

# *Geregistreeerde Belgische norm*

## **NBN EN 1999-1-5**

1e uitg., augustus 2007

**Normklasse: B 51**

### **Eurocode 9 - Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-5 : Schaalconstructies (+ AC:2009)**

Eurocode 9 - Calcul des structures en aluminium - Partie 1-5 : Coques (+ AC:2009)

Eurocode 9 - Design of aluminium structures - Part 1-5 : Shell structures (+ AC:2009)

#### **Toelating tot publicatie: 30 mei 2007**

Deze Europese norm EN 1999-1-5:2007 heeft de status van een Belgische norm.

Deze Europese norm bestaat in drie officiële versies (Duits, Engels, Frans).

Deze norm mag in België slechts samen met zijn nationale bijlage (ANB) worden toegepast. Deze laatste legt hoofdzakelijk de waarden van de parameters vast die op nationaal vlak worden bepaald.

***norme belge  
enregistrée***

**NBN EN 1999-1-5**

1e éd., août 2007

**Indice de classement: B 51**

---

**Eurocode 9 - Calcul des structures en aluminium - Partie 1-5 : Coques (+ AC:2009)**

Eurocode 9 - Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-5 : Schaalconstructies (+ AC:2009)

Eurocode 9 - Design of aluminium structures - Part 1-5 : Shell structures (+ AC:2009)

---

**Autorisation de publication: 30 mai 2007**

La présente norme européenne EN 1999-1-5:2007 a le statut d'une norme belge.

La présente norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français).

Cette norme ne peut être utilisée en Belgique qu'en combinaison avec son annexe nationale (ANB) qui fixe principalement la valeur des paramètres à déterminer au niveau national.



**Bureau de Normalisation - Rue de Birmingham 131 - 1070 Bruxelles - Belgique**

Tél: +32 2 738 01 12 - Fax: +32 2 733 42 64 - E-mail: [info@nbn.be](mailto:info@nbn.be) - NBN Online: [www.nbn.be](http://www.nbn.be)

Banque 000-3255621-10 IBAN BE41 0003 2556 2110 BIC BPOTBEB1 TVA BE0880857592

## Nationaal voorwoord van NBN EN 1999-1-5:2007

1. De norm NBN EN 1999-1-5:2007 « Eurocode 9 : Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies – Deel 1-5: Schaalconstructies » omvat de nationale bijlage NBN EN 1999-1-5 ANB:2011 met een normatief karakter in België.

Het corrigendum EN 1999-1-5:2007/AC:2009, zoals door CEN gepubliceerd, is na deze norm toegevoegd.

2. De Nederlandstalige versie van EN 1999-1-5 is tot stand gekomen op basis van een voorkeurterminologie die in samenwerking tussen het NBN en het NEN is opgesteld. Daarbij werd voor elk begrip een unieke woordkeuze gemaakt. Dit heeft voor gevolg dat in de norm uitdrukkingen voorkomen die in één van de twee landen minder gebruikelijk zijn. Hierna volgt een lijst met synoniemen:

Oorspronkelijke term (Engels)	Verplichte term (Nederlands)	Synoniem (B); (N)
accidental situation	buitengewone situatie	bijzondere situatie (N); buitengewone toestand (B)

- 2bis. De Europese normen (EN) waarnaar de tekst van deze norm met hun Engelse titel verwijst, dragen in België de volgende Nederlandstalige titels :

Vermelde norm met Engelse titel	Nederlandstalige titel (NBN)
EN 1090-1 Execution of steel structures and aluminium structures – Part 1: Requirements for conformity	EN 1090-1: Uitvoering van staalconstructies en aluminiumconstructies - Deel 1: Algemene leveringsvoorwaarden
EN 1090-3 Execution of steel structures and aluminium structures – Part 3: Technical requirements for aluminium structures	EN 1090-3 Uitvoering van staalconstructies en aluminiumconstructies - Deel 3: Technische eisen voor aluminiumconstructies
EN 1990 Basis of structural design	EN 1990 Eurocode 0 - Grondslagen van het constructief ontwerp
EN 1991 Actions on structures – All parts	EN 1991 Eurocode 1 : Belastingen op constructies - Alle delen
EN 1993-1-6 Design of steel structures - Part 1-6: Shell structures	EN 1993-1-6 Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 1-6: Algemene regels - Sterkte en stabiliteit van schaalconstructies
EN 1993-3-2 Design of steel structures - Part 3-2: Chimneys	EN 1993-3-2 Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 3-2: Torens, masten en schoorstenen - Schoorstenen
EN 1993-4-1 Design of steel structures - Part 4-1: Silos	EN 1993-4-1 Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 4-1 : Silo's

