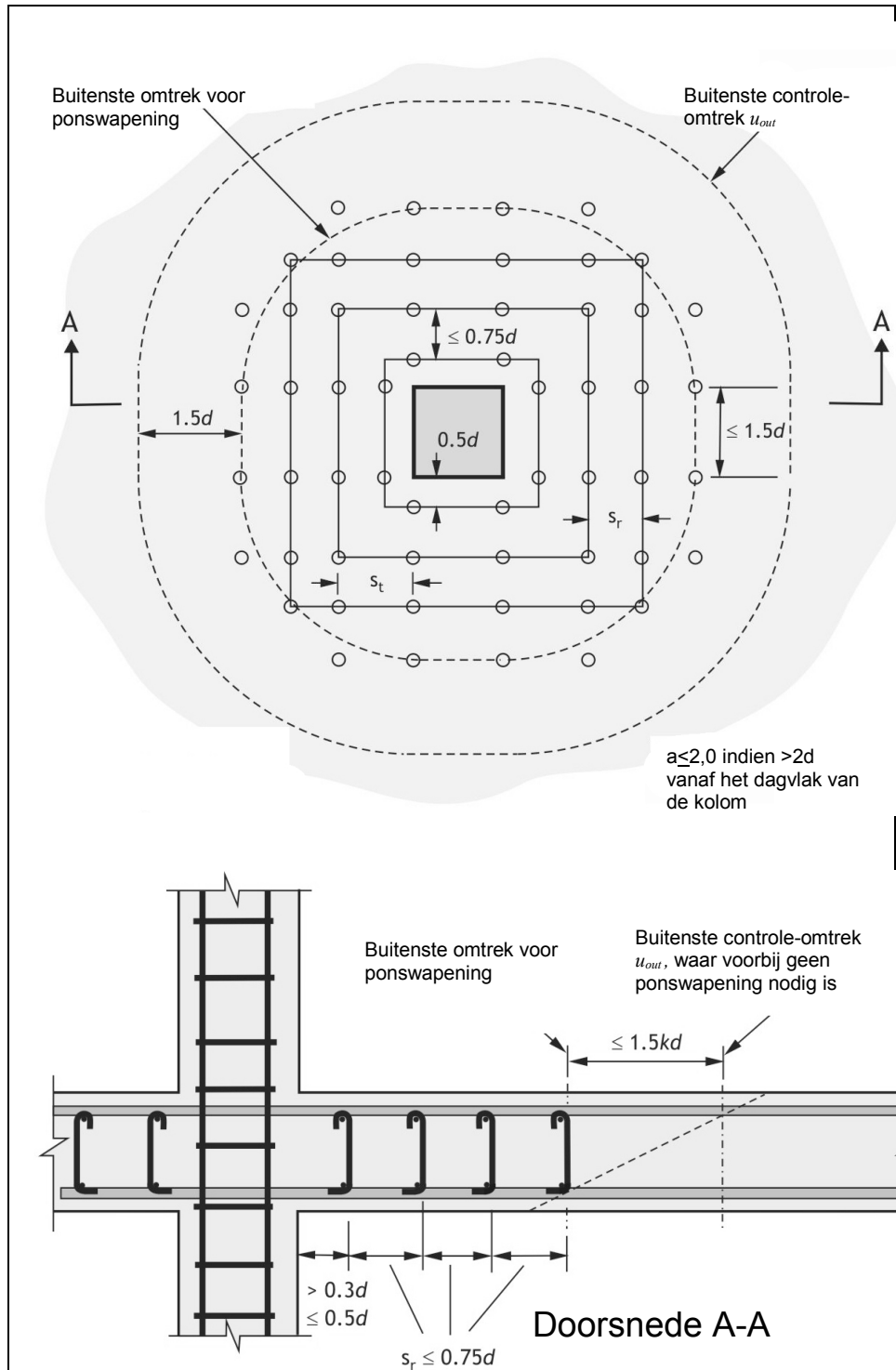
- Voor de hoofdwapening:  $1,5h$  maar niet meer dan 250 mm
- Voor de verdeelwapening:  $2,5h$  maar niet meer dan 400 mm, met  $h$  de totale hoogte van de plaat.

### 7.7.5 Detaillering van de ponswapening

Als ponswapening is vereist, moeten de volgende regels in acht worden genomen:

- De wapening moet worden aangebracht tussen de zijkant van de kolom en de afstand  $kd$  binnen de omtrek waar geen ponswapening meer nodig is.  $k$  is gelijk aan 1,5, tenzij de omtrek vanaf waar geen ponswapening vereist is, zich op minder dan  $3d$  van het dagvlak van de kolom bevindt. In dit geval moet de ponswapening geplaatst worden tussen  $0,3d$  en  $1,5d$  van het dagvlak van de kolom.
- De ponswapening moet bestaan uit tenminste twee reeksen benen van beugels.
- De radiale afstand tussen reeksen mag niet groter zijn dan  $0,75d$  (zie [Figuur 7.9](#)).
- De hart-op-hartafstand van de beugelstaven in omtreksrichting mag niet groter zijn dan  $1,5d$  op minder dan  $2d$  vanaf het dagvlak van de kolom.
- Bij de overige perimeters mag de hart-op-hartafstand niet groter zijn dan  $2d$ .
- De afstand tussen het dagvlak van de kolom en de dichtstbij gelegen ponswapening moet kleiner zijn dan  $0,5d$  en groter dan  $0,3d$ .

