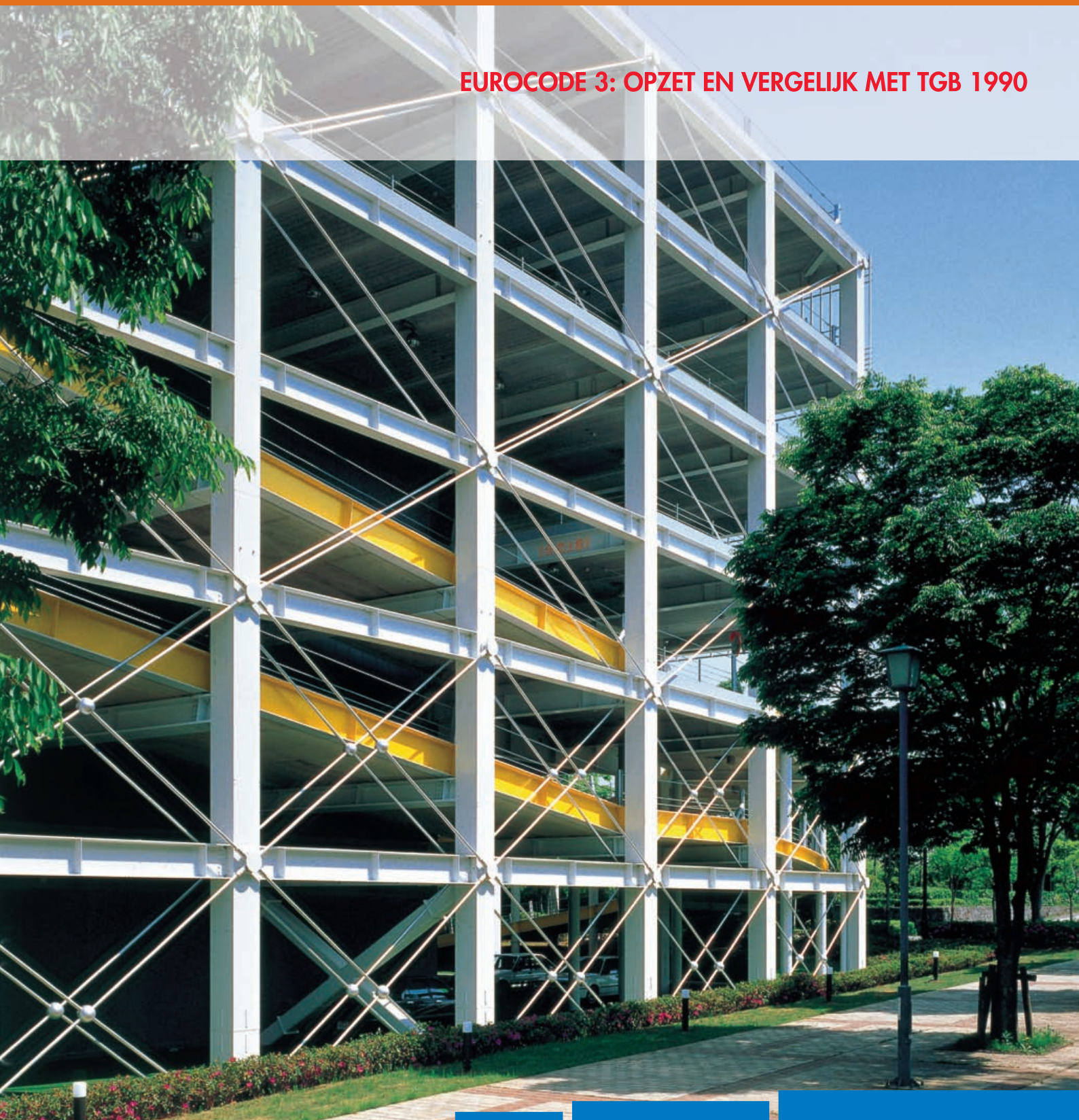


Technisch Dossier #3

EUROCODE 3: OPZET EN VERGELIJK MET TGB 1990





Colofon

Tekst

prof.ir. F.S.K. Bijlaard
 prof.ir. H.H. Snijder
 prof.ir. J.W.B. Stark
 ir. H.M.G.M. Steenbergen

Frans Bijlaard is hoogleraar Staalconstructies aan de Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de Technische Universiteit Delft. Hij is voorzitter van commissie CEN-TC 250/SC3 (Design of steel structures) die de Eurocode 3 ontwikkelt en hij is voorzitter van ECCS-commissie TC10 (Connections). Verder is hij lid van commissie TC8 (Stabiliteit) en lid van commissie TC10 (Verbindingen) van Bouwen met Staal.

Bert Snijder is hoogleraar Constructief Ontwerpen (staal) aan de Faculteit Bouwkunde van de Technische Universiteit Eindhoven. Hij is lid van ECCS-commissie TC8 (Stability) en van commissie TC8 (Stabiliteit) van Bouwen met Staal. Tevens vertegenwoordigt hij Nederland in CEN-TC 250/SC3; de CEN-commissie die verantwoordelijk is voor het opstellen van de EN 1993 (Design of steel structures).

Jan Stark is emeritus hoogleraar Staalconstructies aan de Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de Technische Universiteit Delft. Hij is partner van Maatschap Stark en was lid van het projectteam dat de ENV 1993 (Design of steel structures) heeft opgesteld.

Henri Steenbergen is werkzaam bij TNO Bouw en Ondergrond in Delft en is specialist op het gebied van staalconstructies en de betrouwbaarheid van constructies. Hij is lid van de commissies TC8 (Stabiliteit) en TC10 (Verbindingen) van Bouwen met Staal.

Uitgave Bouwen met Staal
Vormgeving Klats+Poseidon
Foto omslag Shinkenchiku-sha

ISBN 987-90-72830-78-4

© Bouwen met Staal 2007

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand en/of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Aan de totstandkoming van deze publicatie is de uiterste zorg besteed. Desondanks zijn eventuele (druk)fouten en onvolkomenheden niet uit te sluiten. De uitgever sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, elke aansprakelijkheid uit voor directe en indirecte schade, ontstaan door of verband houdende met de toepassing van deze publicatie.



Bouwen met Staal
 Boerhaavelaan 40
 2713 HX Zoetermeer
 Postbus 190
 2700 AD Zoetermeer
 tel. (079) 353 12 77
 fax (079) 353 12 78
 info@bouwenmetstaal.nl
 www.bouwenmetstaal.nl



Inhoud

1	Wat zijn de Eurocodes?	2
2	Nationale Bijlagen	5
3	Invoering in Nederland	6
4	Eurocode 3 (NEN-EN 1993. Staalconstructies)	8
4.1	Historische ontwikkeling	8
4.2	Opzet en inhoud van Eurocode 3	9
5	NEN-EN 1993-1-1 (Algemene regels en regels voor gebouwen)	12
5.1	Inhoud, opzet en indeling	12
5.2	NEN-EN 1993-1-1 versus TGB 1990	12
5.3	Nationale Bijlage bij NEN-EN 1993-1-1	16
6	NEN-EN 1993-1-8 (Verbindingen)	21
6.1	Inhoud, opzet en indeling	21
6.2	NEN-EN 1993-1-8 versus TGB 1990	21
6.3	Nationale Bijlage bij NEN-EN 1993-1-8	26
7	NEN-EN 1993-1-10 (Materiaaltaaiheid en eigenschappen in dikterichting)	28
7.1	Inhoud, opzet en indeling	28
7.2	Nationale Bijlage bij NEN-EN 1993-1-10	28
8	Rekenvoorbeelden	30
9	Literatuur en websites	32

1 • Wat zijn de Eurocodes?

De Eurocodes zijn de Europese technische voorschriften voor de verificatie van constructies aan eisen van constructieve veiligheid. Doel van de Eurocodes is het wegnemen van technische handelsbelemmeringen die opgeworpen kunnen worden door de verschillen in technische voorschriften voor bouwconstructies in de diverse Europese landen. Al in 1975 werd dit onderkend en nam de Commissie van de Europese Gemeenschap het initiatief tot harmonisatie van de technische voorschriften, die in eerste instantie als alternatief zouden dienen voor de vigerende nationale voorschriften in de lidstaten om deze uiteindelijk te vervangen. In de jaren tachtig van de vorige eeuw ontstond de eerste generatie Eurocodes, die in 1989 door de Commissie werd ondergebracht bij CEN (Commission Européenne de Normalisation) met als doel om de Europese technische voorschriften voor bouwconstructies de status van EN, Europese Norm, te verlenen. Het idee hierachter is dat de EN op termijn de overeenkomstige nationale norm, uitgegeven door bijvoorbeeld NEN, DIN en BS, zal vervangen.

Er zijn drie belangrijke redenen waarom lidstaten van de Europese Gemeenschap (EG) en de landen van de European Free Trade Association (EFTA) overstappen van de eigen nationale constructievoorschriften naar de Eurocodes:

- Het wegnemen van technische barrières tussen de Europese lidstaten.
- Eurocodes vormen de basis voor het uniform weergeven van sterkte-eigenschappen van bouwproducten met CE-markering. Hierdoor wordt verzekerd dat bij toepassing van deze producten een consistent veiligheidsniveau wordt verkregen. Een voorbeeld van zo'n product is een turnkey-hal die door de producent in geheel Europa op de markt wordt gebracht. De CE-markering garandeert in dit geval een berekening van de karakteristieke eigenschappen volgens de Eurocode.
- De Eurocodes worden aangewezen in de Europese

Aanbestedingsrichtlijn als basis voor de constructieve berekening van grote werken. Wat onder 'grote werken' moet worden verstaan is geregeld in [1]. Zie ook het kader 'Limietbedragen voor Europees aanbesteden'.

De Eurocodes worden ingevoerd in: België, Cyprus, Denemarken, Duitsland, Estland, Finland, Frankrijk, Griekenland, Hongarije, Ierland, Italië, Letland, Litouwen, Luxemburg, Malta, Nederland, Noorwegen, Oostenrijk, Polen, Portugal, Slovenië, Slowakije, Spanje, Tsjechië, Verenigd Koninkrijk, IJsland en Zweden. Zwitserland – geen lid van de EG en ook niet van EFTA, maar wel lid van CEN – neemt formeel de Eurocodes niet over, maar heeft haar constructienormen

Limietbedragen voor Europees aanbesteden

Samengevat zijn de limietbedragen waarboven Europees moet worden aanbesteed voor 2007 als volgt:

- € 137.000 in het geval van overheidsopdrachten van centrale overheidsinstanties (ministeries, nationale openbare instellingen) voor leveringen en diensten;
- € 211.000 in het geval van op leveringen en diensten gerichte overheidsopdrachten van aanbestedende diensten die geen centrale overheidsinstanties zijn (zoals gemeenten).
- € 211.000 in het geval van overheidsopdrachten van centrale overheidsinstanties voor leveringen en diensten die te maken hebben met bepaalde producten uit bijvoorbeeld de defensiesector, onderzoeks- en ontwikkelingswerk en telecommunicatie;
- € 5.278.000 in het geval van overheidsopdrachten voor werken.

Zie [1] voor een uitgebreidere beschouwing en toelichting.



inhoudelijk vervangen door de inhoud van de Eurocodes. Alle lidstaten van de EG hebben zich verplicht tot invoering uiterlijk 2010. In verschillende landen wordt het nu al toegestaan te rekenen met de Eurocodes. Zo worden in Frankrijk en Duitsland alle grote bruggen berekend met de Eurocodes. Op www.access-steel.com staat de link 'Eurocode timetable'. Daar staat per land aangegeven wanneer de Eurocode moet worden toegepast en wanneer de Nationale Voorschriften teruggetrokken worden.

Invoering van de Eurocodes heeft grote gevolgen voor de constructeurs in Europa en dus ook in Nederland. De constructeurs moeten zich de nieuwe normen eigen maken en er wegwijs in worden. Het grote voordeel is dat in alle Europese landen dezelfde bouwvoorschriften en toetsingsregels worden gehanteerd, zij het dat lokale verschillen, bijvoorbeeld in het veiligheidsniveau, vooralsnog mogelijk blijven. De intentie van de Europese Commissie is om in de toekomst ook de regionale verschillen gelijk te trekken. Zo zal er één Europese windkaart en sneeuwkaart komen en gelijke veiligheidsniveaus.

Een overzicht van de Eurocodes is weergegeven in *tabel 1*.

De opzet en indeling van de delen van de Eurocode is enigszins vergelijkbaar met die van de Nederlandse TGB-serie.