**NBN EN 1999-1-5 ANB (2011)**

EN 1993-4-2 Design of steel structures - Part 4-2: Tanks	EN 1993-4-2 Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 4-2 : Opslagtanks
EN 1993-4-3 Design of steel structures - Part 4-3: Pipelines	EN 1993-4-3 Eurocode 3 - Ontwerp en berekening van staalconstructies - Deel 4-3: Buisleidingen
EN 1999-1-1 Design of aluminium structures - Part 1-1: General rules	EN 1999-1-1 Eurocode 9 - Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-1: Algemene regels
EN 1999-1-2 Design of aluminium structures - Part 1-2: Structural fire design	EN 1999-1-2 Eurocode 9 - Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-2 : Ontwerp en berekening van constructies bij brand
EN 1999-1-3 Design of aluminium structures - Part 1-3: Structures susceptible to fatigue	EN 1999-1-3 Eurocode 9: Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-3: Vermoeiing
EN 1999-1-4 Design of aluminium structures - Part 1-4: Cold-formed structural sheeting	EN 1999-1-4 Eurocode 9 - Ontwerp en berekening van aluminiumconstructies - Deel 1-4 : Koudgevormde platen

## Avant-propos national à la NBN EN 1999-1-5:2007

1. La norme NBN EN 1999-1-5:2007 « Eurocode 9 : Calcul des structures en aluminium – Partie 1-5 Coques » comprend l'annexe nationale NBN EN 1999-1-5 ANB:2011 qui a un caractère normatif en Belgique.

Le corrigendum EN 1999-1-5:2007/AC 2009, tel que publié par le CEN, est joint à cette norme.

2. La version de langue française de l'EN 1999-1-5 a été rédigée en France par l'AFNOR. En conséquence, on y rencontre certaines expressions d'usage moins courant en Belgique.

Une liste de termes équivalents est donnée ci-après :

<b>Terme de l'EN 1999-1-5</b>	<b>Terme équivalent en Belgique</b>
client	le maître de l'ouvrage assisté de ses bureaux d'architectes, d'ingénierie et de consultance
poteau	colonne

3. Un corrigendum (EN 1999-1-5:2007/AC:2009) est établi au CEN et doit être utilisé avec la NBN EN 1999-1-5 et son ANB.



ICS 93.020; 91.010.30

Deutsche Fassung

## Eurocode 9: Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken - Teil 1-5: Schalentragerwerke

Eurocode 9 - Design of aluminium structures - Part 1-5:  
Shell structures

Eurocode 9 - Calcul des structures en aluminium - Partie 1-  
5 : Coques

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 11. Oktober 2006 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