Figuur 7.9 Plaatsing van ponswapening



## 7.8 Selectie van symbolen

Symbol	omschrijving	Grootte
$A_c$	oppervlakte van de betondoorsnede	$bh$
$A_s$	oppervlakte van de doorsnede van de trekwapening	
$A_{s2}$	oppervlakte van de doorsnede van de drukwapening	
$A_{s, prov}$	oppervlakte van de doorsnede van de voorziene trekwapening	
$A_{s, req}$	oppervlakte van de doorsnede van de vereiste trekwapening	
$b$	plaatbreedte	
$d$	nuttige hoogte	
$d_2$	afstand van het zwaartepunt van de drukwapening tot de meest gedrukte rand van de dwarsdoorsnede	
$f_{cd}$	rekenwaarde van de betondruksterkte	$\alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$
$f_{ck}$	karacteristieke cilinderdruksterkte van beton	
$f_{ctm}$	gemiddelde waarde van de axiale betontreksterkte	$0,30 f_{ck}^{2/3}$ voor $f_{ck} \leq C50/60$ (Tabel 3.1, Eurocode 2)
$h_s$	plaatdikte	
$K$	coëfficiënt om verschillende constructieve systemen in rekening te brengen	Zie Tabel 7.4N van EC2
$l_{eff}$	effectieve overspanning van een constructie-element	Zie lid 5.3.2.2 (1)
$l/d$	verhouding overspanning/nuttige hoogte	
$M$	rekenwaarde van het moment in de UGT	
$M_{Egp}$	rekenwaarde van het moment in de BGT onder de quasi-blijvende belastingscombinatie	
$x$	hoogte van de drukzone	
$x_{max}$	grenswaarde voor de hoogte van de drukzone	
$z$	inwendige hefboomsarm	
$\alpha_{cc}$	coëfficiënt voor het in rekening brengen van langetermijinvloeden op de druksterkte en van ongunstige effecten veroorzaakt door de manier waarop de belasting is aangebracht	0,85 voor nazicht aan buiging en normaalkracht, 1,0 voor andere gevallen
$\delta$	verhouding tussen het buigend moment na herverdeling en het buigend moment uit een elastische berekening	
$\gamma_m$	partiële factor voor materiaaleigenschappen	1,15 voor de wapening ( $\gamma_s$ ) 1,5 voor het beton ( $\gamma_c$ )
$\rho_0$	referentie-wapeningsverhouding	$0,001 \sqrt{f_{ck}}$
$\rho$	wapeningsverhouding van de trekwapening in het veldmidden (of: boven het steunpunt bij een uitkraging) voor het opnemen van de rekenwaarde van het aangrijpend buigend moment	$A_s/bd$
$\rho'$	wapeningsverhouding van de drukwapening in het veldmidden (of: boven het steunpunt bij een uitkraging) voor het opnemen van de rekenwaarde van het aangrijpend buigend moment	$A_{s2}/bd$

**7.9 Referenties**

- 1 NBN EN 1992-1-1 - Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1 Algemene regels en regels voor gebouwen.*
- 4 NBN EN 1992-1-2 - Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies - Ontwerp en berekening van constructies bij brand.*
- 6 PALLETT, P. *Guide to flat slab formwork and falsework.* Construct, 2003.
- 7 MOSS, R M & BROOKER, O. *How to design concrete structures using Eurocode 2: Flat slabs.* The Concrete Centre, 2006.

**Bijkomende referenties voor geprefabriceerde constructies**

- 1 NBN EN 13224 - *Geribde vloerelementen + NBN B 21-603 - Geprefabriceerde betonproducten - Geribde vloerelementen - Nationale aanvulling bij NBN EN 13224*
- 2 NBN EN 13747+A2 - *Breedplaten voor vloersystemen + NBN B 21-606 - Geprefabriceerde betonproducten - Breedplaten voor vloersystemen - Nationale aanvulling bij NBN EN 13747+A2*
- 3 NBN EN 15037-1 - *Combinatievloeren – Balken + NBN B 21-616 - Geprefabriceerde betonproducten - Combinatievloeren - Deel 1: Balken - Nationale aanvulling bij NBN EN 15037-1*
- 4 NBN EN 15037[-2 tot -5] - *Combinatievloeren - Betonnen vulelementen + NBN B 21-006 - Geprefabriceerde betonproducten - Combinatievloeren - Deel 2: Betonnen vulelementen - Nationale aanvulling bij NBN EN 15037-2+A1*
- 5 NBN EN 1168 + A3 - *Geprefabriceerde betonproducten - Holle vloerplaten + NBN B 21-605 Geprefabriceerde betonproducten - Holle vloerplaten - Nationale aanvulling bij NBN EN 1168+A3*
- 6 NBN EN 13369 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten + NBN B 21-600 - Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten – Nationale aanvulling bij NBN EN 13369*



## 8. Doorbuigingsberekeningen

### 8.1 Méthode de contrôle des flèches

#### 8.1.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt het gebruik van Eurocode 2 behandeld wat betreft het nazicht van doorbuigingen door middel van berekening. De alternatieve methode om te voldoen aan de vereisten van de norm is het gebruik van verhoudingen overspanning/nuttige hoogte, waarvan bekend is dat ze geschikt zijn. Deze zijn voor het merendeel van de ontwerpen ook economisch. Een nadere toelichting van deze laatste methode is gegeven in de andere hoofdstukken: [liggers](#), [platen](#) en [vlakke plaatvloeren](#). Er zijn echter situaties waarin het expliciet berekenen van de doorbuiging noodzakelijk is, namelijk indien:

- een nauwkeurige inschatting van de grootte van de doorbuiging is vereist;
- de grenswaarden van de doorbuiging namelijk overspanning/250 onder quasi-blijvende belastingen (zie referentie 5 voor de terminologie van de Eurocode), of overspanning/500 voor belastingen van afwerkingen en wanden, niet geschikt zijn.
- het ontwerp resulteert in een bijzonder slank element, waarbij een directe berekening van de doorbuiging tot een meer economische oplossing kan leiden.
- de invloed op de doorbuiging van het vroegtijdig verwijderen van de bekisting of van het tijdelijk belasten gedurende de bouwfase moet worden bepaald.

#### 8.1.2 Overzicht

In het verleden waren constructies relatief stijf, bij relatief kleine overspanningen. Door vooruitgang in technologie en praktijk is de buigstijfheid afgenomen. Hiervoor is een aantal oorzaken aan te geven zoals:

- De toename van de sterkte van het betonstaal, waardoor in de uiterste grenstoestand (UGT) een kleinere staaldoorsnede nodig is, hetgeen resulteert in hogere staalspanningen in de buikbaarheidsgrenstoestand (BGT).
- De toename van de betonsterkte volgend uit de noodzaak om de duurzaamheid te verbeteren en de levensduur te verhogen resulterend in hogere spanningen in het gebruiksstadium.
- Een beter inzicht in het gedrag van betonconstructies en de mogelijkheid om dit snel uit te rekenen met behulp van computers.
- De noodzaak aan een economisch concept voor de vloerplaten waarvan de dikte normaal wordt bepaald door de BGT en die een aandeel van 80 tot 90 % in de kosten van de bovenbouw hebben.
- De wens van de opdrachtgevers om grotere overspanningen te realiseren en de operationele flexibiliteit van hun constructies te vergroten.

### 8.2 Factoren van invloed op de doorbuiging

Een nauwkeurige berekening van de doorbuiging is alleen mogelijk indien alle invloedsfactoren in beschouwing zouden worden genomen. De belangrijkste factoren worden hierna in detail vermeld:

#### Wat beïnvloedt de doorbuigingen ?

Veel factoren hebben invloed op de doorbuiging. Deze zijn veelal tijdsafhankelijk en van elkaar afhankelijk, hetgeen het voorspellen van de doorbuiging complex maakt.