- De Eurocodes beginnen met de basisnorm NEN-EN 1990, die echter wat uitgebreider is dan NEN 6700 en tevens de te hanteren belastingcombinaties aangeeft.
- Analooq met NEN 6702 volgt NEN-EN 1991 met tien delen voor de verschillende soorten belastingen op gebouwen en andere constructies.
- Dan volgt een serie met specifieke constructievoorschriften voor de constructiematerialen. Dit zijn beton (NEN-EN 1992), staal (NEN-EN 1993), staal-beton (NEN-EN 1994), hout (NEN-EN 1995) en metselwerk (NEN-EN 1996). De norm voor staal-beton is nieuw voor Nederland.
- Analooq met NEN 6740 is NEN-EN 1997 bestemd voor het geotechnisch ontwerp. Daarmee kan de gebruiker rekenen aan het draagvermogen en andere sterkte-eigenschappen van de ondergrond.
- Nieuw voor Nederland is NEN-EN 1998 voor het toetsen van de aardbevingsbestendigheid van constructies.
- De laatste in de serie is NEN-EN 1999 (aluminium).

Tabel 1. Overzicht van de Eurocodes.

NEN-EN 1990	Eurocode 0	Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991	Eurocode 1	Belastingen op constructies
NEN-EN 1992	Eurocode 2	Ontwerp en berekening van betonconstructies
NEN-EN 1993	Eurocode 3	Ontwerp en berekening van staalconstructies
NEN-EN 1994	Eurocode 4	Ontwerp en berekening van staal-beton constructies
NEN-EN 1995	Eurocode 5	Ontwerp en berekening van houtconstructies
NEN-EN 1996	Eurocode 6	Ontwerp en berekening van constructies van metselwerk
NEN-EN 1997	Eurocode 7	Geotechnisch ontwerp en berekening
NEN-EN 1998	Eurocode 8	Ontwerp en berekening van aardbevingsbestendige constructies
NEN-EN 1999	Eurocode 9	Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies

De in *tabel 1* genoemde Eurocodes zijn weer onderverdeeld in verschillende delen. Het totale pakket bestaat uit 59 delen. Voor een aantal Eurocodes zijn de delen gegeven in *tabel 2* (zie verderop). Bij elk deel wordt een Nationale Bijlage geschreven. De diverse landen publiceren de delen van de Eurocodes als Nationale Normen die als volgt zijn opgebouwd:

- een nationaal titelblad;
- een nationaal voorwoord;
- de integrale tekst van het betreffende deel van de Eurocode als gepubliceerd door CEN;
- de Nationale Bijlage tot slot.

De totstandkoming en de invoering van de Eurocodes is een omvangrijk en moeizaam proces.

Maar er staan veel voordelen tegenover. De Eurocodes vormen namelijk een samenhangende en eigentijdse set constructievoorschriften voor geheel Europa. Het uitgangspunt is enerzijds harmonisatie van de regels over de lidstaten. Dat biedt grote voordelen voor de constructeurs die Europa als werkterrein gebruiken. Anderzijds is ook gestreefd naar harmonisatie over de verschillende constructiematerialen, zowel qua presentatie als de inhoudelijke regels. Dat is vanzelfsprekend een belangrijk voordeel voor constructeurs die immers meestal met verschillende materialen werken. Ook de sterkte-eigenschappen van bouwproducten sluiten aan op de Eurocodes. En de rest van de wereld kijkt met belangstelling naar de mogelijkheden van de Eurocodes. Op hun verzoek zijn Eurocodes bijvoorbeeld gepresenteerd in China en Singapore. Singapore heeft inmiddels besloten om op de Eurocodes over te gaan. De reden is dat de Eurocodes op consistente wijze alle constructieve gebieden van de bouw omvatten en de modernste inzichten bevatten ten aanzien van de toetsing van constructies. Verdere voordelen zijn dat de Eurocodes een gemeenschappelijke basis vormen voor onderzoek en ontwikkeling en dat ontwerphulpmiddelen en software voor een veel grotere markt kunnen worden ontwikkeld.

In de Nationale Bijlagen (zie hoofdstuk 2) worden de zogenaamde Nationaal Bepaalde Parameters vastgelegd, wordt de status van de Informatieve Bijlagen vastgelegd en wordt zogenaamde 'niet-tegenstrijdige aanvullende informatie' gegeven.



foto: C.H. van Eldik

2 • Nationale Bijlagen

Nationaal Bepaalde Parameters

In de Eurocodes komen Nationaal Bepaalde Parameters voor. In het voorwoord van elk deel van de Eurocodes is een lijst met artikelen opgenomen waarin Nationaal Bepaalde Parameters voorkomen. Deze parameters moeten door de nationale autoriteiten die verantwoordelijk zijn voor de bouw nader worden ingevuld op basis van voorstellen van de nationale normalisatie-instituten. En dat gebeurt dus in de Nationale Bijlagen. Dit maakt het mogelijk om bijvoorbeeld voor wind- en sneeuwbelasting op nationaal niveau precieze regels voor de belasting te geven zoals die nu van kracht zijn. Bovendien kan op deze manier het veiligheidsniveau worden gekalibreerd aan wat in de diverse landen tot op heden gebruikelijk is. Ook kan worden gekalibreerd op kosten. Het is toegestaan de Nationaal Bepaalde Parameters zodanig te kiezen dat met de Eurocodes hetzelfde veiligheids- en kostenniveau wordt bereikt als op basis van de huidige bouwregelgeving. Op deze manier bieden de Eurocodes de diverse landen de ruimte bepaalde waarden in de berekeningen op nationaal niveau vast te stellen. Die ruimte bleek nodig te zijn om recht te doen aan de verschillen die er nu eenmaal zijn tussen de bouwregelgevingen van de diverse Europese landen. Bovendien is het veiligheidsniveau en de koppeling daarvan aan wetgeving – in Nederland is dat het Bouwbesluit – een nationale verantwoordelijkheid van elk van de lidstaten afzonderlijk. Overigens worden in de Eurocodes wel aanbevolen waarden gegeven voor de Nationaal Bepaalde Parameters en wordt van de diverse landen verwacht dat ze zeer terughoudend zijn met het afwijken van de aanbevolen waarden. Een afwijking moet altijd worden gemotiveerd.

Status Informatieve Bijlagen

De Nationale Bijlagen geven ook aan wat de status is van de Informatieve Bijlagen bij de diverse delen van de Euro-

code. De status kan informatief blijven, maar een land kan ook besluiten dat het materiaal in de bijlage zo belangrijk is dat de bijlage normatief moet worden gemaakt. In Nederland is bijvoorbeeld besloten om Bijlage BB.1 van NEN-EN 1993-1-1 normatief te maken, omdat deze bijlage kniklengten geeft voor vakwerken en deze materie ook al in de TGB is geregeld. Daarnaast is het mogelijk dat een Informatieve Bijlage niet van kracht wordt verklaard in een bepaald land, die dat dan moet aangeven in zijn Nationale Bijlage. Zo wordt bijlage A van NEN-EN 1993-1-1 in ons land niet van kracht verklaard, omdat Nederland niet kiest voor de in deze bijlage gegeven methode voor de beoordeling van op druk en buiging belaste kolommen. Meer voorbeelden van beide situaties zijn te vinden in *tabel 7* (zie verderop).

Niet-tegenstrijdige aanvullende informatie

Tot slot kan er 'niet-tegenstrijdige aanvullende informatie' in de Nationale Bijlage worden opgenomen. Het betreft hier informatie over onderwerpen die voorheen in een land wel in normen werden geregeld maar in de Eurocodes niet meer voorkomen. Of het betreft informatie die een welkome aanvulling vormt op wat in de Eurocodes is geregeld, bijvoorbeeld informatie over kniklengten. Voor voorbeelden wordt verwezen naar *tabel 8* en naar *tabel 12* verderop.

Er moet consistentie zijn tussen geharmoniseerde technische voorschriften voor bouwproducten en de toetsingsregels voor bouwwerken. Daartoe moet de informatie – die de CE-markering van bouwproducten vergezelt en die naar de Eurocodes verwijst – zijn gebaseerd op de karakteristieke waarden, dus zonder de γ -waarden en met de aanbevolen waarden voor de overige Nationaal Bepaalde Parameters. Wanneer uit gebruiksvriendelijkheid ook ontwerpwaarden zijn gegeven, wat overigens niet verplicht is, moet duidelijk zijn vermeld welke Nationaal Bepaalde Parameters in rekening zijn gebracht.

3 • Invoering in Nederland

Omdat de invoering van het totale stelsel Eurocodes een ingrijpende aangelegenheid is, is gekozen voor een gefaseerde aanpak. Eerst komen de delen die benodigd zijn voor het construeren van gebouwen beschikbaar in de tweede helft van 2007. Daarna komen in de loop van 2008 de delen die benodigd zijn voor het construeren van bruggen (tweede fase) en tot slot komen waarschijnlijk ook nog in 2008 de delen aan bod die bestemd zijn voor speciale constructies zoals kranen, torens, masten, pijpleidingen en silo's (derde fase).

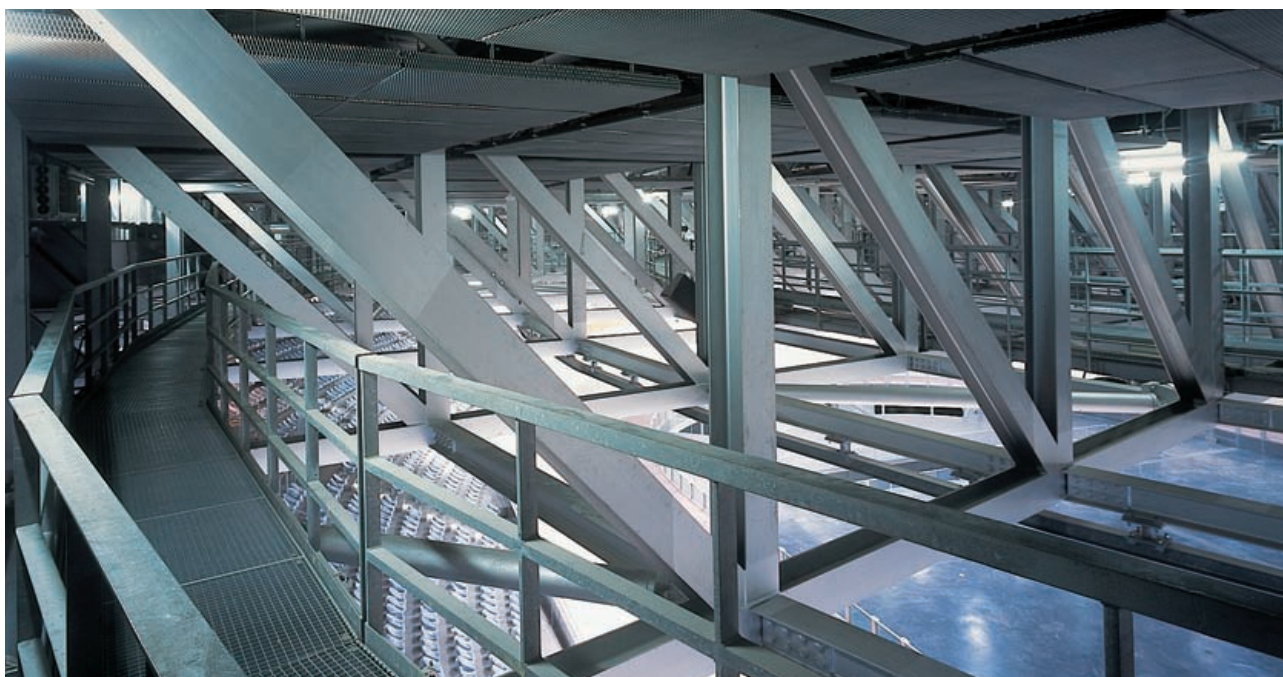
Tabel 2 geeft een overzicht van de delen die behoren tot de eerste fase voor toepassing bij gebouwen en de vigerende normen die ze vervangen.

Eerste fase

De delen van de Eurocode uit de eerste fase worden alle in het Nederlands vertaald. Bij de delen voor bruggen en speciale constructies wordt later bepaald welke delen

worden vertaald. Vertalen is een omvangrijke taak en daarom worden uitsluitend die delen vertaald waarvan wordt verwacht dat ze op grote schaal gaan worden gebruikt. Het vertalen van de Eurocodes is een gezamenlijke actie van Nederland en het Vlaamse deel van België om zo een uniforme vertaling voor het hele Nederlandse taalgebied te verkrijgen^[2].

De verwachting is dat de delen uit de eerste fase vanaf medio 2008 in Nederland door het Bouwbesluit worden aangestuurd. Vanaf dat moment kunnen bouwvergunningaanvragen voor bouwwerken op constructief gebied worden getoetst aan de hand van de Eurocodes. De eerste jaren wordt voorzien in een duaal stelsel (co-existentie): het naar keuze mogen gebruiken van het TGB-stelsel of het Eurocode-stelsel. NEN is door CEN verplicht de Nederlandse TGB-normen uiterlijk op 31 maart 2010 in te trekken. Vanaf 1 april 2010 gelden dan uitsluitend nog de Eurocodes in Nederland.





Tabel 2. Delen van de Eurocode behorende tot de eerste fase voor toepassing bij gebouwen.