# Inhalt

	Seite
<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>
<b>Nationaler Anhang für EN 1999-1-5</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Allgemeines</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1 Anwendungsbereich</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1.1 Anwendungsbereich von EN 1999</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1.2 Anwendungsbereich von EN 1999-1-5</b> .....	<b>8</b>
<b>1.2 Normative Verweisungen</b> .....	<b>10</b>
<b>1.3 Begriffe</b> .....	<b>10</b>
<b>1.3.1 Formen und Geometrie des Tragwerks</b> .....	<b>11</b>
<b>1.3.2 Spezielle Definitionen für Beulberechnungen</b> .....	<b>12</b>
<b>1.4 Formelzeichen</b> .....	<b>12</b>
<b>1.5 Vorzeichenvereinbarungen</b> .....	<b>16</b>
<b>1.6 Koordinatensysteme</b> .....	<b>17</b>
<b>2 Grundlagen für Entwurf, Berechnung und Bemessung</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 Allgemeines</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2 Zuverlässigkeitsklasse und Ausführungsklasse</b> .....	<b>19</b>
<b>3 Werkstoffe und Geometrie</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1 Werkstoffeigenschaften</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2 Bemessungswerte für geometrische Daten</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3 Geometrische Toleranzen und geometrische Imperfektionen</b> .....	<b>20</b>
<b>4 Dauerhaftigkeit</b> .....	<b>20</b>
<b>5 Tragwerksberechnung</b> .....	<b>21</b>
<b>5.1 Geometrie</b> .....	<b>21</b>
<b>5.2 Randbedingungen</b> .....	<b>21</b>
<b>5.3 Einwirkungen und Einflüsse aus der Umgebung</b> .....	<b>22</b>
<b>5.4 Spannungsergebnisse und Spannungen</b> .....	<b>23</b>
<b>5.5 Berechnungsarten</b> .....	<b>23</b>
<b>6 Grenzzustand</b> .....	<b>25</b>
<b>6.1 Beanspruchbarkeit des Querschnitts</b> .....	<b>25</b>
<b>6.1.1 Bemessungswerte für die Spannungen</b> .....	<b>25</b>
<b>6.1.2 Bemessungswerte für die Beanspruchbarkeit</b> .....	<b>26</b>
<b>6.1.3 Spannungsbegrenzung</b> .....	<b>26</b>
<b>6.1.4 Bemessung durch numerische Analyse</b> .....	<b>26</b>
<b>6.2 Knickfestigkeit (Beanspruchbarkeit durch Beulen; Beulsicherheitsnachweis)</b> .....	<b>27</b>
<b>6.2.1 Allgemeines</b> .....	<b>27</b>
<b>6.2.2 Geometrische Toleranzen, die für Beulen von Belang sind</b> .....	<b>28</b>
<b>6.2.3 Schale unter Druck- und Schubbeanspruchungen</b> .....	<b>29</b>
<b>6.2.4 Einfluss des Schweißens</b> .....	<b>32</b>
<b>6.2.5 Bemessung durch numerische Analyse</b> .....	<b>35</b>
<b>7 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit</b> .....	<b>35</b>
<b>7.1 Allgemeines</b> .....	<b>35</b>
<b>7.2 Durchbiegungen</b> .....	<b>35</b>
<b>Anhang A (normativ) Ausdrücke für Beuluntersuchungen in Schalenkonstruktionen</b> .....	<b>36</b>
<b>A.1 Unausgesteifte zylindrische Schalen mit konstanter Wanddicke</b> .....	<b>36</b>
<b>A.1.1 Anmerkungen und Randbedingungen</b> .....	<b>36</b>
<b>A.1.2 (Axialer) Druck in Meridianrichtung</b> .....	<b>36</b>
<b>A.1.2.1 Ideale Beulspannungen in Meridianrichtung</b> .....	<b>37</b>
<b>A.1.2.2 Beulparameter in Meridianrichtung</b> .....	<b>38</b>