De belangrijkste factoren zijn:

- de treksterkte van het beton en het gedrag bij scheurvorming
- kruip
- de elasticiteitsmodulus

Andere factoren:

- mate van vervormingsverhindering
- grootte van de belasting
- ouderdom van het beton op het ogenblik van belasten
- belastingsduur
- scheurvorming in het beton
- krimp
- omgevingsvoorwaarden
- alternatieve wegen voor belastingsafdracht
- verstijvende invloed van aangrenzende constructie-elementen

### 8.3 Betontreksterkte

Wegens de moeilijkheid om al deze factoren correct in rekening te brengen, zal de voorspelling van doorbuigingen steeds gepaard gaan met onzekerheden.

De treksterkte van beton is in deze context een belangrijke materiaaleigenschap, omdat de plaat pas zal scheuren als de treksterkte wordt overschreden. In Eurocode 2 wordt een gemiddelde waarde,  $f_{ctm}$ , gegeven die geschikt is voor doorbuigingsberekeningen en die toeneemt met toenemende druksterkte.

De mate waarin krimpvervormingen worden belemmerd heeft een nadelige invloed op de effectieve treksterkte van het beton. De aanwezigheid van verstijwingswanden vormt een belangrijke vermindering voor de krimpvervormingen en doet de effectieve treksterkte afnemen. Enkele typische voorbeelden van de positionering van verstijwingswanden en kolommen zijn weergegeven in [Figuur 8.1](#).

Bij afwezigheid van trekkrachten die zouden kunnen optreden ten gevolge van verhinderde krimp of thermische vervormingen, mag de volgende uitdrukking voor de betontreksterkte worden gebruikt:

$$f_{ctm,fl} = (1,6 - h/1000)f_{ctm} > f_{ctm}$$

waarin

$f_{ctm,fl}$  = gemiddelde buigtreksterkte van gewapend betonelementen

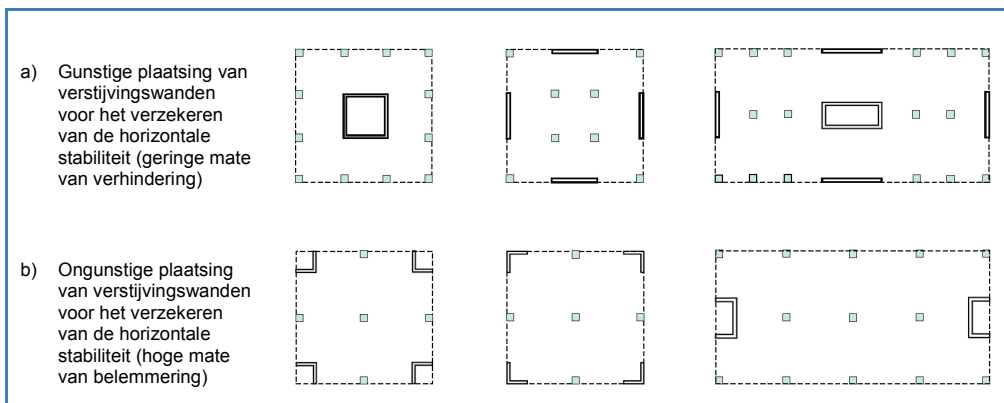
$f_{ctm}$  = gemiddelde axiale betontreksterkte

$h$  = totale hoogte van het element in mm

Bij een hoge mate van vervormingsverhindering moet  $f_{ctm}$  worden gebruikt als effectieve betontreksterkte (NBN EN 1992-1-1, lid 7.4.3 (4)).

In het geval van een lage verhinderingsgraad is het aan te bevelen om de effectieve betontreksterkte gelijk te nemen aan het gemiddelde van  $f_{ctm,fl}$  en  $f_{ctm}$  om aldus enige mate van niet-voorzienbare vervormingsverhindering in de berekening mee te nemen.

*Figuur 8.1 Typische plattegronden van vloeren met kolommen en verstijwingswanden*



### 8.4 Kruip

Kruip is de tijdsafhankelijke toename van de verkorting van een betonelement dat is onderworpen aan een constante drukspanning. Kruip wordt in de berekeningen meestal in rekening gebracht door de elasticiteitsmodulus aan te passen op basis van een kruipcoëfficiënt  $\phi$ , die afhangt van de belastingsgeschiedenis, de afmetingen van het betonelement en de omgevingsvoorwaarden, in het bijzonder de relatieve vochtigheid. Bijlage B van Eurocode 2 geeft in detail aan hoe de kruipcoëfficiënt kan worden berekend. In figuur 3.1 (in lid 3.1.4(3)) van Eurocode 2, of [Figuur 8.1b](#) of [Tabel 8.2](#) is informatie terug opgenomen omtrent de te gebruiken relatieve vochtigheid.

Om kruipvervormingen te kunnen berekenen moet de sterkteklasse van het cement bekend zijn, hetgeen in het ontwerpstadium vaak nog niet het geval zal zijn. Veelal kan klasse R worden aangenomen. Als het gehalte hoogovenslak 35 % van de totale cementmassa overschrijdt of als meer dan 20 % vliegas is gebruikt, kan klasse N worden aangenomen.



Voor een gehalte hoogovenslak boven 65 % of een gehalte vliegashoudend boven 35 % kan klasse S worden aangenomen.

**Overzicht 1 Bepaling van de elasticiteitsmodulus op lange termijn**

Bereken de elasticiteitsmodulus op lange termijn

$$E_{LT} = \sum W / \left( \frac{W_1}{E_{eff,1}} + \frac{W_2}{E_{eff,2}} + \frac{W_3}{E_{eff,3}} + \frac{W_4}{E_{eff,4}} + \frac{W_5}{E_{eff,5}} \right)$$

met

$$E_{eff} = E_{c28} / (1 + \varphi)$$

$W_n$  = gebruiksbelasting in fase  $n$

$\varphi$  = kruipcoëfficiënt op het tijdstip  $t$

**Overzicht 2 Formules voor een rechthoekige doorsnede**

$$x_u = \frac{\frac{bh^2}{2} + (\alpha_e - 1)(A_s d + A_{s2} d_2)}{bh + (\alpha_e - 1)(A_s + A_{s2})}$$

$$I_u = \frac{bh^3}{12} + bh \left( \frac{h}{2} - x_u \right)^2 + (\alpha_e - 1) [A_s (d - x_u)^2 + A_{s2} (x_u - d_2)^2]$$

$$x_c = \left\{ \left[ (A_s \alpha_e + A_{s2} (\alpha_e - 1))^2 + 2b (A_s d \alpha_e + A_{s2} d_2 (\alpha_e - 1)) \right]^{0.5} - (A_s \alpha_e + A_{s2} (\alpha_e - 1)) \right\} / b$$

$$I_c = \frac{b x_c^3}{3} + \alpha_e A_s (d - x_c)^2 + (\alpha_e - 1) A_{s2} (d_2 - x_c)^2$$

$$\frac{1}{r_{cs}} = \zeta \varepsilon_{cs} \alpha_e \frac{S_u}{I_u} + (1 - \zeta) \varepsilon_{cs} \alpha_e \frac{S_c}{I_c}$$