Eurocode	naam	equivalent TGB
Eurocode 0 (Grondslagen)		
NEN-EN 1990	Grondslagen van het constructief ontwerp	NEN 6700, NEN 6702
Eurocode 1 (Belastingen op constructies)		
NEN-EN 1991-1-1	Dichtheden, eigen gewicht, opgelegde belastingen	NEN 6702
NEN-EN 1991-1-2	Belastingen bij brand	NEN 6069
NEN-EN 1991-1-3	Sneeuwbelastingen	NEN 6702
NEN-EN 1991-1-4	Windbelasting	NEN 6702
NEN-EN 1991-1-5	Thermische belasting	NEN 6702
NEN-EN 1991-1-7	Buitengewone belastingen (botsing, explosie)	NEN 6702
Eurocode 2 (Betonconstructies)		
NEN-EN 1992-1-1	Algemene regels en regels voor gebouwen	NEN 6720
NEN-EN 1992-1-2	Betonconstructies bij brand	NEN 6071
Eurocode 3 (Staalconstructies)		
NEN-EN 1993-1-1	Algemene regels en regels voor gebouwen	NEN 6770, NEN 6771
NEN-EN 1993-1-2	Staalconstructies bij brand	NEN 6072
NEN-EN 1993-1-3	Aanvullende regels voor koudgevormde dunwandige profielen en platen	NEN 6773
NEN-EN 1993-1-5	Aanvullende regels voor plooien van plaatvelden	NEN 6771
NEN-EN 1993-1-8	Aanvullende regels voor verbindingen	NEN 6772
NEN-EN 1993-1-10	Aanvullende regels voor keuze van breuktaaiheid en eigenschappen in dikterichting	NEN 6774
Eurocode 4 (Staal-beton constructies)		
NEN-EN 1994-1-1	Algemene regels en regels voor gebouwen	geen
NEN-EN 1994-1-2	Staal-beton constructies bij brand	geen
Eurocode 5 (Houtconstructies)		
NEN-EN 1995-1-1	Algemene regels en regels voor gebouwen	NEN 6760
NEN-EN 1995-1-2	Houtconstructies bij brand	NEN 6073
Eurocode 6 (Constructies van metselwerk)		
NEN-EN 1996-1-1	Algemene regels voor gewapend en ongewapend metselwerk	NEN 6790, NPR 6791
NEN-EN 1996-1-2	Metselwerkconstructies bij brand	geen
Eurocode 7 (Geotechnisch ontwerp)		
NEN-EN 1997-	Algemene regels	NEN 6740
Eurocode 9 (Aluminiumconstructies)		
NEN-EN 1999-1-1	Algemene regels	NEN 6710
NEN-EN 1999-1-2	Ontwerp en berekening van constructies bij brand	geen

4 • Eurocode 3 (NEN-EN 1993. Staalconstructies)

4.1 Historische ontwikkeling

Afbeelding 1 toont schematisch de historische ontwikkeling van Eurocode 3 in samenhang met de ontwikkeling van de Nederlandse TGB 1990 Staalconstructies.

Eerste concept Eurocode 3 (Design of steel structures)

Het eerste concept van Eurocode 3 (1st Draft CEC) werd opgesteld in de periode 1979-1984. Als basisdocument diende de door ECCS (European Convention for Constructi-onal Steelwork) uitgegeven ECCS Recommendations-1978 (ECCS-REC.). Deze ECCS-richtlijnen waren gebaseerd op bijdragen vanuit Technische Commissies van de ECCS (ECCS-TC's). Bij het opstellen van de TGB 1972 is gebruik gemaakt van dezelfde basisinformatie uit deze Technische Commissies. Bij de TGB 1972 werd al overgegaan op de veiligheidsbeschouwing op basis van grenstoestanden. Wel werd in Nederland als overgangsfase nog gewerkt met een integrale belastingfactor, die zowel de onzekerheden aan de belastingzijde als die aan de materiaalzijde in rekening

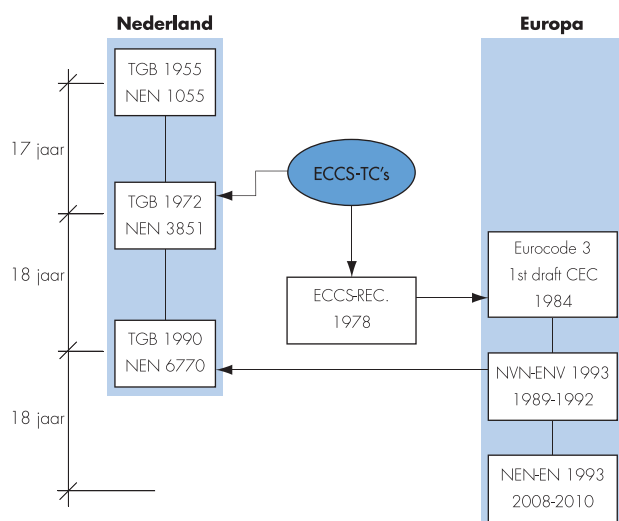
bracht. Dit hield wel in dat deze integrale belastingfactor per materiaal verschillend was.

Op basis van ervaringen met proefberekeningen, kalibraties en commentaren over tekst en presentatie vanuit de lidstaten werd de Europese voornorm ENV 1993 (Design of steel structures) opgesteld. De definitieve versie kwam gereed in 1989 maar door vertraging veroorzaakt door overdracht van de verantwoordelijkheid voor de verdere ontwikkeling van de Europese Commissie aan CEN werd deze ENV pas in 1992 gepubliceerd. Bij het opstellen van de TGB 1990 Staalconstructies werd besloten de technische inhoud zoveel mogelijk te baseren op de ENV 1993 om de toekomstige overgang naar de Eurocodes makkelijker te maken. Als gevolg van de eisen van de overheid met betrekking tot aansluiting op het Bouwbesluit wijkt de vorm en presentatie af van de TGB 1972.

Laatste stap in het Eurocode project

De laatste stap van het Eurocode project vormde de conversie van ENV naar EN. In deze laatste stap is het aantal technische wijzigingen zoveel mogelijk beperkt. De nadruk lag op verbetering van opzet en presentatie. Maar op tal van onderdelen bleek dat voortschrijdend inzicht en uitgevoerd onderzoek aanleidingen waren om ook inhoudelijke wijzigingen door te voeren.

Beschouwing van de hiervoor geschetste samenhang tussen de ontwikkeling van de Nederlandse TGB-norm voor staalconstructies en de Eurocode 3 maakt duidelijk dat deze normen bewust naar elkaar toe zijn gegroeid en dat er op hoofdlijnen geen al te grote verschillen zijn. Op detailniveau van de diverse toetsingsregels bestaan er wel verschillen. Interessant is de constatering dat de Nederlandse normen een vrijwel constante cyclustijd blijken te hebben van ongeveer achttien jaar en dat de introductie van de Eurocode in 2008 hierin goed past.



1. Ontwikkeling van de Nederlandse en Europese staalconstructienormen.



4.2 Opzet en inhoud van Eurocode 3

NEN-EN 1993 (Staalconstructies) dient te worden gebruikt in combinatie met NEN-EN 1990 (Grondslagen van het constructief ontwerp), met NEN-EN 1991 (Belastingen op constructies) en met de delen NEN-EN 1992 tot en met NEN-EN 1999. Een overzicht van alle delen van NEN-EN 1993 staat in *tabel 3*.

- Deel NEN-EN 1993-1 bestaat uit twaalf zogenaamde generieke of algemene delen die voor alle constructies in staal moeten worden gebruikt in combinatie met de overige delen NEN-EN 1993-2 tot en met NEN-EN 1993-6. In afwijking op het systeem zijn in deel NEN-EN 1993-1-1 ook de specifieke rekenregels voor gebouwen opgenomen. Hier voor is gekozen, omdat dit bij de andere materiaalgebonden Eurocodes ook het geval is.
- Deel NEN-EN 1993-2 bevat specifieke rekenregels voor bruggen. Vanuit dit deel wordt, waar nodig, verwezen naar de algemene delen in deel NEN-EN 1993-1.
- Deel NEN-EN 1993-3 is geschreven voor torens, masten en schoorstenen en heeft twee subdelen.
- Deel NEN-EN 1993-4 is voor silo's, tanks en pijpleidingen en heeft drie subdelen.
- Deel NEN-EN 1993-5 geldt voor paalfunderingen en deel NEN-EN 1993-6 voor kraanbanen. Ook alle delen NEN-EN 1993-3 t/m NEN-EN 1993-6 maken, waar nodig, gebruik van de algemene delen in NEN-EN 1993-1.

Relevante delen van Eurocode 3 voor gebouwen

De vetgedrukte delen in *tabel 3* worden in de komende hoofdstukken van deze publicatie meer in detail behandeld:

- NEN-EN 1993-1-1 (Algemene regels en regels voor gebouwen);
- NEN-EN 1993-1-8 (Ontwerp van verbindingen);
- NEN-EN 1993-1-10 (Aanvullende regels voor keuze van breuktaaiheid en eigenschappen in de dikterichting).

Tabel 3. Alle delen van NEN-EN 1993 (Staalconstructies).

NEN-EN 1993-1-1	Algemene regels en regels voor gebouwen
NEN-EN 1993-1-2	Staalconstructies bij brand
NEN-EN 1993-1-3	Aanvullende regels voor koudgevormde dunwandige profielen en platen
NEN-EN 1993-1-4	Aanvullende regels voor roestvast staal
NEN-EN 1993-1-5	Constructieve plaatvelden
NEN-EN 1993-1-6	Sterkte en stabiliteit van schaalconstructies
NEN-EN 1993-1-7	Plaatvelden, haaks op het vlak belast
NEN-EN 1993-1-8	Ontwerp van verbindingen
NEN-EN 1993-1-9	Vermoeiingssterkte van staalconstructies
NEN-EN 1993-1-10	Aanvullende regels voor keuze van breuktaaiheid en eigenschappen in de dikterichting
NEN-EN 1993-1-11	Ontwerp en berekening van aan trek onderworpen stalen componenten
NEN-EN 1993-1-12	Aanvullende regels voor hoge sterktestaal
NEN-EN 1993-2	Stalen bruggen
NEN-EN 1993-3-1	Torens en masten
NEN-EN 1993-3-2	Schoorstenen
NEN-EN 1993-4-1	Silo's
NEN-EN 1993-4-2	Opslagtanks
NEN-EN 1993-4-3	Pijpleidingen
NEN-EN 1993-5	Palen en damwanden
NEN-EN 1993-6	Kraanbanen

Deze drie delen zijn voor gebouwen het meest relevant.

Daarnaast is de verwachting dat in de toekomst NEN-EN 1993-1-12 (Aanvullende regels voor hogesterktestaal) belangrijker gaat worden. In dat deel zijn per deel van Eurocode 3 aanvullende en afwijkende toetsingsregels opgenomen voor hogesterktestaalsoorten tot een vloeigrens $f_v = 700$ N/mm². De andere delen zijn oorspronkelijk opgesteld voor constructies vervaardigd van staalsoorten met een vloeigrens tot en met $f_v = 460$ N/mm².

Stelsel van normen

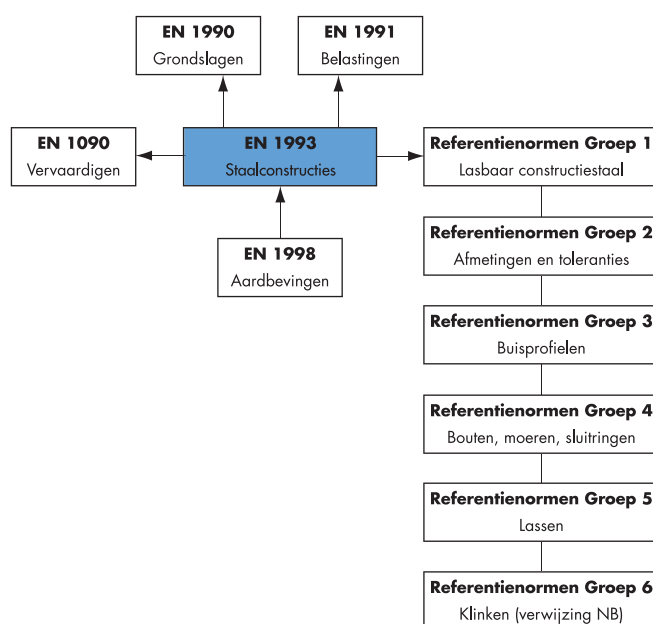
Eurocode 3 maakt deel uit van een stelsel van normen voor staalconstructies waaraan nu in Europees verband wordt gewerkt. Het complete stelsel van normen voor staalconstructies omvat normen voor het vervaardigen, normen voor de berekening (toetsing) en productnormen. De productnormen zijn in de meeste gevallen gelijk aan of afgeleid van bestaande Euronormen en ISO-normen. Er zijn onder andere productnormen voor:

- constructiestaal;
- platte en geprofileerde producten;
- bouten, moeren en ringen;
- laselektroden;
- conserveringsmiddelen.