	Seite
A.1.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung) .....	39
A.1.3.1 Kritische Beulspannungen in Umfangsrichtung .....	39
A.1.3.2 Beulparameter in Umfangsrichtung.....	40
A.1.4 Schubbeanspruchung.....	42
A.1.4.1 Durch Schubbeanspruchung erzeugte kritische Beulspannungen .....	42
A.1.4.2 Schub-Beulparameter.....	43
A.1.5 (Axiale) Druckbeanspruchung in Meridianrichtung mit gleichzeitig vorhandener Innendruckbeanspruchung .....	44
A.1.5.1 Kritische Beulspannung in Meridianrichtung unter Innendruck .....	44
A.1.5.2 Beulparameter in Meridianrichtung unter Innendruck.....	44
A.1.6 Kombinationen von (axialer) Druckbeanspruchung in Meridianrichtung, Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung) und Schubbeanspruchung .....	45
A.2 Unausgesteifte Zylinderschalen mit gestufter Wanddicke .....	46
A.2.1 Allgemeines .....	46
A.2.1.1 Bezeichnungen und Randbedingungen .....	46
A.2.1.2 Geometrie und Absätzen an Verbindungen .....	46
A.2.2 Druckbeanspruchung in Meridianrichtung (Axialer Druck) .....	47
A.2.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung) .....	47
A.2.3.1 Kritische Beulspannungen in Umfangsrichtung .....	47
A.2.3.2 Nachweis der Beulfestigkeit bei Druckspannung in Umfangsrichtung .....	50
A.2.4 Schubbeanspruchung.....	51
A.2.4.1 Kritische, durch Schub erzeugte Beulspannung .....	51
A.2.4.2 Nachweis der Beulfestigkeit bei Schubbeanspruchung.....	51
A.3 Unausgesteifte Zylinderschalen mit Überlapstoß .....	52
A.3.1 Allgemeines .....	52
A.3.1.1 Definitionen .....	52
A.3.1.2 Geometrie und Spannungsergebnisse .....	52
A.3.2 Druckbeanspruchung in Meridianrichtung (Axialer Druck) .....	52
A.3.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung) .....	52
A.3.4 Schubbeanspruchung.....	53
A.4 Unausgesteifte Kegelschalen .....	53
A.4.1 Allgemeines .....	53
A.4.1.1 Bezeichnungen .....	53
A.4.1.2 Randbedingungen .....	54
A.4.1.3 Geometrie .....	54
A.4.2 Bemessungswerte für Beulspannungen.....	54
A.4.2.1 Äquivalenter Zylinder .....	54
A.4.3 Nachweis der Beulfestigkeit.....	55
A.4.3.1 Druckspannung in Meridianrichtung .....	55
A.4.3.2 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung).....	55
A.4.3.3 Schubbeanspruchung und gleichmäßige Torsionsbeanspruchung.....	55
A.5 Ausgesteifte Zylinderschalen mit konstanter Wanddicke .....	56
A.5.1 Allgemeines .....	56
A.5.2 Isotrope Wände mit Steifen in Meridianrichtung .....	56
A.5.2.1 Allgemeines.....	56
A.5.2.2 Druckbeanspruchung in Meridianrichtung (Axialer Druck) .....	56
A.5.2.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung).....	56
A.5.2.4 Schubbeanspruchung.....	57
A.5.3 Isotrope Wände mit Steifen in Umfangsrichtung.....	57
A.5.4 In Umfangsrichtung profilierte Wände mit Steifen in Meridianrichtung .....	58
A.5.4.1 Allgemeines.....	58
A.5.4.2 Axiale Druckbeanspruchung .....	59
A.5.4.3 Ausgesteifte Wand, als Reihe von Axialkraft tragenden Steifen behandelt .....	60
A.5.4.4 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung).....	61
A.5.5 Axial profilierte Wände mit Ringsteifen .....	62
A.5.5.1 Allgemeines.....	62
A.5.5.2 Axiale Druckbeanspruchung .....	62
A.5.5.3 Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung).....	62

	Seite
<b>A.5.6</b> Als orthotrope Schale behandelte ausgesteifte Wand .....	<b>62</b>
<b>A.5.6.1</b> Allgemeines .....	<b>62</b>
<b>A.5.6.2</b> Axiale Druckbeanspruchung .....	<b>63</b>
<b>A.5.6.3</b> Druckbeanspruchung in Umfangsrichtung (Ringspannung) .....	<b>64</b>
<b>A.5.6.4</b> Schubbeanspruchung .....	<b>65</b>
<b>A.5.7</b> Äquivalente orthotrope Eigenschaften des Wellblechs .....	<b>65</b>
<b>A.6</b> Unausgesteifte kugelförmige Schalen unter gleichmäßigem Druck in Umfangsrichtung.....	<b>67</b>
<b>A.6.1</b> Bezeichnungen und Randbedingungen .....	<b>67</b>
<b>A.6.2</b> Kritische Beulspannungen .....	<b>67</b>
<b>A.6.3</b> Beulparameter in Umfangsrichtung.....	<b>68</b>
<b>Anhang B</b> (informativ) <b>Beulberechnung torikonischer und torisphärischer Schalen</b> .....	<b>69</b>
<b>B.1</b> Allgemeines.....	<b>69</b>
<b>B.2</b> Bezeichnungen und Randbedingungen.....	<b>69</b>
<b>B.3</b> Außendruck .....	<b>70</b>
<b>B.3.1</b> Kritischer Außendruck.....	<b>70</b>
<b>B.3.2</b> Gleichmäßiger Außendruck an der Quetschgrenze.....	<b>71</b>
<b>B.3.3</b> Beulparameter unter Außendruck.....	<b>72</b>
<b>B.4</b> Innendruck.....	<b>73</b>
<b>B.4.1</b> Kritischer Innendruck.....	<b>73</b>
<b>B.4.2</b> Gleichmäßiger Innendruck an der Quetschgrenze .....	<b>74</b>
<b>B.4.3</b> Beulparameter unter Innendruck .....	<b>75</b>