Waarin

$A_s$  = doorsnede van de trekwapening

$A_{s2}$  = doorsnede van de drukwapening

$b$  = breedte van de doorsnede

$d$  = nuttige hoogte

$d_2$  = afstand van de drukwapening tot de meest gedrukte vezel

$h$  = hoogte van de doorsnede

$\alpha_e$  = equivalentiecoëfficiënt staal-beton

$S_u = A_s (d - x_u) - A_{s2} (x_u - d_2)$

$S_c = A_s (d - x_c) - A_{s2} (x_c - d_2)$

## 8.5 Elasticiteitsmodulus

De grootte van de elasticiteitsmodulus van beton hangt af van het soort granulaat, de kwaliteit van de uitvoering en de nabehandelingvoorwaarden. De schijnbare elasticiteitsmodulus onder langeduurbelasting neemt af in de loop van de tijd ten gevolge van de kruip. Eurocode 2 geeft aanbevolen waarden voor de secantmodulus op 28 dagen,  $E_{cm}$ , (zie [Tabel 8.1](#)) en geeft aanbevelingen voor aanpassingen in functie van het type granulaten. De schijnbare elasticiteitsmodulus bedraagt:

$$E_{c,LT} = E_{c28} / (1 + \varphi)$$

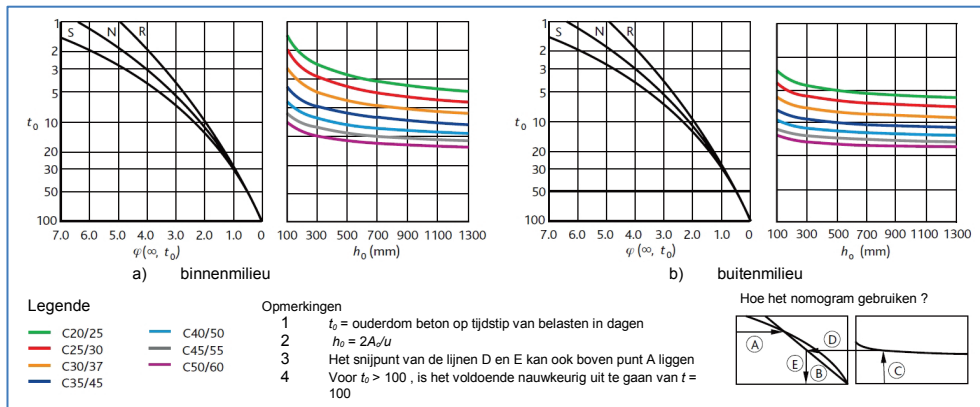
waarin

$$E_{c28} = \text{tangentmodulus op 28 dagen} = 1,05 E_{cm}$$

$\varphi$  = kruipcoëfficiënt (merk op dat in Eurocode 2 betrekking heeft op de 28-daagse korteduur elasticiteitsmodulus, terwijl de 'werkelijke' kruipcoëfficiënt zou moeten gekoppeld zijn aan de elasticiteitsmodulus op het moment van belasting)

De waarde van  $E$  op lange termijn kan nauwkeuriger worden bepaald eenmaal de betonleverancier bekend is (en dus het type granulaten) en de uitvoeringssequentie (en dus het tijdstip van eerste belasting).

Figuur 8.1b Methode voor het bepalen van de kruipcoëfficiënt  $\phi(\infty, t_0)$



Tabel 8.1 Betoneigenschappen

$f_{ck}$	MPa	20	25	30	35	40	50
$f_{cm} = (f_{ck} + 8)$	MPa	28	33	38	43	48	58
$f_{ctm} = (0,3 f_{ck}^{(2/3)}) \leq C50/60$	MPa	2,21	2,56	2,90	3,21	3,51	4,07
$E_{cm} = (22 [(f_{cm})/10]^{0,3})$	GPa	30,0	31,5	32,8	34,1	35,2	37,3
$E_{c28} = (1,05 E_{cm})$	GPa	31,5	33,0	34,5	35,8	37,0	39,1
$\epsilon_{cd,0}$ klasse CEM R, HR = 50 %	$\times 10^{-6}$	746	706	668	632	598	536
$\epsilon_{cd,0}$ klasse CEM R, HR = 80 %	$\times 10^{-6}$	416	394	372	353	334	299
$\epsilon_{cd,0}$ klasse CEM N, HR = 50 %	$\times 10^{-6}$	544	512	482	454	428	379
$\epsilon_{cd,0}$ klasse CEM N, HR = 80 %	$\times 10^{-6}$	303	286	269	253	239	212
$\epsilon_{cd,0}$ klasse CEM S, HR = 50 %	$\times 10^{-6}$	441	413	387	363	340	298
$\epsilon_{cd,0}$ klasse CEM S, HR = 80 %	$\times 10^{-6}$	246	230	216	202	189	166
$\epsilon_{ca}(\infty)$	$\times 10^{-6}$	25	38	50	63	75	100

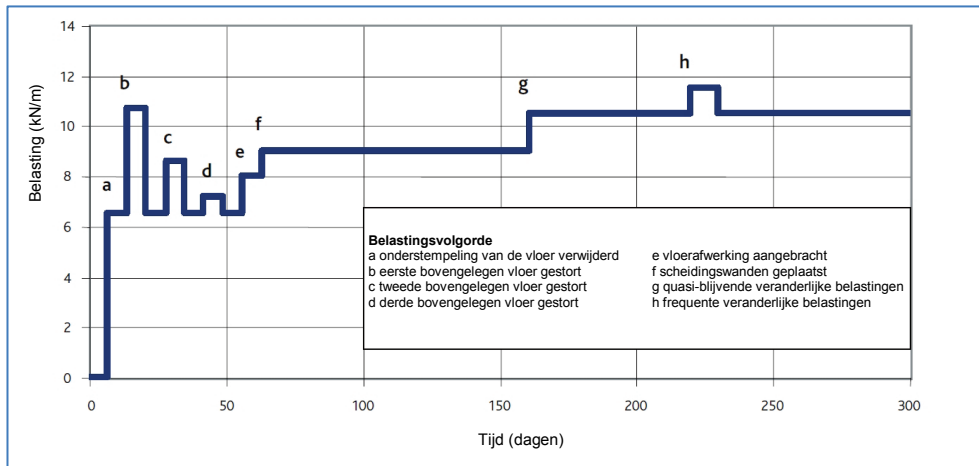
Tabel 8.2: Waarden van de kruipcoëfficiënt  $\phi(\infty, t_0)$  voor cement van het type N