De regels voor de vervaardiging van zowel staalconstructies als van stalen delen van staal-beton constructies zijn gegeven in NEN-EN 1090. Normen voor de vervaardiging zijn onder meer nodig om ervoor te zorgen dat bij de vervaardiging wordt voldaan aan de uitgangspunten die bij de opstelling van de rekenregels in Eurocode 3 zijn gehanteerd. Zo

mogen bijvoorbeeld de vormafwijkingen van profielen en constructies niet te groot zijn in verband met de rekenregels voor sterkte en stabiliteit. Een ander voorbeeld betreft de kwaliteit van het laswerk dat aan minimeisen moet voldoen, opdat de lasberekening volgens Eurocode 3 geldig is. *Afbeelding 2* toont een schematisch overzicht van de Europese voorschriften voor staalconstructies van gebouwen. Soortgelijke series zijn voorzien voor andere toepassingsgebieden van staalconstructies zoals bruggen (NEN-EN 1993-2).

De referentienormen (normen voor de vervaardiging en productnormen) zijn gegeven in NEN-EN 1993-1-1, art. 1.2 en in NEN-EN 1993-1-8, art. 1,2. De lijst in NEN-EN 1993-1-8 is completer dan die in NEN-EN 1993-1-1. Dit is vreemd. Eigenlijk zou het omgekeerde het geval moeten zijn, immers NEN-EN 1993-1-1 bevat de algemene regels.



2. Schema van de Europese voorschriften voor staalconstructies.

Categorieën regels in de Eurocode

De Eurocodes onderscheiden twee categorieën regels, te weten regels die worden aangemerkt als 'Principes' en regels die beschouwd worden als 'Toepassingsregels'. In NEN-EN 1993-1-1, art. 1.4 wordt het onderscheid tussen 'Principes' en 'Toepassingsregels' aangegeven met verwijzing naar NEN-EN 1990, art. 1.4. In NEN-EN 1993 komen maar enkele 'Principes' voor die zijn aangegeven met de letter 'P' (voor 'Principes') volgend op het artikelnummer, bijvoorbeeld: art. 2.1.1(1)P van NEN-EN 1993-1-1. In geval van 'Principes' wordt in de Engelse brontekst het werkwoord 'shall' gebruikt. Voor 'Toepassingsregels' wordt 'should' gebruikt. In de Nederlandse versie wordt 'shall' vertaald met 'moet' en 'should' met 'behoort'. In Nederland is bepaald dat 'behoort' moet worden gelezen als 'moet' en dat betekent dat er feitelijk geen verschil is tussen beide categorieën regels. Dit is mede het gevolg van de wettelijke status in verband met de aansluiting aan het Bouwbesluit.



5 • NEN-EN 1993-1-1 (Algemene regels en regels voor gebouwen)

5.1 Inhoud, opzet en indeling

De hoofdstukindeling van deel NEN-EN 1993-1-1 volgt de uniforme indeling die geldt voor de delen 1-1 van alle materiaalgebonden Eurocodes, zie *tabel 4*.

NEN-EN 1993-1-1 bevat algemene regels en regels voor gebouwen. Achtergronden bij de toetsingsregels en rekenvoorbeelden zijn te vinden in [3] t/m [5]. De algemene regels gelden voor alle typen bouwconstructies in staal, terwijl er ook regels zijn opgenomen die specifiek voor gebouwen gelden. Het idee hierachter is dat gebouwen in staal kunnen worden berekend met behulp van één normdeel, te weten NEN-EN 1993-1-1. In art. 1.1.2(1) van NEN-EN 1993-1-1 staat vermeld dat de regels voor gebouwen zijn aangeduid met de letter 'B' (voor 'Buildings') volgend op het artikelnummer, bijvoorbeeld: art. 2.1.3.2(1)B.

NEN-EN 1993-1-1 vervangt bij in werking treden van de Eurocodes vrijwel het gehele deel NEN 6770 van de TGB 1990. Uitsluitend hoofdstuk 13 van NEN 6770 over verbindingsmiddelen wordt niet door NEN-EN 1993-1-1 afgedekt maar door NEN-EN 1993-1-8. Daarnaast vervangt

NEN-EN 1993-1-1 ook vrijwel het gehele deel NEN 6771 van de TGB 1990, omdat de Eurocode geen apart deel voor stabiliteit van lijnvormige elementen kent. Uitsluitend hoofdstuk 13 van NEN 6771 over plooiastabiliteit wordt niet door NEN-EN 1993-1-1 afgedekt maar door NEN-EN 1993-1-5 en NEN-EN 1993-1-7.

Tabel 5 geeft een overzicht van de inhoud van NEN-EN 1993-1-1 met een referentie naar de overeenkomstige onderwerpen in de TGB 1990. Een lege cel betekent dat het onderwerp in de betreffende NEN-norm niet wordt behandeld.

Meer gedetailleerde referentietabellen, zowel van EN naar TGB als omgekeerd, zijn opgenomen in de syllabus bij de cursus Eurocode 3 die wordt georganiseerd door Bouwen met Staal [3]. In die tabellen is behalve een referentie van de corresponderende artikelen ook een inhoudelijke vergelijking opgenomen. Daarin is aangegeven of de regels tot gelijke of tot afwijkende resultaten leiden. Ook zijn zoveel mogelijk de formules weergegeven om het verschil in de presentatie en de gehanteerde symbolen te tonen.

Tabel 4. Uniforme indeling van materiaalgebonden delen 1-1.

	Voorwoord	
1	Algemeen	modelhoofdstukken
2	Grondslagen van het ontwerp	
3	Materialen	
4	Duurzaamheid	gemeenschappelijke
5	Rekenmodellen	volgorde en indeling
6	Uiterste grenstoestand	
7	Bruikbaarheidsgrenstostanden	
8	–	eventueel materiaal-
9	–	specifieke onderwerpen
	Bijlagen	

5.2 NEN-EN 1993-1-1 versus TGB 1990

De gebruikte symbolen in NEN-EN 1993-1-1 wijken af van die in de TGB, soms hebben formules een andere gedaante terwijl ze inhoudelijk gelijk zijn en soms zijn er ook inhoudelijke verschillen. Van elk van deze gevallen worden hier voorbeelden gegeven.

Afwijkende symbolen en gedaante, maar inhoudelijk gelijk

Het afwijkende gebruik van symbolen wordt geïllustreerd aan de hand van de formules voor een op druk belaste kolom.

NEN 6770, art. 12.1.1.1 geeft de volgende formules:

$$\frac{N_{c,s;d}}{\omega_{buc} N_{c,u;d}} \leq 1$$



met $N_{c;u;d} = A f_y$ voor doorsneden van klasse 1 t/m 3 en met:

$N_{c;u;d} = A_{eff} f_y$ (doorsnedereductiemethode), of

$N_{c;u;d} = A \cdot \sigma_{plooij;d}$ (spanningsreductiemethode) voor doorsneden van klasse 4

Hierin is:

$N_{c;s;d}$ rekenwaarde van de drukkracht ten gevolge van de belasting;

$N_{c;u;d}$ rekenwaarde van de druknormaalkracht met betrekking tot de stabiliteit;

ω_{buc} knikfactor voor knikinstabiliteit;

A oppervlakte van de doorsnede van de staaf;

f_y rekenwaarde van de vloeigrens;

A_{ef} effectieve oppervlakte van de doorsnede (rekening houdend met plooij);

$\sigma_{plooij;d}$ rekenwaarde van de plooispanning.

NEN-EN 1993-1-1, art. 6.3.1.1 geeft de volgende equivalente formules:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1$$

met $N_{b,Rd} = \chi A f_y / \gamma_{M1}$ voor doorsneden van klasse 1 t/m 3 en met $N_{b,Rd} = \chi A_{eff} f_y / \gamma_{M1}$ (doorsnedereductiemethode) voor doorsneden van klasse 4. Hierin is:

N_{Ed} rekenwaarde van de normaalkracht; de index E staat voor 'effect van belasting' en de index d staat voor 'design' ofwel ontwerp- of rekenwaarde;

$N_{b,Rd}$ rekenwaarde van de knikweerstand van de gedrukte staaf; de index b staat voor 'buckling' ofwel knik, de index R staat voor 'resistance' ofwel weerstand en de index d staat voor 'design' ofwel ontwerp- of rekenwaarde;

χ reductiefactor die overeenkomt met de knikfactor ω_{buc} van NEN 6770;

A oppervlakte van de doorsnede;

f_y vloeigrens;

γ_{M1} partiële factor behorende bij de stabiliteit van elementen; de waarde hiervan is 1,0 omdat Nederland in de Nationale Bijlage de aanbevolen waarde heeft overgenomen en deze is 1,0;

A_{ef} effectieve oppervlakte van de dwarsdoorsnede (met betrekking tot plooij).

Wanneer de set formules van NEN 6770 en NEN-EN 1993-1-1 voor een op druk belaste kolom met elkaar worden vergeleken, dan valt op dat de gebruikte notatie afwijkt, dat de gedaante van de formules verschilt maar dat de formules inhoudelijk overeen komen. Het enige inhoudelijke verschil is dat NEN-EN 1993-1-1 niet rechtstreeks de spanningsreductiemethode aanstuurt maar uitsluitend de doorsnedereductiemethode. Bij de spanningsreductiemethode wordt met de invloed van het plooien van plaatdelen rekening gehouden door de spanning in de doorsnede te begrenzen. Bij de doorsnedereductiemethode wordt met plooien van plaatdelen rekening gehouden door de doorsnede te reduceren, meestal door met een effectieve breedte van plooigevoelige plaatdelen te rekenen zodat de effectieve doorsnede kan worden belast tot de vloeigrens. In veel gevallen pakt de doorsnedereductiemethode gunstiger uit dan de spanningsreductiemethode. Vandaar dat in de Eurocode de voorkeur wordt gegeven aan de doorsnedereductiemethode.

De formules die de knikkrommen representeren verschillen van gedaante, maar zijn inhoudelijk precies gelijk. Het is mogelijk aan te tonen^[3] dat de formule van NEN 6770, art. 12.1.1.4:

$$\omega = \frac{1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2}{2\lambda^2} - \frac{1}{2\lambda^2} \sqrt{\{1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2\}^2 - 4\lambda^2}$$

Tabel 5. Inhoud van NEN-EN 1993-1-1 met referentie naar de TGB 1990.

NEN-EN 1993-1-1		NEN 6770	NEN 6771
artikel	onderwerp	artikel	artikel
1	Algemeen	–	–
1.1	Onderwerp en toepassingsgebied	1, 7.1, 7.2, 7.5, 9, 10, 10.1, 10.2, 10.3, 10.4	1, 10.2, 10.3
1.2	Normatieve verwijzingen	2, 7.1	2
1.3	Aannamen	7.3, 7.4	–
1.4	Onderscheid tussen beginselen en toepassingsregels	–	–
1.5	Termen en definities	3	–
1.6	Symbolen	4	4
1.7	Afspraken voor de staafassen	3.4	–
2	Grondslagen van het ontwerp	–	–
2.1	Eisen	5.1, 7.5, 7.6	–
2.2	Beginnelen van het ontwerpen op basis van grenstoestanden	–	–
2.3	Basisvariabelen	5.1, 7.1.4, 7.6	–
2.4	Toetsing door middel van de methode van de partiële factoren	5.1, 5.2, 9	–
2.5	Door proeven ondersteund ontwerp	5.3	–
3	Materialen	9	–
3.1	Algemeen	–	–
3.2	Constructiestaal	7.1, 7.3, 7.4, 9.1	–
3.3	Verbindingsmiddelen	9.2, 9.3	–
3.4	Andere geprefabriceerde producten in gebouwen	–	–
4	Duurzaamheid	7.5, 7.6	–
5	Constructieve berekening	10	10
5.1	Constructief model voor de berekening	10.1	–
5.2	Algemene berekening	10.2	10.2
5.3	Imperfecties	10.2.5	10.2.5
5.4	Berekeningsmethoden met nietlineaire materiaaleigenschappen	10.2.6	10.2.6
5.5	Classificatie van doorsneden	10.2.4.1	10.2.4
5.6	Eisen voor de doorsnede bij de plastische algemene berekeningsmethode	–	–
6	Uiterste grenstoestanden	5	–
6.1	Algemeen	5.1 t/m 5.3	–
6.2	Weerstand van de doorsneden	11, 13.3.4	11, 10.2.4
6.3	Toetsing van de stabiliteit van staven	12	12
6.4	Prismatische, samengestelde drukstaven	10.1.3	12.1.6



NEN-EN 1993-1-1		NEN 6770	NEN 6771
artikel	onderwerp	artikel	artikel
7	Bruikbaarheidsgrenstoestanden	6	–
7.1	Algemeen	6, 10.4	–
7.2	Bruikbaarheidsgrenstoestanden voor gebouwen	6	–
	bijlagen		
A	Methode 1: Interactiefactoren kij voor de interactieformules in 6.3.3(4)	12.3	12.3
B	Methode 2: Interactiefactoren kij voor de interactieformules in 6.3.3(4)	12.3	12.3
AB	Bijkomende ontwerpbepalingen	–	–
AB.1	Constructieve berekening die rekening houdt met niet-lineaire materiaalkenmerken	–	–
AB.2	Vereenvoudigde bepalingen voor het ontwerp en de berekening van doorgaande vloerliggers	–	–
BB	Instabiliteit van onderdelen van constructies voor gebouwen	–	–
BB.1	Knik van staven in vakwerken	12.1.5	–
BB.2	Continue steunen	–	–
BB.3	Kipvrije lengtes voor knik uit het vlak van een segment waarin zich plastische scharnieren bevinden	12.2.3	12.2.3

kan worden herschreven in die van de NEN-EN 1993-1-1, art. 6.3.1.2:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}$$

met $\Phi = 0,5[1 + \alpha(\lambda - 0,2) + \lambda^2]$.

Hierin is λ de relatieve slankheid die in NEN 6770 wordt genoteerd als l_{rel} en in NEN-EN 1993-1-1 als $\bar{\lambda}$.

Afwijkende gedaante en ook inhoudelijk afwijkend

Tot slot een voorbeeld van inhoudelijke verschillen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de formules voor op druk en buiging belaste kolommen. Op basis van voortschrijdend inzicht en verdergaand, vooral numeriek, onderzoek binnen ECCS Committee TC8 (Stability) zijn in Europa twee sets toetsings-

formules voor op druk en buiging belaste staven ontwikkeld, die onder één noemer zijn gebracht, en in de Eurocode zijn opgenomen.

De formules die voor op druk en buiging belaste kolommen in NEN 6770, art. 12.3.1.2.1 worden gegeven hebben de volgende gedaante:

$$1,1 \frac{N_{c;s;d}}{\omega_{y;buc} N_{pl;d}} + 1,1 \frac{M_{y;equ;s;d}}{\omega_{kip} M_{y,u;d}} \leq 1$$

De formules van NEN 6771, art. 12.3.1.2.1 zien er als volgt uit:

$$\frac{N_{c;s;d}}{N_{c,u;d}} + \frac{n_y}{n_y - 1} \left(\frac{F_{y,tot;s;d} e^*}{M_{y,u;d}} + \frac{M_{y;equ;s;d}}{\omega_{kip} M_{y,u;d}} \right) + \frac{n_z}{n_z - 1} \frac{\chi_y M_{z;equ;s;d}}{M_{z,u;d}} \leq 1$$

Kortheidshalve wordt voor de gebruikte symbolen verwezen naar NEN 6770.

De overeenkomstige formule in NEN-EN 1993-1-1, art. 6.3.3 wijkt hiervan af, zowel wat betreft notatie, als wat betreft gedaante maar vooral ook inhoudelijk:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Voor de gebruikte symbolen wordt verwezen naar NEN-EN 1993-1-1. Voor de inhoudelijke verschillen wordt verwezen naar [3]. Meer achtergrondinformatie bij de nieuwe formules voor op druk en buiging belaste staven staat in [4].

5.3 Nationale Bijlage bij NEN-EN 1993-1-1

Het voorwoord van elk deel van de Eurocode bevat een lijst van de artikelen waarin een nationale keuze is toegestaan door middel van Nationaal Bepaalde Parameters (NBP's).

Voor deze parameters geeft NEN-EN 1993-1-1 in de meeste gevallen een aanbevolen waarde. Het staat de diverse landen vrij deze aanbevolen waarden over te nemen of hiervan gemotiveerd af te wijken. Bij sommige NBP's wordt de mogelijkheid gegeven aanvullende informatie te verstrekken. In *tabel 6* zijn de Nederlandse NBP's bij NEN-EN 1993-1-1 weergegeven. Voor een aantal parameters wijkt Neder-

Tabel 6. Overzicht van de Nationaal Bepaalde Parameters (NBP) bij NEN-EN 1993-1-1.

artikel	parameter	NBP
2.3.1(1)	belastingen voor specifieke toestanden	zie NEN-EN 1991.
3.1(2)	andere staalsoorten en producten	geen andere staalsoorten of producten
3.2.1(1)	nominale waarden van f_y	beide opties zijn toegestaan
3.2.2(1)	ductiliteitseisen	$f_u/f_y \geq 1,20$ in geval van nominale waarden; $f_u/f_y \geq 1,10$ in geval van actuele waarden; verlenging bij breuk en ϵ_u als aanbevolen
3.2.3(1)	laagste gebruikstemperatuur	volgens 'Bouwbesluit': a) $T_{Ed} = -20$ °C voor constructies buiten; b) $T_{Ed} = -10$ °C voor constructies binnen zonder verwarming; c) $T_{Ed} = -0$ °C voor constructies binnen met verwarming.
3.2.3(3)B	taaiheidseigenschappen voor op druk belaste elementen	als aanbevolen
3.2.4(1)3B	richtwaarden Z_{Ed}	als aanbevolen
5.2.1(3)	grenswaarde voor α_{cr} plastische berekening	voor alle raamwerken en berekeningsmethoden wordt de grenswaarde gesteld op $\alpha_{cr} \geq 10$
5.2.2(8)	toepassingsgebied equivalente kolommethode	toepasbaarheid is onderhevig aan NEN 6770, art.10.2.6 en art. 10.2.7 en aan NEN 6771, art.10.2.6, met name voor de toetsing van liggers en verbindingen; toepasbaarheid is ook onderhevig aan het toepassen van globale initiële sway imperfecties volgens 5.3.2(3)



land af van de aanbevolen waarden. De motivatie hiervoor is terug te vinden in [3].

In de Nationale Bijlage bij NEN-EN 1993-1-1 wordt ook de status van de Informatieve Bijlagen vastgelegd, zie *tabel 7*.

De bijlagen A en B geven de interactiefactoren die worden gebruikt in de eerder in deze publicatie gegeven toetsingsformules voor staven belast op druk en buiging. Nederland heeft besloten de Duits-Oostenrijkse set van interactiefactoren aan te houden, die zijn opgenomen in bijlage B. De reden hiervoor is dat deze set interactiefactoren het eenvoudigst is en dat de kans op vergissingen bij het toepassen van deze

set interactiefactoren derhalve kleiner is dan bij de Belgisch-Franse set van bijlage A. Een uitgebreidere toelichting wordt gegeven in [3].

Niet-tegenstrijdige aanvullende informatie

Behalve de NBP's en de status van de Informatieve Bijlagen mag in de Nationale Bijlage ook 'niet-tegenstrijdige aanvullende informatie' (NTAI) zijn opgenomen. *Tabel 8* geeft een overzicht van deze informatie behorend bij NEN-EN 1993-1-1. Met (I) en (N) is aangegeven of de informatie informatief of normatief is.

artikel	parameter	NBP
5.3.2(3)	waarden van relatieve initiële vooruitbuigingen e_0/ℓ	waarden voor e_0 te bepalen met formule (12.3-9) van NEN 6771
5.3.2(11)	vorm van de kritieke elastische knikvorm η_{cr}	geen beperkingen ten aanzien van de toepasbaarheid van deze methode
5.3.4(3)	reductiefactor k ten aanzien van $e_{0,d}$	als aanbevolen
6.1(1)	partiële factoren voor constructies buiten het toepassingsgebied	als aanbevolen
6.1(1)B	partiële factoren voor gebouwen	als aanbevolen
6.3.2.2(2)	imperfectiefactor α_{1T}	als aanbevolen
6.3.2.3(1)	parameters $\lambda_{1T,0}$ en β ; selectie van kipprommen	als aanbevolen
6.3.2.3(2)	waarden f en k_c	als aanbevolen
6.3.2.4(1)B	relatieve slankheid λ_{c0}	voor de genoemde relatieve slankheid moet zijn aangehouden $\bar{\lambda}_{c0} = 0,2$
6.3.2.4(2)B	modificatiefactor k_{fl}	als aanbevolen
6.3.3(5)	methode voor prismatische, op buiging en druk belaste staven (knik) M+N	verwijzing naar bijlage B (methode 2) is normatief
6.3.4(1)	toepassingsgebied van de 'Algemene methode'	zie kader: 'Algemene methode' voor knik- en kipweerstand
7.2.1(1)B	begrenzing verticale doorbuigingen	verwijzing NB-EN 1990/NEN 6702-10
7.2.2(1)B	begrenzing horizontale doorbuigingen	verwijzing NB-EN 1990/NEN 6702-10
7.2.3(1)B	trillingen van vloeren	verwijzing NB-EN 1990/ NEN 6702-10
BB.1.3(3)B	kniklengten	geen extra informatie

'Algemene methode' voor knik- en kipweerstand

De 'Algemene methode' maakt het mogelijk de knik- en kipweerstand te toetsen voor lijnvormige staven en vakwerken/raamwerken die zijn opgebouwd uit lijnvormige staven zoals:

- aparte staven: al dan niet samengesteld, al dan niet prismatisch, of;
- vlakke raamwerken of raamwerkonderdelen die zijn opgebouwd uit staven.

Voor toepassing van de 'Algemene methode' moeten de lijnvormige staven of vakwerken/raamwerken zijn onderworpen aan druk en/of éénassige buiging in het vlak, waarbij de zijdelingse knik of kip is gerelateerd aan het gedrag van een rechte staaf (ligger of kolom). Daarbij moeten voldoende zijdelingse steunen aanwezig zijn, zodanig dat het gedrag met betrekking tot zijdelings knikken of kippen tussen deze zijdelingse steunen kan

worden gezien als gedrag van een rechte staaf. In de 'Algemene methode' behoort χ_{op} uit NEN-EN 1993-1-1, art. 6.3.4 te worden bepaald als de minimumwaarde van χ volgens NEN-EN 1993-1-1, art. 6.3.1 voor zijdelingse knikstabiliteit en χ_{LT} volgens NEN-EN 1993-1-1, art. 6.3.2 voor kipstabiliteit.

Aandacht voor niet-prismatische elementen

Voor niet-prismatische elementen moet zorg worden besteed aan de correcte berekening van de waarde $\alpha_{cr,op}$ voor de elastisch kritieke (Eulerse) weerstand met betrekking tot kip. Indien de eindige-elementenmethode wordt gebruikt, moet deze waarde worden berekend met schaal-elementen in plaats van balkelementen om op correcte wijze het kipgedrag te kunnen beschrijven. Het gebruik van meerdere prismatische balkelementen met verlopende afmetingen in de lengterichting om een niet-prismatische staaf te beschrijven, leidt tot foutieve resultaten ongeacht het aantal gebruikte elementen.

Constructies buiten het toepassingsgebied van de 'Algemene methode'

Voor de toetsing van constructies buiten het toepassingsgebied van de 'Algemene methode' behoort een geometrisch en materiaal niet-lineaire imperfecte analyse (GMNIA) te worden toegepast. Voorbeelden zijn boogconstructies en een geknikt kapspant dat niet wordt gesteund ter plaatse van de knik. Deze constructies vallen buiten het toepassingsgebied, omdat de essentie van het beperken van het toepassingsgebied van de 'Algemene methode' ligt in de eis dat de staven tussen zijdelingse steunen recht moeten zijn.



foto: Las- en Constructiebedrijf P. de Jong



Tabel 7. Status van de Informatieve Bijlagen in NEN-EN 1993-1-1.

bijlage	onderwerp	status in Nederland
A	methode 1: interactiefactoren k_{ij} voor interactieformules in 6.3.3(4)	niet van toepassing ^(a)
B	methode 2: interactiefactoren k_{ij} voor interactieformules in 6.3.3(4)	normatief ^(c)
AB	bijkomende ontwerpbepalingen	niet van toepassing
BB	instabiliteit van onderdelen van constructies voor gebouwen	–
BB.1	knik van staven in vakwerken	normatief
BB.2	continue steunen	informatief ^(b)
BB.3	kipvrije lengtes voor knik uit het vlak van een segment waarin zich plastische scharnieren bevinden	informatief

(a) Niet van toepassing: mag niet gebruikt worden. (b) Informatief: mag gebruikt worden. (c) Normatief: moet gebruikt worden.

In de NEN-EN 1993-1-1 wordt – behoudens in bijlage BB.1 waar kniklengten voor staven in vakwerken zijn gegeven – geen informatie gegeven voor de bepaling van de (Eulerse) kniklengte, kniklast, torsiekniklast of het Eulerse kippmoment. Dit betreft naar de mening van de normschrijvers van Eurocode 3 namelijk ‘handboekmateriaal’ en dergelijk materiaal behoort niet in een norm te worden opgenomen. Op nationaal niveau is echter gemeend om deze Eulerse instabiliteitsgrootheden als NTAI op te nemen in de Nationale Bijlage. Uit ervaring is namelijk gebleken dat de toepassing van dit zogenaamde handboekmateriaal in de praktijk niet tot uniforme resultaten leidt. Immers, niet elke bron (zoals handboek, dictaat, vorige norm) geeft dezelfde oplossingen.



foto: C.H. van Eldik

Tabel 8. Overzicht van niet-strijdige aanvullende informatie bij NEN-EN 1993-1-1.