<b>Beton C20/25</b>		<b>Kruip op lange termijn <math>\phi(\infty, t_0)</math>, (cement type 'N')</b>					
ouderdom $t_0$ van het beton op het ogenblik van belasten	fictieve dikte $2A_C / u$ 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	
<b>Beton C25/30</b>		<b>Kruip op lange termijn <math>\phi(\infty, t_0)</math>, (cement type 'N')</b>					
ouderdom $t_0$ van het beton op het ogenblik van belasten	fictieve dikte $2A_C / u$ 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	
<b>Beton C30/37</b>		<b>Kruip op lange termijn <math>\phi(\infty, t_0)</math>, (cement type 'N')</b>					
ouderdom $t_0$ van het beton op het ogenblik van belasten	fictieve dikte $2A_C / u$ 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	
<b>Beton C35/45</b>		<b>Kruip op lange termijn <math>\phi(\infty, t_0)</math>, (cement type 'N')</b>					
ouderdom $t_0$ van het beton op het ogenblik van belasten	fictieve dikte $2A_C / u$ 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	
<b>Beton C40/50</b>		<b>Kruip op lange termijn <math>\phi(\infty, t_0)</math>, (cement type 'N')</b>					
ouderdom $t_0$ van het beton op het ogenblik van belasten	fictieve dikte $2A_C / u$ 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	
<b>Beton C45/50</b>		<b>Kruip op lange termijn <math>\phi(\infty, t_0)</math>, (cement type 'N')</b>					
ouderdom $t_0$ van het beton op het ogenblik van belasten	fictieve dikte $2A_C / u$ 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	
<b>Beton C50/60</b>		<b>Kruip op lange termijn <math>\phi(\infty, t_0)</math>, (cement type 'N')</b>					
ouderdom $t_0$ van het beton op het ogenblik van belasten	fictieve dikte $2A_C / u$ 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	

## 8.6 Belastingsvolgorde

De belastingsvolgorde en het tijdschema kunnen belangrijk zijn bij het bepalen van de doorbuiging van een vloer, omdat ze het moment waarop de vloer zal scheuren (indien dit het geval is) en de waarde van de kruipcoëfficiënt beïnvloeden. [Figuur 8.2](#) geeft een voorbeeld van een belastingshistoriek. Deze laat zien dat in de eerste fasen relatief hoge belastingen optreden bij het storten van de bovengelegen vloeren. De belastingsvolgorde kan uiteraard variëren in functie van de gekozen uitvoeringswijze.

*Figuur 8.2 Voorbeeld van een belastingshistoriek op een plaat*



Naarmate hoger gelegen vloeren worden gestort, treden kleinere belastingstoenames op.

Vervolgens neemt de belasting verder toe door het aanbrengen van de vloerafwerking en de scheidingswanden. Ten slotte treden de veranderlijke belastingen op.

Voor het berekenen van de doorbuiging moet worden uitgegaan van de quasi-blijvende belastingscombinatie (zie hoofdstuk [1 Inleiding tot de Eurocodes](#), voor nadere informatie over belastingscombinaties). Het is vrij waarschijnlijk dat gedurende de gebruikperiode van de constructie de quasi-blijvende belasting wordt overschreden en dat aldus de frequente combinatie meer geschikt is om vast te stellen of de plaat al dan niet gescheurd is.

Uit kosten oogpunt is het vaak gewenst zo snel als mogelijk te ontkisten, door te gaan met de volgende vloeren en zo weinig mogelijk ondersteuning toe te passen. Proeven op vlakke plaatvloeren hebben uitgewezen dat tot 70 % van de belasting veroorzaakt door een pas gestorte bovengelegen vloer (bekisting, vers beton, uitvoeringsbelastingen) door de ondergelegen vloer kan gedragen worden. In het algemeen kan ervan worden uitgegaan dat het vroegtijdig verwijderen van de bekisting geen significante invloed zal hebben op de doorbuiging die optreedt na het aanbrengen van de vloerafwerking en/of scheidingswanden.

Dit is zo omdat de doorbuigingen die invloed hebben op scheidingswanden kleiner zijn indien de plaat voordien al gescheurd is en niet scheurt nadat de vloerafwerking en/of scheidingswanden zijn aangebracht.

## 8.7 Scheurvorming

De doorbuiging van betonelementen is nauw gekoppeld aan de uitgestrektheid van de scheurvorming en de mate waarin het scheurmoment is overschreden. Het optreden van scheuren wordt bepaald door de optredende momenten en krachten en de betontreksterkte, die toeneemt met de ouderdom. Vaak treedt de maatgevende toestand op als de plaat wordt ontkist of als belastingen uit bovengelegen platen worden aangebracht. Als de plaat eenmaal gescheurd is, is de stijfheid blijvend afgenomen.

Het is belangrijk de maatgevende belastingsfase te vinden waarbij de eerste scheurvorming optreedt. Dit is de situatie die overeenstemt met de minimale waarde van de verhouding:

$$\frac{f_{ctm}(t)}{\sigma_{ct}(t)}$$

waarin

$f_{ctm}(t)$  = betontreksterkte op het betreffende moment



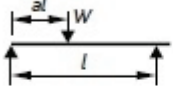
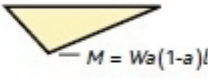


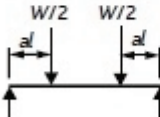
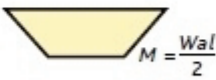
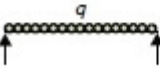

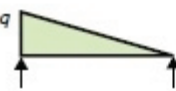

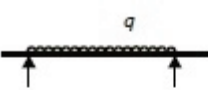
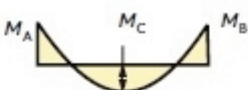
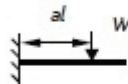
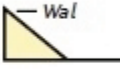
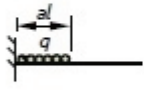
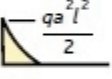
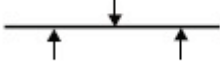

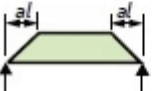
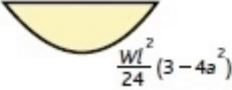
$\sigma_{ct}(t)$  = betontrekspanning ten gevolge van de gebruiksbelastingen aangebracht tot en met die fase

Als de frequente combinatie de maatgevende belastingsfase is, moet de mate van scheurvorming  $\zeta$  zoals berekend voor deze combinatie, ook worden gebruikt voor de quasi-blijvende combinatie, maar echter niet voor voorafgaande belastingsfasen. Als echter blijkt dat een voorafgaande fase maatgevend is, moet de  $\zeta$ -waarde behorend bij die fase in alle navolgende fasen worden gehanteerd.

De krimp is afhankelijk van de water-cementfactor, de relatieve vochtigheid en de afmetingen en vorm van het constructie-element. Krimp optredend in een asymmetrisch gewapende betondoorsnede veroorzaakt een kromming die kan leiden tot een significante toename van de doorbuiging van slanke elementen. Dit effect moet in rekening worden gebracht bij de doorbuigingsberekeningen.