NEN-EN 1993-1-1		NEN 6770	NEN 6771
artikel*	onderwerp	artikel	artikel
6 (N)	Krachteninleiding bij opleggingen en puntlasten	14	–
6 (N), 6.2.8 (N)	Stijfheid van starre steunen voor op druk belaste staaf	12.1.4	–
6.2.10 (N), 6.2.8 (N)	Doorsnedeberkening van I-profielen in doorsnede klassen 1 en 2	11.3.1.1	–
6.2.10 (N)	Doorsnedeberkening van vierkante en rechthoekige buisprofielen in doorsnede klassen 1 en 2	11.3.1.3	–
6.2.10 (N)	Doorsnedeberkening van ronde buisprofielen in doorsnede klassen 1 en 2	11.3.1.2	–
6.2.10 (N)	Doorsnedeberkening van I-profielen in doorsnede klassen 1 en 2	11.3.2.1	–
6.2.10 (N)	Doorsnedeberkening van ronde buisprofielen in doorsnede klassen 1 en 2	11.3.2.2	–
6.2.10 (N)	Doorsnedeberkening van vierkante en rechthoekige buisprofielen in doorsnede klassen 1 en 2	11.3.2.3	–
6.2.10 (N)	Combinaties van normaalkracht, buiging en afschuiving	–	11.3
6.3 (N)	Eulerse torsiëkracht	–	12.1.2.2
6.3 (N)	Relatieve torsiëknikslankheid	–	12.1.3.2
6.3 (N)	Kniklengte van centrisc gedrukte verend gesteunde staven	–	12.1.4.2
6.3.1.3 (N)	Kniklengte (prismatische staven)	12.1.1.3	–
6.3.1.3 (N)	Knik van randstaven uit het vlak van het vakwerk	12.1.5.3.2	–
6.3.1.3 (N)	Kniklengte (prismatische en niet-prismatische staven)	–	12.1.1.3
6.3.1.4 (N)	Torsiëstabiliteit	12.1.2	12.1.2
6.3.1.4 (N)	Torsiëknikstabiliteit	12.1.3	–
6.3.3 (N), 6.3.4 (N)	Rotatiecapaciteit	12.3.1.2.3	–
6.3.5 (N), 6.3.2 (N), 6.3.4 (N)	Opleggingen en zijdelingse steunen	12.2.4	–
6.3.5 (N)	Niet-vormvaste doorsnede	–	12.2.1

(*) (N) betekent: normatief en (I) betekent: informatief.

6 • NEN-EN 1993-1-8 (Verbindingen)

6.1 Inhoud, opzet en indeling

In tegenstelling tot de TGB 1990 zijn in Eurocode 3 alle regels over verbindingen in één deel opgenomen, namelijk NEN-EN 1993-1-8. Daarmee vervangt dit deel bij het inwerking treden van de Eurocode de volgende onderdelen van de TGB 1990:

- NEN 6770: hoofdstuk 13 (Verbindingen);
- NEN 6772: geheel.

Verder komen in de hoofdstukken 1 t/m 10 van NEN 6770 ook nog regels voor die betrekking hebben op verbindingen. Ook deze regels worden door NEN-EN 1993-1-8 afgedekt. De afwijkingen tussen de rekenregels in de TGB en de Eurocode zijn gering. Dat is ook logisch want zoals hiervoor is aangegeven zijn de regels voor verbindingen in NEN 6770 en NEN 6772 destijds opgesteld op basis van de regels in ENV 1993. Bij het opstellen van de regels in de ENV heeft de inbreng vanuit Nederland een belangrijke rol gespeeld door participatie in het PT (Project Team, het team van experts dat de norm opstelt) en door afstemming binnen ECCS Committee TC10 (Connections), waarvan Nederland al heel lang het voorzitterschap en secretariaat vervult. Er zijn wel verschillen op detailniveau van de toetsingsregels. Enkele voorbeelden hiervan volgen na *tabel 9*.

EN 1993-1-8 toepasbaar voor meer verbindingstypen

De EN 1993-1-8 is toepasbaar voor een breed scala van verbindingstypen. Dit is mogelijk gemaakt door een consequente hantering van de componentenbenadering. Kort gezegd houdt de componentenmethode in dat de ontwerper de individuele sterkte, stijfheid en rotatiecapaciteit van de componenten (bijvoorbeeld een kopplaat of kolomlijf) combineert tot de sterkte, stijfheid en rotatiecapaciteit van de verbinding in zijn geheel. Zie ook hoofdstuk 3 in het boek

Construeren B (deel 3 uit de serie (Over)spannend staal) voor een uitgebreide toelichting op de componentenmethode. Hierdoor worden de herhalingen zoals die in de TGB voorkomen vermeden. Daartegenover is de EN 1993-1-8 hierdoor wat moeilijker toegankelijk.

Tabel 9 geeft een overzicht van de inhoud van NEN-EN 1993-1-8 met een referentie naar de overeenkomstige onderwerpen in de TGB 1990. Ook voor dit deel zijn meer gedetailleerde referentietabellen opgenomen in de syllabus van de cursus Eurocode die bij Bouwen met Staal kan worden gevolgd^[3].

6.2 NEN-EN 1993-1-8 versus TGB 1990

Ook NEN-EN 1993-1-8 kan zowel in presentatie als inhoudelijk afwijken van de TGB 1990. Deze paragraaf geeft van beide typen verschillen een voorbeeld. Verderop geeft *tabel 10* een puntsgewijs overzicht van de verschillen tussen NEN-EN 1993-1-8 en NEN 6772.

Voorbeeld afwijkend gebruik symbolen en presentatie

Het afwijkende gebruik van symbolen en verschil in presentatie in NEN-EN 1993-1-8 vergeleken met NEN 6770 wordt geïllustreerd aan de hand van formules voor de stuikweerstand van bouten. In NEN 6770:art.13.3.2 wordt de volgende formule voor de grensstuikkracht gegeven:

$$F_{c,u;d} = \frac{2,5 \alpha_c \alpha_{red;1} f_{t;d} d_{b,nom} t}{\gamma_M}$$

α_c is de kleinste waarde van:

$$1,0; \frac{e_{1,min}}{3d_{g,nom}}; \frac{s_{1,min}}{3d_{g,nom}} - \frac{1}{4} \quad \text{of} \quad \frac{f_{t;b;d}}{f_{t;d}}$$

$$\alpha_{red;1} = 1 \quad \text{als: } e_2 \geq 1,5d_{g,nom} \text{ en } s_2 \geq 3d_{g,nom}$$

$$\alpha_{red;1} = 0,67 \quad \text{als: } e_2 = 1,2d_{g,nom} \text{ en/of } s_2 \geq 2,4d_{g,nom}$$

Tabel 9. Inhoud van NEN-EN 1993-1-8 met referentie naar TGB 1990.

NEN-EN 1993-1-8		NEN 6770	NEN 6772
artikel	onderwerp	artikel	artikel
1	Inleiding		
1.1	Onderwerp en toepassingsgebied	1	–
1.2	Normatieve referenties	2 + bijlage A	2 + bijlage C
1.3	Onderscheid tussen beginselen en toepassingsregels	–	–
1.4	Termen en definities	3	3
1.5	Symbolen	4	4
2	Grondslagen van het ontwerp		
2.1	Aannames	7	–
2.2	Algemene eisen	5, 6, 9	–
2.3	Aangrijpende krachten en momenten	8	–
2.4	Weerstand van verbindingen	10.2, 13.5	–
2.5	Ontwerp- en berekeningsaannames	10.2.3	–
2.6	Op afschuiving belaste verbindingen die onderworpen zijn aan stootbelastingen, trillingen en/of belastingsomkeringen	13.2	–
2.7	Excentriciteit ter plaatse van de kruising van schemalijnen	10.1.2.1	–
3	Verbindingen met bouten, klinknagels of pinnen		
3.1	Bouten, moeren en sluitringen	9.2	–
3.2	Klinknagels	–	7, 11.1.2.1, 11.1.3.1
3.3	Ankerbouten	–	–
3.4	Categorieën van boutverbindingen	10.1.3.4	–
3.5	Positionering van gaten voor bouten en klinknagels	13.3.1	–
3.6	Rekenwaarden van de weerstanden van individuele verbindingsmiddelen (wordt nader toegelicht in de volgende paragraaf)	13.3-2/3/6 13.3-2/3/6	9.2, 11.1.2.2, 9.2, 11.1.2.2, 11.1.3, 11.1.4.4
3.7	Groep van verbindingsmiddelen	–	–
3.8	Lange verbindingen	13.3.5	–
3.9	Glijdvaste verbindingen met 8.8 of 10.9 bouten	13.5	11.1.4
3.10	Profielverzwakking ten gevolge van gaten van verbindingsmiddelen	13.3.4	–
3.11	Wrikkrachten	–	11.1.6
3.12	Krachtenverdeling tussen verbindingsmiddelen in de uiterste grenstoestand	10.2.3	–
3.13	Pinverbindingen	–	11.1.7



NEN-EN 1993-1-8		NEN 6770	NEN 6772
artikel	onderwerp	artikel	artikel
4	Gelaste verbindingen		
4.1	Algemeen	–	–
4.2	Lastoevoegmaterialen	–	–
4.3	Geometrie en afmetingen	13.4.1	11.2.2
4.4	Lassen met vulplaten	–	–
4.5	Rekenwaarde van de weerstand van een hoeklas	13.4.1	11.2.1
4.6	Rekenwaarde van de weerstand van sleuflassen	13.4.1.4.2	–
4.7	Rekenwaarde van de weerstand van stompe lassen	13.4.1	–
4.8	Rekenwaarde van de weerstand van proplassen	13.4.1.5.2	–
4.9	Verdeling van krachten	7.2.2.4	–
4.10	Knopen op onverstijfde flenzen	13.4.2	A.2.3
4.11	Lange verbindingen	13.4.3	–
4.12	Excentrisch belaste eenzijdige hoeklassen of eenzijdige stompe lassen met spleet	13.4.1.1	–
4.13	Hoekstalen die met één flens zijn aangesloten	–	–
4.14	Lassen in koudvervormde zones	–	–
5	Berekening, classificatie en modellering		
5.1	Algemene berekening	10.1.	11.5
5.2	Classificatie van verbindingen	10.1.3.4	11.5
5.3	Modellering van ligger/kolom-verbindingen	–	11.5.2.2
6	Constructieve verbindingen van H- of I-profielen		
6.1	Algemeen	–	11.5, 11.7, A.1
6.2	Rekenwaarden van de weerstand	–	11.5, 11.7, A.2, A.3
6.3	Rotatiestijfheid	–	11.5, A.2, A.3
6.4	Rotatiecapaciteit	–	11.5, A.2.7, A.3.8
7	Verbindingen van buisprofielen		
7.1	Algemeen	–	11.6.1
7.2	Ontwerp en berekening	–	11.6.2.1
7.3	Lassen	–	11.2.2
7.4	Gelaste verbindingen tussen CHS-staven	–	11.6.2.2
7.5	Gelaste verbindingen tussen CHS- of RHS-wandstaven en RHS-randstaven	–	11.6.2.3, 11.6.2.4
7.6	Gelaste verbindingen tussen CHS- of RHS- wandstaven en randstaven in I- of H-profiel	–	11.6.2.5
7.7	Gelaste verbindingen tussen CHS- of RHS- wandstaven en randstaven in U- of C-profiel	–	–

Hierin is:

- $F_{c,u;d}$ grensstuikkracht;
- $f_{t;d}$ rekenwaarde van de treksterkte van het materiaal van het te verbinden onderdeel;
- $f_{t;b;d}$ rekenwaarde van de treksterkte van het boutmateriaal;
- t dikte van het beschouwde plaatdeel;
- $d_{b,nom}$ nominale boutmiddellijn;
- γ_M modelfactor: $\gamma_M = 1,25$;
- α_c stuikfactor;
- $d_{g,nom}$ nominale gatmiddellijn;
- $e_{1,min}$ kleinste eindafstand die in de boutgroep, waartoe de bout behoort, voorkomt;
- $s_{1,min}$ kleinste steek die in de boutgroep, waartoe de bout behoort, voorkomt;
- $\alpha_{red;1}$ reductiefactor voor e_2 en s_2 .

Door invoering van de reductiefactor $\alpha_{red;1}$ wordt duidelijk gemaakt dat de normale minimale waarde voor de randafstand e_2 en de tussenafstand s_2 respectievelijk $1,5d_{g,nom}$ en $3d_{g,nom}$ is. Deze afstanden mogen worden gereduceerd bij een compacte uitvoering van de verbinding maar duidelijk wordt getoond dat daarbij de grensstuikkracht kleiner is. Verder blijkt uit de formule voor α_c dat de kleinste waarde van de weerstand moet worden toegepast voor alle bouten in de boutgroep. Deze formule geldt voor elke bout in de boutgroep. De constructeur berekent de grensstuikkracht van de verbinding door $F_{c,u;d}$ te vermenigvuldigen met het aantal bouten in de boutgroep.