8.8 Methodes voor de doorbuigingsberekening

Figuur 8.3 Waarden van K voor verschillende momentendiagrammen

Belasten	momentendiagrammen	K
		0.125
		$\frac{3-4a^2}{48(1-a)}$ indien $a = \frac{1}{2}, K = \frac{1}{12}$
		0.0625
		$0.125 - \frac{a^2}{6}$
		0.104
		0.102
		$K = 0.104 \left(1 - \frac{\beta}{10}\right)$ $\beta = \frac{M_A + M_B}{M_C}$
		Doorbuiging aan het uiteinde $= \frac{a(3-a)}{6}$ Voor a=1 is K=0,333
		$\frac{a(4-a)}{12}$ Indien $a = l, K = 0.25$
		$K = 0.083 \left(1 - \frac{\beta}{4}\right)$ $\beta = \frac{M_A + M_B}{M_C}$
		$\frac{1(5-4a^2)^2}{80(3-4a)}$

### 8.8.1 Gedetailleerde methode

De gedetailleerde methode is de meest geschikte methode om doorbuigingen zo realistisch mogelijk in te schatten. De methode vereist echter het gebruik van een computerprogramma. Het Concrete Centre heeft een aantal rekenbladen opgesteld op basis van deze methode voor het berekenen van de doorbuiging van een reeks platen en liggers<sup>9</sup>. Hierdoor is een handig middel beschikbaar om gedetailleerde doorbuigingsberekeningen uit te voeren, dat daarenboven toelaat om de invloed van belastingen op jonge ouderdom mee te nemen. [Figuur 8.4](#) geeft de principes van de methode weer en toont aan welke invloedsfactoren zijn meegenomen.

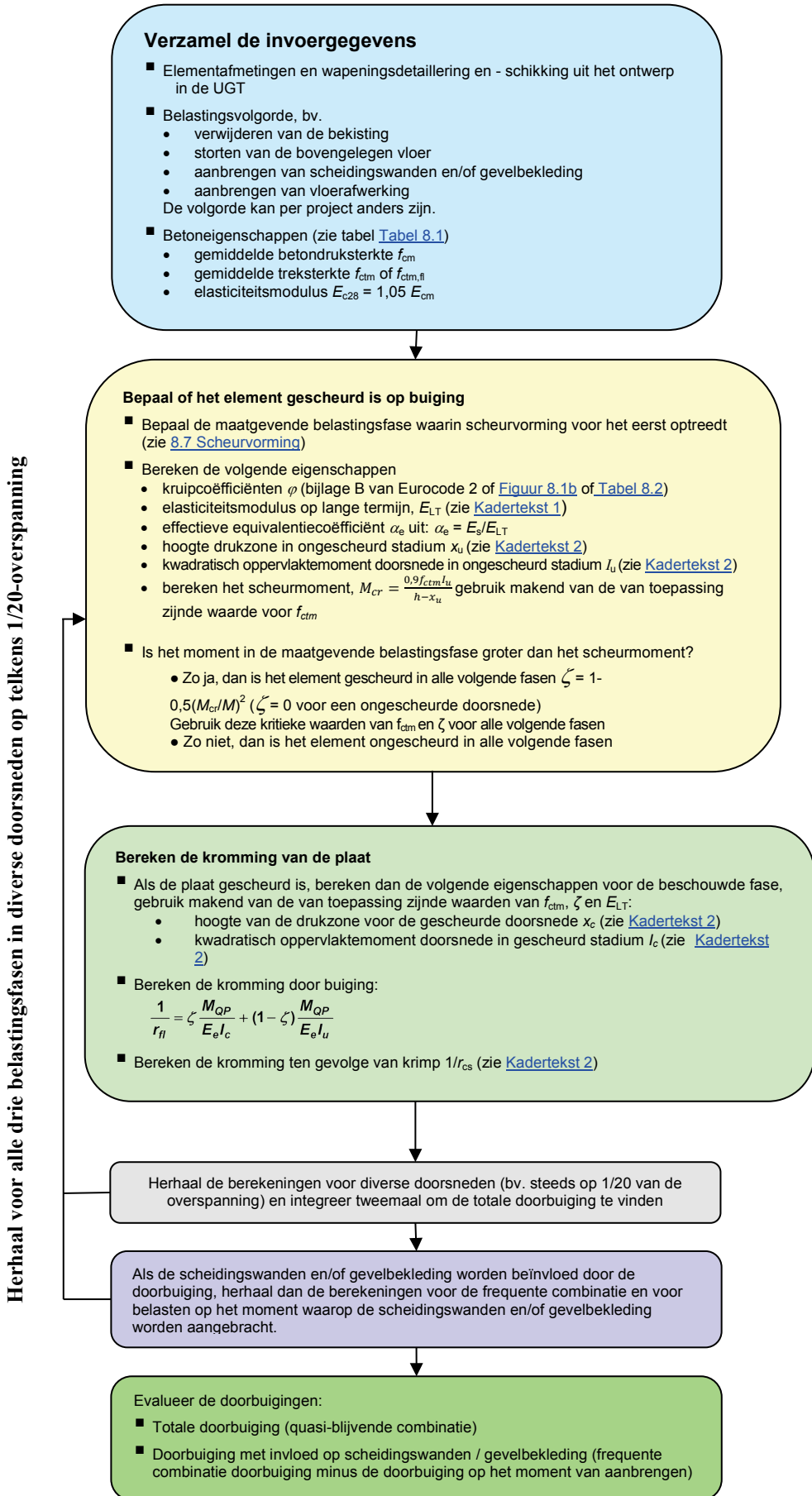
De doorbuiging kan ook worden berekend met de eindige-elementenmethode, waarbij de principes vermeld in [Figuur 8.4](#) kunnen worden opgevolgd om betrouwbare resultaten te verkrijgen.

### 8.8.2 Vereenvoudigde methode

Een vereenvoudigde methode voor het berekenen van de doorbuiging is voorgesteld in [Figuur 8.5](#). Het is mogelijk deze berekeningen met de hand uit te voeren. De methode kan worden gebruikt om de resultaten van berekeningen gemaakt met een computerprogramma te verifiëren, of om eenvoudigweg de grootteorde te bepalen.

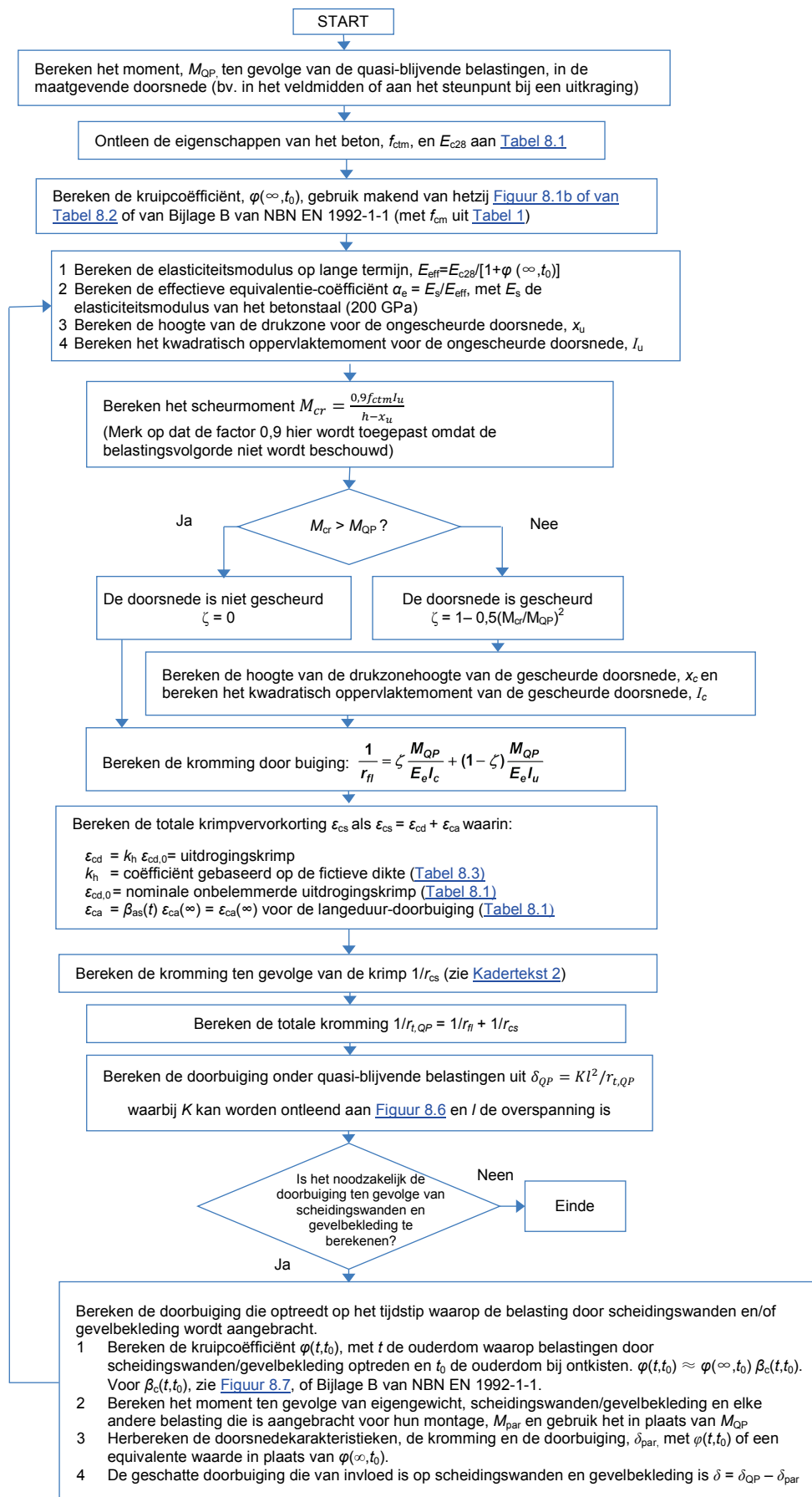
De belangrijkste vereenvoudiging die doorgevoerd is, is het niet expliciet meenemen van de invloeden van het belasten op relatief jonge leeftijd. Hiervoor wordt bij het berekenen van het scheurmoment een forfaitaire reductiefactor 0,9 ingevoerd. De kruipcoëfficiënten zijn vereenvoudigd en de doorbuiging wordt direct berekend uit één waarde van de kromming.

Figuur 8.4 Schema van de gedetailleerde methode voor het berekenen van de doorbuiging





Figuur 8.5 Vereenvoudigde methode voor de berekening van de doorbuiging



Tabel 8.3 Waarden van  $K_h$

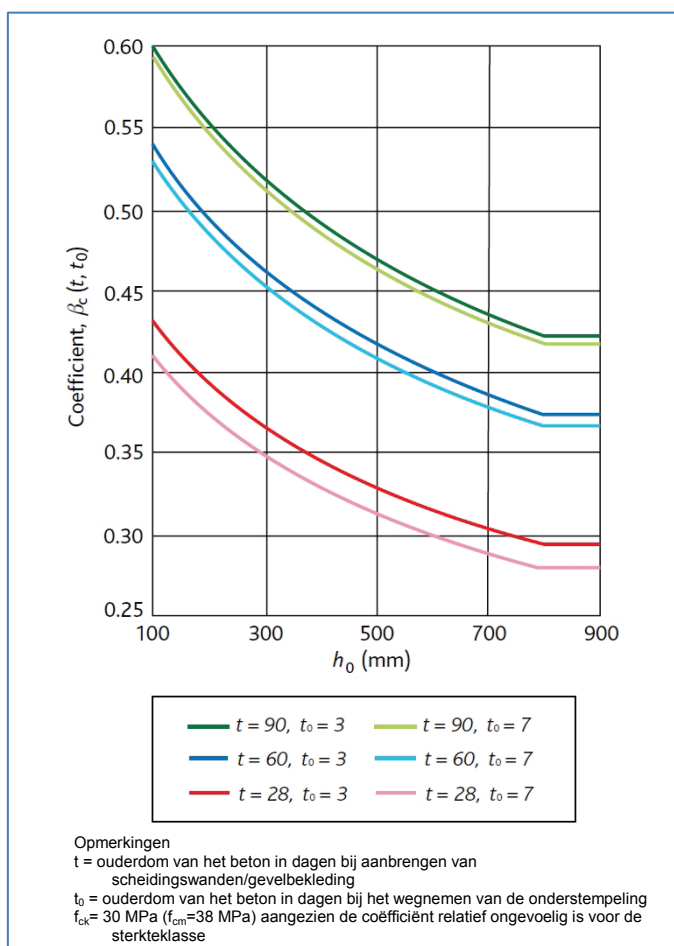
$h_0$	$K_h$
100	1,0
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

**Opmerking**  
 $h_0$  is de fictieve dikte (mm) van de dwarsdoorsnede =  $2A_c/u$  waarin  
 $A_c$  = oppervlakte van de betondoorsnede  
 $u$  = omtrek van de dwarsdoorsnede van de aan uitdroging blootgestelde doorsnede