NEN-EN 1993-1-8, art.3.6 geeft de volgende equivalente formule:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{ub} t}{\gamma_{M2}}$$

α_b is de kleinste waarde van: α_d ; f_{ub}/f_u of 1,0.

Verder geldt in de richting van de krachtsoverdracht:

eindbout: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$

binnenbout: $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$

en loodrecht op de richting van de krachtsoverdracht geldt:

randbout: k_1 is de kleinste waarde van

$$2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \text{ of } 2,5$$

binnenbout: k_1 is de kleinste waarde van

$$1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \text{ of } 2,5$$

Hierin is:

- $F_{b,Rd}$ rekenwaarde van de stuikweerstand per bout;
- f_u treksterkte van het materiaal van het te verbinden onderdeel;
- d nominale boutdiameter;
- t dikte van het verbonden plaatdeel;
- α_b factor;
- α_d factor voor invloed e_1 en p_1 ;
- e_1 eindafstand van de beschouwde bout;
- p_1 steek van de beschouwde bout;
- d_0 gatdiameter;
- k_1 factor, afhankelijk van de randafstand of de steekmaat;
- e_2 randafstand van de beschouwde bout;
- p_2 steek gemeten loodrecht op de krachtrichting van de beschouwde bout.

Een nadeel van deze presentatie is dat de basisfactor (2,5) – die bepalend is voor de maximale stuikweerstand – niet direct in de formule voorkomt en dat het gevolg van een compacte dimensionering niet zo duidelijk zichtbaar is gemaakt als in NEN 6770. De constructeur berekent voor elke bout de stuikweerstand. Sommatie van alle stuikweerstand geeft dan de stuikweerstand van de verbinding.



Voorbeeld inhoudelijk verschil

Naast verschillen in symbolen en presentatie is er bij de stuikberekening ook een inhoudelijk verschil. Volgens NEN-EN 1993-1-8, art. 3.7 mogen de stuikwaarden van de afzonderlijke bouten bij elkaar worden opgeteld mits stuik voor elke bout in de groep maatgevend is. De presentatie is daarmee in overeenstemming, immers de waarde van α_d en k_1 wordt voor de randbouten en de binnenbouten afzonderlijk bepaald. Het verdient voorkeur de afstanden zo op elkaar af te stemmen dat voor de eindbouten en de binnenbouten ongeveer gelijke stuikwaarden worden gevonden. Dit wordt door de regels in de Eurocode helaas niet bevorderd.

Overzicht verschillen tussen NEN-EN 1993-1-8 en NEN 6772

NEN 6772 geeft uitsluitend voor ligger/kolom-verbindingen gedetailleerde rekenregels. Deze zijn opgenomen in bijlage A. Bijlage A is ontleend aan Annex J van ENV 1993-1-1. Gedurende de commentaarperiode is deze Annex J herzien en uitgebreid en later is de inhoud geïntegreerd met de andere regels over verbindingen en opgenomen in het aparte Eurocode-deel NEN-EN 1993-1-8. *Tabel 10* geeft een overzicht van de belangrijkste verschillen tussen bijlage A van NEN 6772 en NEN-EN 1993-1-8.

Het grootste verschil tussen NEN 6772 en NEN-EN 1993-1-

Tabel 10. Belangrijkste verschillen tussen Bijlage A van NEN 6772 en NEN-EN 1993-1-8.

aspect	bijlage A van NEN 6772	NEN-EN 1993-1-8
onderwerp	ligger/kolom-verbindingen	- ligger/kolom-verbindingen; - ligger/ligger-verbindingen; - andere verbindingen- componenten
type	- gelast; - met kopplaat	- gelast; - met kopplaat; - met flenshoekstalen
presentatie	rekenregels per type	componentenbenadering
boutkracht in kopplaat	plastisch of elastisch	uitsluitend elasto-plastisch omdat dit behoort bij het concept
berekening stijfheid	- gebaseerd op vervormingen behorende bij $M_{v;s;d}$; - verstijvingsschotten kunnen soms de stijfheid verlagen; - voorspelde stijfheid kopplaatverbindingen lager dan EN; - voorspelde stijfheid gelaste verbindingen hoger dan EN	- gebaseerd op vervormingen behorende bij elastisch stadium; - verstijvingsschotten verhogen altijd de stijfheid; - stijfheid kopplaatverbindingen hoger dan NEN; - stijfheid gelaste verbindingen lager dan NEN
classificatie	- classificatie op basis van stijfheid behorende bij $M_{v;s;d}$; - als benadering classificatie op basis van stijfheid behorende bij $M_{v;R;d}$	classificatie op basis van $S_{j,ini}$

8 is dat NEN 6772 regels geeft per type verbinding, terwijl in NEN-EN 1993-1-8 is gekozen voor de zogenaamde componentenbenadering. Voor meer informatie over de componentenmethode wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van *Construeren B* (deel 3 uit de serie (Over)spannend staal). Tot slot wordt opgemerkt dat het toepassingsgebied van de regels in NEN-EN 1993-1-8 aanzienlijk groter is dan dat in NEN 6772 waar uitsluitend voor ligger/kolom-verbindingen gedetailleerde rekenregels zijn opgenomen. Voorbeelden zijn:

- ligger/ligger-verbindingen;
- hoekstaalverbindingen;
- stuiken en kolomvoeten op basis van de componentenmethode;
- invloed van de normaalkracht in een ligger;
- afschuiving kolomvoeten;
- voetplaat op trek.

6.3 Nationale Bijlage bij NEN-EN 1993-1-8

De Nederlandse NBP's bij NEN-EN 1993-1-8 zijn weergegeven in *tabel 11*.

Normdeel NEN-EN 1993-1-8 bevat geen bijlagen en dus heeft de status van de bijlagen niet te worden vastgesteld.

Tabel 12 geeft een overzicht gegeven van de 'niet-tegenstrijdige aanvullende informatie' opgenomen in NEN-EN 1993-1-8.



foto: AVEQ Fotografie

Tabel 11. Overzicht van Nationaal Bepaalde Parameters bij NEN-EN 1993-1-8.

artikel	parameter	Nationaal Bepaalde Parameter (NBP)
2.2(2)	partiële veiligheidscoëfficiënten	als aanbevolen
1.2.6 (Groep 6)	referentienorm voor klinknagels	de staalsoort waaruit warmgeklonken klinknagels zijn vervaardigd moet S 235 zijn
3.1.1(3)	boutklassen	boutklassen 4.8 en 5.8 uitgesloten*
3.4.2(1)	eisen voor het niveau van de voorspanning, wanneer het uitsluitend gaat om eigenschappen bij de fabricage en montage of om kwaliteitseisen	geen specifieke eisen
5.2.1(2)	aanvullende informatie met betrekking tot de classificatie van verbindingen	geen aanvullende informatie
6.2.7.2(9)	aanvullende informatie met betrekking tot het gebruik van betrekking (6.26)	het ontwerp van de verbinding moet worden gewijzigd als geldt: $F_{t,Rd} \leq 1,8F_{t,Rd}$ met $F_{t,Rd}$ volgens tabel 3.4; dit geldt niet voor een volledig schuifsterke verbinding

(*) Deze boutklassen waren ook in NEN 6770 en NEN 6772 niet aangewezen, omdat in vergelijking met 4.6 en 5.6 de verhouding vloeigrens/treksterkte ongunstig is terwijl de rekenwaarde voor de sterkte hetzelfde is. Een ongunstige verhouding vloeigrens/treksterkte betekent een geringere ductiliteit.

Tabel 12. Overzicht van niet-strijdige aanvullende informatie bij NEN-EN 1993-1-8.

NEN-EN 1993-1-8	onderwerp	NEN 6770	NEN 6772
3.2 (N)	afmetingen gaten voor klinknagels (verwijzing naar EN 1090)	–	11.1.2.1
3.6.2.2 (N)	eigenschappen van injectiemateriaal voor injectiebouten	–	9.4 bijlage B
3.9.1 (I)	voorbeelden wrijvingswaarden contactvlakken	–	11.1.4.4 tabel 2
3.9.1 (I)	voorspankracht	–	11.1.4.4
4.1 (N)	voorwaarden lassen	7.2.2	–
4.5.2 (I)	inbranddiepte onder poederbooglassen zonder procedureproeven	13.4.1.1.4, toelichting	–
4.7.2/4.7.3 (N)	rekenwaarde penetratie voor lassen met spleet	13.4.1.2, figuur 67	–
6.2.7.3 (N)	stuikverbindingen in verstijvingen	–	11.4.2

7 • NEN-EN 1993-1-10 (Materiaaltaaiheid en eigenschappen in dikterichting)

7.1 Inhoud, opzet en indeling

Dit deel van de Eurocode 3 behandelt de keuze van de materiaalkwaliteit om het bros breken van de staalconstructie te voorkomen. In die zin is dit deel vergelijkbaar met NEN 6774. In het toepassingsgebied voor NEN-EN 1993-1-10 staat niet de beperking dat dit deel uitsluitend voor overwegend statisch belaste constructies geldt. Het is verantwoord dat deze norm ook geldt voor wisselend belaste, vermoeiingsgevoelige constructies. Daarmee is het toepassingsgebied van NEN-EN 1993-1-10 dus ruimer dan dat van NEN 6774. In NEN-EN 1993-1-10 zijn in feite twee bepalingmethoden opgenomen, namelijk 'materiaalkeuze ter vermindering van bros breken' (hoofdstuk 2), toepasbaar voor staal van sterkteklassen tot en met S460 en 'materiaalkeuze voor

de door-de-dikte eigenschappen' (hoofdstuk 3), toepasbaar voor staal van sterkteklassen tot en met S690. Voor beide bepalingmethoden wordt als voorwaarde gesteld dat de fabricage en montage van de constructie voldoet aan NEN-EN 1090-2. Deze regels gelden voor alle typen bouwconstructies in staal.

Tabel 13 geeft een overzicht van de inhoud van NEN-EN 1993-1-10 met een referentie naar de overeenkomstige onderwerpen in NEN 6774.

7.2 Nationale Bijlage bij NEN-EN 1993-1-10

De Nederlandse NBP's bij NEN-EN 1993-1-10 zijn weergegeven in *tabel 14*.



foto: Tom de Rooij Fotografie



Tabel 13. Inhoud van NEN-EN 1993-1-10 met referentie naar NEN 6774.

NEN-EN 1993-1-10		NEN 6774
art.	onderwerp	artikel
1	Algemeen	–
1.1	Onderwerp en toepassingsgebied	1
1.2	Normatieve verwijzingen	2
1.3	Termen en definities	3
1.4	Symbolen	4
2	Keuze van materialen met betrekking tot de breuktaaiheid	5, 6, 7
2.1	Algemeen	–
2.2	Procedure	–
2.3	Waarden van de maximaal toegelaten dikte	Informatieve Bijlage C
2.4	Evaluatie met de breukmechanica	–
3	Keuze van materialen met betrekking tot de eigenschappen in de dikterichting	uitsluitend in Informatieve Bijlage B
3.1	Algemeen	–
3.2	Procedure	–

Tabel 14. Overzicht Nationaal Bepaalde Parameters bij NEN-EN 1993-1-10.

artikel	parameter	overweging
2.2(5)	ΔT_R	• $\Delta T_R = -20\text{ °C}$, indien de tabelwaarden volgens 2.3 zijn gebruikt, voor staal-klassen S235, S275 en S355; • $\Delta T_R = 0\text{ °C}$, indien de tabelwaarden volgens 2.3 zijn gebruikt, voor staal-klassen S420, S460 en S690
2.2(5), Note 3, Note 4	toepassingsgebied tabel 2.1	toepassing van tabel 2.1 is niet beperkt
3.1(1)	keuze kwaliteitsklasse	

8 • Rekenvoorbeelden

De cursus Eurocode 3 van Bouwen met Staal^[3] bevat een aantal uitgewerkte rekenvoorbeelden. De voorbeelden zijn zo gekozen dat zo veel mogelijk verschillende aspecten aan de orde komen. Om de vergelijking te bevorderen zijn bij voorkeur voorbeelden gekozen uit de vroegere cursus van het Staalbouwkundig Genootschap 'Introductie van en rekenen met nieuwe normen. TGB-staal en EC-3' en uit het boek *Rekenvoorbeelden* (deel 4 uit de serie (Over)spannend staal). De voorbeelden zijn in tabelvorm gepresenteerd. Links de uitwerking volgens de TGB en rechts de uitwerking volgens de Eurocode. De verwijzingen naar de betreffende artikelen in de normen staan in de buitenste kolommen. Hieronder is een overzicht van de uitgewerkte rekenvoorbeelden:

- ligger op twee steunpunten;
- scharnierend opgelegde kolom;
- ingeklemde kolom;
- ruimtelijke driehoeksligger;
- samengestelde staaf;
- boutverbinding op stuik en afschuiving (categorie A);
- voorgespannen boutverbinding (categorie B en C);
- lasverbinding;
- stuikverbinding in ligger;
- centrisch belaste voetplaatverbinding;
- voetplaatverbinding belast op druk en buiging;
- geboute, dubbelzijdige ligger-kolomverbinding.