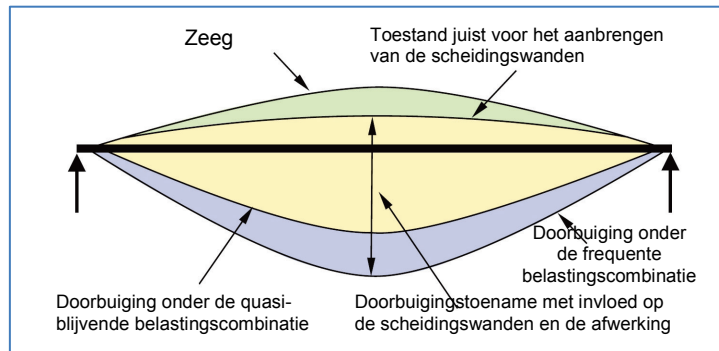
8.8.3 Zeeg

Om de doorbuiging ten opzichte van de horizontale door de steunpunten te reduceren, kan een plaat of ligger worden voorzien van een zeeg (zie [Figuur 8.8](#)). Als echter een te grote zeeg wordt toegepast, blijft de plaat een zeeg vertonen, omdat het moeilijk is om de doorbuiging voldoende nauwkeurig te berekenen. Een zeeg ter grootte van circa de helft van de doorbuiging onder de quasi-blijvende belastingscombinatie kan worden toegepast, maar het wordt aanbevolen om een kleinere waarde aan te nemen. Er wordt op gewezen dat een zeeg niet leidt tot een reductie van de doorbuigingstoename die een invloed heeft op scheidingswanden en gevelbekleding.

Figuur 8.7 Coëfficiënt voor de evolutie van de kruip na belasting in functie van de tijd



Figuur 8.8 Zeeg van een plaat

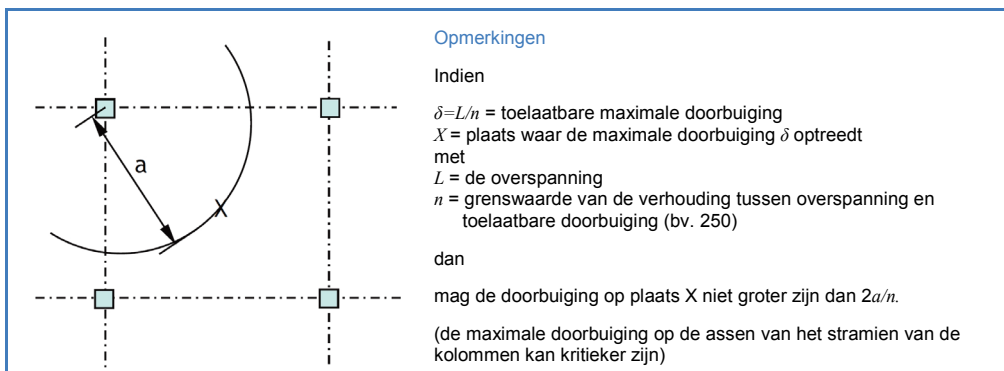


## 8.9 Vlakke plaatvloeren

Vlakke plaatvloeren zijn veel gebruikte en efficiënte vloersystemen. Aangezien ze dragend zijn in twee richtingen blijkt het moeilijk te zijn om de doorbuiging nauwkeurig te berekenen. Verschillende geschikte methoden voor het berekenen van de doorbuiging zijn beschreven in de technische aanbeveling TR58<sup>8</sup>. Een gebruikelijke methode hierbij is het berekenen van het gemiddelde van de doorbuiging van twee parallelle kolomstroken en daar de doorbuiging van een er loodrecht op overspannende middenstrook bij op te tellen. Het resultaat is een benadering van de grootste doorbuiging in het midden van de plaat.

[Figuur 8.9](#) geeft de aanbevolen toelaatbare doorbuiging voor vlakke plaatvloeren.

Figuur 8.9 Aanbevolen toelaatbare doorbuiging voor vlakke plaatvloeren



## 8.10 Nauwkeurigheid

Het berekenen van de doorbuiging met Eurocode 2 volgens de gedetailleerde methode zoals hier uiteengezet, kan worden gebruikt om de op jonge leeftijd, tijdens de bouwfase, optredende belastingen in rekening te brengen door gebruik te maken van een gereduceerde treksterkte voor het jong beton.

Het is echter niet mogelijk de invloed van de volgende parameters op de doorbuiging nauwkeurig in rekening te brengen:

- de betontreksterkte, die het scheurmoment bepaalt
- de belastingen tijdens de uitvoeringsfase
- de elasticiteitsmodulus van het beton

Daarom moet elke doorbuigingsberekening worden beschouwd als een schatting, waarbij wordt opgemerkt dat zelfs bij de meest geavanceerde analyses nog steeds een afwijking van +15 % tot -30 % kan optreden. Het wordt aanbevolen een voorbehoud in die zin te maken bij elke berekende doorbuiging die voor andere partijen van belang is.

## 8.11 Toleranties voor gevelbekleding

De doorbuiging kan op de volgende manieren invloed hebben op de gevelbekleding en beglazing:

- Als een plaat doorbuigt neemt de belasting op de centrale bevestigingsmiddelen af en worden de buitenste bevestigingsmiddelen zwaarder belast.
- Producenten kunnen aangeven dat hun beglazingssystemen toepasbaar is tot een vastgestelde maximale doorbuiging Deze kan bijvoorbeeld beperkt zijn tot 5 mm.

Een open discussie wordt aanbevolen tussen ontwerpers en constructeurs van de diverse toegepaste elementen en onderdelen, om de interactie tussen constructie en gevelbekleding op de meest kosten-efficiënte wijze op te lossen.

### 8.12 Referenties

- 1 NBN EN 1992-1-1 - Eurocode 2: *Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1 Algemene regels en regels voor gebouwen.*
- 6 BRITISH CEMENT ASSOCIATION. *Early striking and improved backpropping.* BCA, 2001. (Disponible sur [www.concretecentre.com](http://www.concretecentre.com))
- 7 PALLETT, P. *Guide to flat slab formwork and falsework.* Construct, 2003.
- 8 THE CONCRETE SOCIETY. Technical report No. 58 *Deflections in concrete slabs and beams.* The Concrete Society, 2005.
- 9 WEBSTER, R & BROOKER, O. *How to design concrete structures using Eurocode 2: Deflection calculations.* The Concrete Centre, 2006.

#### Bijkomende referenties voor geprefabriceerde constructies

NBN EN 13369 – *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten* +  
NBN B 21-600 - *Algemene bepalingen voor geprefabriceerde betonproducten - Nationale aanvulling bij NBN EN 13369*









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](http://www.febelcem.be) - [info@febelcem.be](mailto:info@febelcem.be)

Auteurs:

Jean-François Cap (UCL)  
Jean-François Denoël (FEBELCEM)  
Luc Taerwe (UGENT)

Wettelijk depot  
D/2017/0280/08

Verantw. uitgever: A. Jasienski

[Infobeton.be](http://Infobeton.be)