Om een indruk te geven van de presentatie toont *afbeelding 3* twee pagina's van een rekenvoorbeeld uit [3]. Het betreft het voorbeeld van een 'ingeklemde kolom' en daarvan het deel over een op druk belaste kolom, waarvan eerder in deze publicatie de formules zijn gegeven.





3. Voorbeeldpagina's uit de syllabus behorende bij de cursus Eurocode 3 van Bouwen met Staal.

TGB – NEN 6770 / NEN 6771		EUROCODE – EN 1993-1-1	
NEN6770 12.1.1	Belastinggeval 1 Het betreft een centrisch gedrukte kolom waarvoor knik om beide hoofdasen moet worden beschouwd.	Belastinggeval 1 Het betreft een prismatische op druk belaste staaf. Hoewel het er niet expliciet staat, wordt impliciet wel duidelijk dat knik om de beide hoofdasen moet worden beschouwd.	EN 1993-1-1 6.3.1
12.1.1.2	Knik om de sterke as: De kniklengte is theoretisch: $\ell_{y,buc} = \ell_{ef} = \ell_{sys} / \sqrt{2} = \ell / \sqrt{2} = 0,71\ell = 0,71 \cdot 10 = 7,1 \text{ m}$.	Knik om de sterke as: De kritieke elastische kracht wordt niet uitgewerkt in de EN. Kniklengte en kniklast zijn gegeven in de NEN die via de NB wordt aangestuurd. Dus geldt ook hier $\ell_{y,buc} = 8 \text{ m}$; zie hiernaast.	NB bij EN 1993-1-1
12.1.1.3	In de praktijk blijkt echter een volledige inklemming niet of nauwelijks uitvoerbaar. In verband hiermee dient voor de flexibiliteitsparameter ter plaatse van het ingeklemde kolomuiteinde niet $C_A = 0$ maar $C_A = 0,25$ te worden aangehouden. Een volledig scharnier aan de top behoeft ook niet in rekening te worden gebracht. Er is altijd wel enige mate van 'toevallige' inklemming bij een scharnier zodat in plaats van $C_B = \infty$ mag worden aangehouden $C_B = 5$. Met figuur 40 wordt dan voor de kniklengte gevonden: $\ell_{y,buc} = \ell_{ef} = 0,8\ell_{sys} = 0,8\ell = 0,8 \cdot 10 = 8 \text{ m}$	$N_{cr} = \frac{\pi^2 E_d I_y}{\ell_{y,buc}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 3892 \cdot 10^4}{8000^2} = 1260,4 \text{ kN}$	
Figuur 40	wordt dan voor de kniklengte gevonden: $\ell_{y,buc} = \ell_{ef} = 0,8\ell_{sys} = 0,8\ell = 0,8 \cdot 10 = 8 \text{ m}$		
Vgl. (12.1-4)	De slankheid is dan: $\lambda_y = \frac{\ell_{y,buc}}{i_y} = \frac{8000}{99,7} = 80,2$	De relatieve slankheid is dan: $\bar{\lambda} = \frac{\sqrt{A f_y}}{\sqrt{N_{cr}}} = \frac{\sqrt{3912 \cdot 235}}{\sqrt{1260,4 \cdot 10^3}} = 0,85$	6.3.1.2
Vgl. (12.1-2)	De relatieve slankheid is dan: $\lambda_{y,rel} = \frac{\lambda_y}{\lambda_e} = \frac{80,2}{93,9} = 0,85$	Met knikkromme a (want $h/b = 240/130 = 2 > 1,2$ en $t_f = 9,8 \leq 40$) geldt: $\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$ $\Phi = 0,5[1 + 0,21(0,85 - 0,2) + 0,85^2] = 0,930$	Tabel 6.2
Tabel 23 Tabel 24	Met knikkromme a (want $h/b = 240/120 = 2 > 1,2$ en $t_f = 9,8 \leq 40$) geldt: $\omega_{y,buc} = 0,76$		

TGB – NEN 6770 / NEN 6771		EUROCODE – EN 1993-1-1	
Vgl. (12.1-1a)	Toetsing: $\frac{N_{Ed}}{\omega_{y,buc} N_{cr,Ed}} = \frac{187,5}{0,76 \cdot 919,3} = 0,27 \leq 1$	$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,930 + \sqrt{0,930^2 - 0,85^2}} = 0,76$ Daarmee wordt de rekenwaarde van de knikweerstand: $N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,76 \cdot 3912 \cdot 235}{1,0} = 698,7 \text{ kN}$ Toetsing: $\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{187,5}{698,7} = 0,27 \leq 1$	6.3.1.1 Vgl. (6.47) Vgl. (6.46)
12.1.1.2	Knik om de zwakke as: De kniklengte is 2m. De slankheid is dan:	Knik om de zwakke as: De kritieke elastische kracht wordt niet uitgewerkt in de EN. Kniklengte en kniklast zijn gegeven in de NEN die via de NB wordt aangestuurd.	
Vgl. (12.1-4)	$\lambda_z = \frac{\ell_{z,buc}}{i_z} = \frac{2000}{26,9} = 74,3$	$N_{cr} = \frac{\pi^2 E_d I_z}{\ell_{z,buc}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 283,6 \cdot 10^4}{2000^2} = 1469,5 \text{ kN}$	
Vgl. (12.1-2)	De relatieve slankheid is dan: $\lambda_{z,rel} = \frac{\lambda_z}{\lambda_e} = \frac{74,3}{93,9} = 0,79$	De relatieve slankheid is dan: $\bar{\lambda} = \frac{\sqrt{A f_y}}{\sqrt{N_{cr}}} = \frac{\sqrt{3912 \cdot 235}}{\sqrt{1469,5 \cdot 10^3}} = 0,79$	6.3.1.2
Tabel 23 Tabel 24	Met knikkromme b (want $h/b = 240/120 = 2 > 1,2$ en $t_f = 9,8 \leq 40$) geldt: $\omega_{z,buc} = 0,73$	Met knikkromme b (want $h/b = 240/120 = 2 > 1,2$ en $t_f = 9,8 \leq 40$) geldt: $\Phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$ $\Phi = 0,5[1 + 0,34(0,79 - 0,2) + 0,79^2] = 0,912$ $\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,912 + \sqrt{0,912^2 - 0,79^2}} = 0,73$	Tabel 6.2

9 • Literatuur en websites

Literatuur

1. *Richtlijn 2004/18/EG van het Europees Parlement en de Raad van 31 maart 2004 betreffende de coördinatie van de procedures voor het plaatsen van overheidsopdrachten voor werken, leveringen en diensten*, Publicatieblad L134 van 30/04/2004 p. 0114-0240
2. W. Hoeckman, '10 voor Eurocode-taal. Vertaling Eurocode', *Bouwen met Staal* 186 (2005), p. 21-23.
3. F.S.K. Bijlaard, H.H. Snijder, J.W.B. Stark en H.M.G.M. Steenbergen, *Introductie Eurocode 3. Toetsing van staalconstructies* (deel Algemeen), syllabus van de gelijknamige cursus (niet apart verkrijgbaar), uitgave Bouwen met Staal, Zoetermeer 2007.
4. N. Boissonnade, R. Greiner, J.P. Jaspart en J. Lindner, *Rules for member stability in EN1993-1-1. Background documentation and design guidelines*, ECCS Technical Committee 8. Stability, ECCS publicatie 119, uitgave ECCS, Brussel 2007 (ISBN 92-9147-000-84, te bestellen via de website www.steelconstruct.com of via Bouwen met Staal).
5. L. Gardner en D.A. Nethercot, *Designers' guide to EN1993-1-1. Eurocode 3. Design of steel structures. General rules and rules for buildings*, uitgave Thomas Telford en The Steel Construction Institute, 2005.

Websites

Hieronder worden beknopt enkele websites beschreven die informatie over de Eurocodes geven.

- **www.access-steel.com** Site met informatie over de Eurocodes op met name het gebied van staalconstructies in het Engels, Frans, Duits en Spaans. De site richt zich op de vroege stadia van een project (met name verdiepingbouw en woningbouw), op het constructief ontwerp en op het detailontwerp. Er wordt speciaal aandacht gegeven aan 'fire safety engineering' in de Eurocodes. De site bevat ook vijftig,

aan elkaar gerelateerde modules voor een gedetailleerde berekening van elementen met ondersteunende informatie en uitgewerkte rekenvoorbeelden.

- **www.eurocode.at** Site van het Oostenrijkse normalisatie-instituut met informatie over de Eurocodes.
- **www.eurocode.info** Engelstalige site met veel informatie en met discussieforums. Niet duidelijk is welke organisatie achter deze site zit.
- **www.eurocodes.co.uk** Britse site van het 'Institution of Civil Engineers' met informatie over alle Eurocodes met als doel de overgang op de Eurocodes te versoepelen. Ook wordt een overzicht gegeven van verschenen publicaties over de Eurocodes.
- **www.eurocodes.nl** Nederlandse site van onder meer het NEN met informatie over de Eurocodes en hun introductie in Nederland. Ook wordt hier informatie gegeven over cursussen over andere delen van de Eurocode.

Bij de syllabus van de Bouwen met Staal-cursus Eurocode^[3] wordt de cd-rom CeStruCo verstrekt. CeStruCo staat voor Continuing Education in Structural Connections; een project dat in het kader van het Europese Leonardo da Vinci-programma is uitgevoerd. Vanuit Nederland is er aan meegewerkt door Bouwen met Staal. De cd bevat:

- achtergrondinformatie over de toetsingsregels in de Eurocode met betrekking tot verbindingen;
- veelgestelde vragen met antwoorden;
- uitgewerkte vraagstukken.



Technisch Dossier #3

Eurocode 3: opzet en vergelijk met TBG 1990

Een *Technisch Dossier* informeert constructeurs, (bouwkundig) ontwerpers, overheden en studenten over constructieve en bouwtechnische onderwerpen. Deskundigen en direct betrokkenen vertellen over de achtergronden bij hun ontwerp, over bestaande, nieuwe of vernieuwde normen en rekenregels óf over hun eigen praktijkervaringen.

In de serie *Technisch Dossier* verschenen eerder:

#1 Wateraccumulatie (2006);

#2 Vloeren van kanaalplaten met geïntegreerde stalen liggers (2007).

Eurocode 3: opzet en vergelijk met TBG 1990

Dit dossier behandelt de opzet van de Eurocodes en meer in het bijzonder die van Eurocode 3 (NEN-EN 1993-1. Staalconstructies) en hiervan weer de delen:

NEN-EN 1993-1-1 Algemene regels en regels voor gebouwen;

NEN-EN 1993-1-8 Ontwerp van verbindingen;

NEN-EN 1993-1-10 Aanvullende regels voor keuze van breuktaaiheid en eigenschappen in dikterichting.

Tevens worden de belangrijkste verschillen aangegeven tussen Eurocode 3 en de TBG 1990. Ook worden de Nationale Bijlagen bij deze Eurocode-delen besproken.

In deze Nationale Bijlagen worden de zogenaamde Nationaal Bepaalde Parameters vastgelegd, wordt de status van de Informatieve Bijlagen vastgelegd en wordt zogenaamde 'niet-tegenstrijdige aanvullende informatie' gegeven.



Bouwen met Staal
Boerhaavelaan 40
2713 HX Zoetermeer
Postbus 190
2700 AD Zoetermeer
tel. (079) 353 12 77
fax (079) 353 12 78
info@bouwenmetstaal.nl
www.bouwenmetstaal.nl

ISBN 978-90-72830-78-4



9 789072 830784

BOUWEN MET STAAL

Bouwen met Staal stimuleert het gebruik van staal in de bouw en is dé onafhankelijke kennisorganisatie, die alle partijen in de bouw ondersteunt bij het toepassen van staal. Bouwen met Staal initieert onderzoek voor de kwaliteitsverbetering van stalen bouwproducten en ontwerp- en bouwprocessen met staal en werkt mee aan de totstandkoming van regelgeving voor staaltoepassingen. Daarnaast verzorgt Bouwen met Staal de promotie, voorlichting en educatie voor een breder én beter gebruik van staal. Tot de producten en diensten behoren opleidingen en cursussen, studieboeken, het vakblad *Bouwen met Staal*, projectadvies en de Helpdesk, de Nationale Staalprijs en de Nationale Staalbouwdag.

Bouwen met Staal: platform en partner voor het bouwen met staal.